

Эрменбаев Б.

КАРА-БАТКАК МӨНГҮСҮНҮН АРТКА ЧЕГИНҮҮСҮ  
ЖАНА АЯНТЫНЫН ӨЗГӨРҮЛҮШҮ

Эрменбаев Б.

ЛИНЕЙНОЕ ОТСТУПАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ  
ЛЕДНИКА КАРА-БАТКАК

B. Ermenbaev

THE LINEAR RETREAT AND CHANGE IN THE AREA  
OF THE KARA-BATKAK GLACIER

УДК: 551.324.63

Макалада автордун Чоң-Кызылсуу дарыя бассейнинде жайгашкан Кара-Баткак мөңгүсүнүн акыркы 50 жыл ичинде артка чегинүү жана аянтынын өзгөрүүсүн аныктоо боюнча изилдөөлөрүнүн натыйжалары келтирилген. Мөңгүнүн аянтынын өзгөрүшү жана анын акыркы учурда артка чегинүүсү анализденген. 1967-жылдан бери мөңгүнүн аянты кыскарып, ал эми мөңгүнүн артка чегинүүсү көбөйгөнү аныкталган. Мөңгүнүн деградация ылдамдыгы 2013-2018-жылдар аралыгында бир кыйла жогорулаган. Кара-Баткак мөңгүсүнүн жыл сайын артка чегинүүсү келтирилген, натыйжада акыркы 20 жыл аралыгында мөңгүнүн чегинүүсү кыйла жогорулагандыгы аныкталган. Ар кандай космостук сүрөттөрдү, аэрофото сүрөттөрдү чечмелөө ыкмалары каралат. Мөңгүнүн аянтынын өзгөрүүлөрдү аныктоо үчүн төмөнкүлөр колдонулган: 1967-1988-жылдар аралыгындагы жогорку сапаттагы TIFF форматындагы аэрофотосүрөттөрү; 1977-жылга карата Тескей Ала-Тоо кыркаларынын чыгыш бөлүгү үчүн 1:25000 масштабдагы топографиялык карталар; спутниктик сүрөттөр Landsat TM, ETM + Landsat 1-51977, Landsat -5 1990-2006, Landsat-8 2017, Sentinel-2 2018, Skysat-2018. (3 метрден 15 метрге чейин пикселдик космостук сүрөттөр менен). Ошондой эле изилдөө аймагынын негизги климаттык параметрлери да каралган.

**Негизги сөздөр:** масс-баланс, кара-баткак, мөңгү, артка чегинүү, космостук сүрөттөр, аэрофотосүрөт, климаттын өзгөрүшү, аянт, температура, бассейн.

В статье приводятся результаты исследований автора в о определения скорости линейного отступления и изменения площади ледника Кара-Баткак за последние 50 лет находящиеся в верховьях бассейна реки Чон-Кызылсуу хр. Терскей Ала-Тоо. Анализируется изменение площади ледника и линейного его отступления при концевых его части. Показано, что с 1967 года площадь ледника непрерывно сокращалась, а отступление ледника увеличивалась. Темпы деградации ледника существенно увеличилось с 2013 по 2018 гг. Приводятся ежегодные отступление ледника Кара-Баткак, в результате было выявлено, что за последние 20 лет отступление ледника существенно увеличивается. Рассматриваются методы дешифрирование различных космических

снимков, аэрофотоснимков. Для анализа изменений площади ледника использованы: аэрофотоснимки в цифровом формате TIFF высокого разрешения, охватывающие период с 1967 по 1988г; топографические карты масштаба 1:25000 для восточной части хребта Тескей Ала-Тоо по состоянию на 1977г.; космические снимки Landsat TM, ETM + Landsat 1-51977, Landsat -5 1990-2006 г., Landsat-8 2017, Sentinel-2 2018, Skysat-2018г. (с разрешением космоснимков от 3 до 15 метров пиксель). Рассмотрены также основные климатические параметры района исследования.

**Ключевые слова:** баланс массы, кара-баткак, ледник, линейное отступление, космоснимок, аэрофотоснимок, изменение климата, площадь, температура, бассейн.

The article presents the results of the author's research on determining the rate of linear retreat and change in the area of the Kara-Batkak glacier over the past 50 years, located in the upper reaches of the Chon-Kyzylsuu river basin, Terskey Ala-Too ridge. Changes in the glacier area and its retreat are analyzed. It is shown that since 1967 the glacier area has been continuously decreasing, while the glacier retreat has increased. The rate of glacier degradation increased significantly from 2013 to 2018. The annual retreat of the Kara-Batkak glacier is given, as a result of which it was revealed that the retreat of the glacier has significantly increased over the past 20 years. It provides various methods of interpretation of satellite images, aerial photographs. To analyze changes in the glacier area, the following were used: high-resolution digital TIFF aerial photographs covering the period from 1967 to 1988; topographic maps of scale 1: 25000 for the eastern part of the Teskey Ala-Too ridge as of 1977; satellite images of Landsat TM, ETM + Landsat 1-51977, Landsat -5 1990-2006, Landsat-8 2017, Sentinel-2 2018, Skysat-2018. (with space images resolution from 3 to 15 meters pixel). Also considered are the basic climatic parameters of the study area.

**Key words:** mass balance, kara-batkak, glacier, linear retreat, satellite image, aerial photograph, climate change, area, temperature, basin.

Последнее, исторически зафиксированное, отступление долинных ледников северного склона хребта Тескей-Ала-Тоо началось в конце малого ледникового периода (Little Ice Age, LIA) – в середине XIX ве-

ка. Считается общепризнанным, что отступление ледников Евразии началось с окончанием малого ледникового периода (Little Ice Age, LIA). Такой процесс происходит и с ледниками Тескей-Ала-Тоо. Это подтверждается многими исследователями, в частности, Соломиной О.Н. [1]. Они находятся в стадии деградации и в настоящее время, т.е. отмечается повсеместное отступление их концов. Крупномасштабные карты, построенные по материалам фототеодолитных съемок 1955-1959 гг., позволяют судить о характере колебаний концов ледников. По данным Р.Д. Забирова [2], ледники бассейнов рек Каракол и Ак-Суу в 1956-1959 гг. в среднем за год отступали на 8-10 м. При этом за счет отступления невосполнимо терялось от 642 тыс.м<sup>3</sup> (ледник Колтор Восточный) до 1493,8 тыс. м<sup>3</sup> льда (ледник Аксуу).

Темпы деградации оледенения различных районов значительно различались. Существенны и временные различия. Так, скорость сокращения площади оледенения массива Ак-Шыйрак в Центральном Тянь-Шане изменялась от 0,12% в год в период 1943-1977 гг. до 0,33% в 1977-2003 гг. [3]. Минимальными для гор Азии темпами сокращения площади (0,01-0,06% в год) в последние десятилетия XX в. отличалось оледенение Тибетского плато [4], а максимальными (0,80-0,83% в год) – оледенение северной периферии Тянь-Шаня [3,5]. В значительной мере это объясняется тем, что на юго-востоке Тибетского плато интенсивность солнечной радиации в зоне абляции ледников составляет лишь 1/6 от теоретически возможной, а конденсация превышает испарение, вследствие чего, интенсивность таяния льда составляет лишь около 3,2 мм/1°С, тогда как в Центральном Тянь-Шане она превышает 12,5 мм/1°С [6]. За период наблюдений 1957-1968 гг. на леднике Кара-Баткак средняя величина стаивания, приходящаяся на 1°С положительной температуры, составляет 7 мм [7]. Отчасти это различие объясняется тем, что на леднике Кара-Баткак среднегодовое количество осадков составляет 865 мм, в Центральном Тянь-Шане по данным многолетних наблюдений МС Тянь-Шань (3614 м) -322 мм. Частые летние осадки, подавляющая часть которых в ледниковом диапазоне выпадает в твердом виде, способствуют «консервации ледников», поскольку то удельное таяние, которое приходится на 1°С, затрачивается в большей степени на стаивание летнего снега, существенно снижая тем самым интенсивность чистой абляции льда.

Основательную работу по анализу отступления, наступания и стационарности фронта ледников центрального региона Тянь-Шаня провел М.К. Кошоев [8] сопоставивший данные Каталога ледников СССР [9, 10, 11] 1970-ых гг. с Каталогом ледников Средней

Азии [12] 1930 г. Автор указал на причины трудностей получения достоверных результатов, но, благодаря скрупулезному анализу, сделал вывод о том, что в первую половину XX века изменение ледников указанного региона происходило неоднозначно с преобладанием неярко выраженной тенденции к отступанию. Таким образом, с начала XX в. до 40-х годов происходило отступление ледников, которое усилилось к концу 50-х годов. С начала 1960-х до серед. 1970-х гг. отступление замедлилось, и отмечались периоды короткого временного наступания (1962-1964 и 1974-1977 гг.).

Сравнение карт ледника Кара-Баткак 1947 и 1964 гг. показывает, что конец языка ледника за этот период отступил на 80-100 м (или на 5-6 м ежегодно). Потеря льда за счет сокращения ледника по приблизительным расчетам равна 300 тыс. м<sup>3</sup>. Однако отступление конца функционально не связано с балансом массы и потому далеко не всегда может служить строгим критерием для суждений о его эволюции. Процесс массообмена между фирновой зоной и областью абляции может происходить совершенно иными темпами, нежели сокращение линейных размеров ледника.

За последние 4 года для определения скорости линейного отступления ледника Кара-Баткак были выполнены ежегодные GPS-съемки фронтальные линии. Однако GPS съемкой мы получали только информацию об отступании нижней границы ледника за ограниченные годы. Для оценки скорости линейного отступления и сокращения его площади за последние 40-50 лет мы применили метод дистанционного зондирования ледника с использованием аэрофотоснимков (АФС) и космофотоснимков (КФС) Landsat 5-8.

**Материалы и методы исследования.** Для анализа изменений площади ледника использованы:

1) аэрофотоснимки в цифровом формате TIFF высокого разрешения, охватывающие период с 1967 по 1988 гг;

2) топографические карты масштаба 1:25000 для восточной части хребта ТескейАла-Тоо по состоянию на 1977 г.;

3) космические снимки Landsat TM, ETM + Landsat 1-51977, Landsat-5 1990-2006 гг., Landsat-8 2017, Sentinel-2 2018г., Skysat-2018г. (разрешение космоснимков от 3 до 15 метров/пиксель). Дешифрирование космоснимков ледника с использованием выше перечисленных материалов проводилось с помощью программ ArcMap\_10.

**Результаты.** Результаты дешифрирования космоснимков графически приведены на рисунке 1 и в табличном виде – в таблице 1.



Рис. 1. Изменение площади ледника Кара-Баткак в период 1990-2018 гг.

Таблица 1

Изменение площади ледника Кара-Баткак период 1947 по 2018 гг., км<sup>2</sup>

1967	1978	1990	1996	2017	2018	Сокращение площади в период 1967-2018 гг.
3	3	2,51	2,46	2,28	2,15	0,23
-	-	0,16	0,16	0,17	0,06	0,01
-	-	0,03	0,02	0,01	0,13	0,01
					0,01	
<b>3,2</b>	<b>3</b>	<b>2,7</b>	<b>2,6</b>	<b>2,5</b>	<b>2,4</b>	<b>0,8 (22%)</b>

Наибольшему сокращению площади ледников подвергаются нижние зоны, или так называемые языки ледников. Это фиксируется как по уменьшению площади этих участков ледников, так и по отступанию фронтальной линии ледников. Это наглядно показано на примере ледника Кара-Баткак на рисунке 2.

Линейное отступление языка ледника Кара-Баткак в период с 1967 по 2018 года составило 438 метров. В период с 1967 по 1977 года ледник отступил на 60 метров, что соответствует скорости отступления 6 метров в год. В период с 1977 по 1990 года ледник отступил на 73 метров, скорость отступления - 5,6 метров в год. В период с 1990 по 1996

года ледник отступил на 46 метров, скорость отступления - 7,3 метров в год. В период с 1996 по 2006 года ледник отступил на 75 метров, скорость отступления - 7,5 метров в год. В период с 2006 по 2017 гг. ледник отступил на 88 метров, скорость отступления - 8,0 метров в год (рис. 2).

Таким образом, по результатам дистанционного зондирования ледника, ежегодное его отступление увеличилось с 5,6 м до 8 метров, особенно это активизировалось в последние 20 лет, а площадь ледника Кара-Баткак в период наблюдений 1977-2018 гг. сократилась на 0,8 км<sup>2</sup> или на 27% от общей первоначальной его площади (рис. 1).



Рис. 2. Линейное отступление языка ледника Кара-Баткак в разные годы (1967-2018 гг.).

**Выводы.** Дешифрирование различных космических снимков, аэрофотоснимков, анализ топографических карт, результатов полевых измерений и опубликованных результатов позволил определить границы ледника Кара-Баткак в различные годы и оценить скорость и отступления, и изменений площади ледника. На основе анализа имеющихся данных, по состоянию на 2018 г., подтверждается продолжение тенденции многолетнего отступления ледника Кара-Баткак.

В целом, изменение площади ледника Кара-Баткак происходит неравномерно во времени, что отражается в различии средних скоростей изменений его площади. Изменения ледника, как отступающего, так и наступающего характера, в основном, обусловлены изменением баланса в приходе и расходе льда.

Вес период измеренных годовых значений баланса массы ледника Кара-Баткак (1957-1997; 2013-2018 гг.), состоящий из 46 лет измерений положительных баланса массы отмечен только 5 лет. Это было 1957/58, 1963/64, 1966/67, 1970/71, 1971/72 [13].

Линейное отступление языка ледника Кара-Баткак в период с 1967 по 2018 год составило 438 метров, с ежегодным отступанием от 6 до 8 м. в год. Увеличение ежегодного отступления ледника является показателем в последние годы.

Общая площадь ледника в 1967 году была около 3,2 км<sup>2</sup>, а в 2018 году она сократилась на 0,8 км<sup>2</sup>, то есть уменьшилась на 22,8%.

В районе ледника Кара-Баткак основные климатические факторы формирования баланса массы, представленные температурой воздуха и атмосферными осадками, по данным метеорологических станций самой ледника «Кара-Баткак», «Чон-Кызылсуу» и автоматической метеостанции ТШВНЦ, имеют место многолетняя тенденция увеличения, причем

среднегодовой температурный градиент и осадки, в непосредственной близости к леднику.

Наблюдается прямая зависимость ледникового стока Кашка-Тор от ледника Кара-Баткак, по данным гидропосту «Кашка-Тор» 2013-2017 гг. [14]. Увеличение стока рек сопровождается увеличением абляции ледника и повышением средне годовые температуры воздуха. В то же время баланс массы этого ледника находится в прямой зависимости от атмосферных осадков от среднегодовой температуры воздуха. В целом, несмотря на многолетний рост годовых осадков в районе ледника Кара-Бакак, аналогичный рост температур обеспечивает формирование отрицательного баланса массы ледника, что приводит к продолжению отступление и сокращения его площади.

#### Литература:

1. Соломина О.Н. Горное оледенение Северной Евразии в голоцене. М., Научный мир, 1999. - 264 с.
2. Забиров Р.Д. Оледенение Средней Азии. «Работы Тянь-Шанской физико-географической станции». Гляциология. - Вып. 1. - Фрунзе, 1958.
3. Aizen, V.B., Kuzmichenok V. A., Surazakov'A.B., Aizen E.M., Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data: *Annals of Glaciology*, 43, 2006. - PP. 202-213.
4. Синь Ли, Гордон Шенг и др., 2006.
5. Severskiy I.V., Kokarev A.L. Severskiy S.I., Tokmagambetov T.G., Shagarova L.V., Shesterova I.N. (2006). Contemporary and prognostic changes of glaciation in Balkhash Lake basin. *Almaty*. 68p.
6. Aizen V.B., Aizen E.M. 1997. Glaciers and snow cover in Central Asia as indicators of climate change in earth-ocean-atmosphere system. // *Regional Hydrological Response to Climate Warming*. KluweracademicPubl. - PP. 269 - 66.
7. Дикин А.Н., Михайлова В.Н. Режим ледников и водный баланс северного склона хребта Терской Ала-Тоо. - М.:

- Наука, 1976. - 131 с.
8. Кошоев М.К., Колебания ледников Центрального Тянь-Шаня в XX веке. Режим ледников Центрального Тянь-Шаня. - Фрунзе: Илим, 1986, 31-59.
  9. Каталог ледников СССР, т.14, вып. 2, ч. 7. Л., ГИМИЗ, 1969. - 80 с.
  10. Каталог ледников СССР, т.14, вып. 1, ч. 5. Л., ГИМИЗ, 1977. - 80 с.
  11. Каталог ледников СССР, т.14, вып. 2, ч. 5. Л., ГИМИЗ, 1976. - 80 с.
  12. Корженевский Н.Л. Каталог ледников Средней Азии. - Ташкент, 1930.
  13. Эрменбаев Б.О., Маматканов Д.М., Сатылканов Р.А., Поповнин В.В. «Изменения подходов к расчету баланса массы ледников внутреннего Тянь-Шаня». / Журнал «Наука новые технологии и инновации Кыргызстана», №4. – 2019. - С. 116-121.
  14. Эрменбаев Б.О. «Забронированные ледники северного Тянь-Шаня и их влияние стока рек». / Известия Национальной Академия наук Кыргызской Республики, №1. – 2020. - С. 40-46.
-