



## Баланс массы ледника № 139 бассейна озера Каракуль Восточного Памира

Кабутов Х.К.<sup>a</sup>, Каюмов А.<sup>a</sup>, Сакс Т.<sup>b</sup>, Наврузшоев Х.Д.<sup>a</sup>, Восидов Ф.К.<sup>a</sup>, Неккадамова Н.М.<sup>a</sup>, Халимов А.М.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Академии наук Республики Таджикистан», 734025, Таджикистан, г. Душанбе, пр-т Рудаки, 33

<sup>b</sup> Фрибургский университет, Департамент наук о Земле, Фрибург, Швейцария

### АННОТАЦИЯ

Горные ледники, к которым относятся также и малоизученные ледники бассейна оз. Каракуль, считаются наиболее уязвимой частью криосферы, непосредственно реагирующей на изменения климатических условий. Следует отметить, что только в 1953 г. были осуществлены аэрофотосъёмки и выполнены единичные полевые изыскания по изучению оледенения бассейна оз. Каракуль. Следовательно, исследование ледников данного бассейна имеет большое научное значение в том числе в области гляциологии и климатологии. Целью данной статьи является расчёт поверхностного баланса массы (SMB) ледника № 139 в бассейне оз. Каракуль, позволяющий на основе полученных результатов оценить степень влияния изменения климата на оледенение данной территории, а также перспективу изменения состояния ледников в будущем. В период с 2018 по 2019 г. баланс массы ледника № 139 бассейна оз. Каракуль составил -0.26 м в.э. Ледник № 139 находится на юго-западной части бассейна оз. Каракуль. На основе данных, полученных с метеостанции Каракуль, установлено, что климат в бассейне оз. Каракуль сурово-холодный, с малоснежной зимой и мягким летом. Основная масса осадков приходится на тёплый период. Ввиду того, что в историческом прошлом и до недавних пор на данной территории не велись наблюдения за балансом массы ледников, полученные результаты могут стать исходными данными для расширения познаний в научно-практической области и способствовать увеличению точности моделирования динамики ледников в данном регионе.

Подана в редакцию:  
8 января 2021

Принята к публикации:  
23 августа 2022

Доступ онлайн:  
28 октября 2022

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

бассейн озера Каракуль,  
горные ледники,  
баланс массы ледника,  
гляциология, Восточный  
Памир

Для корреспонденции Кабутов Х.К. ✉ [kabutov.khusrav@gmail.com](mailto:kabutov.khusrav@gmail.com) Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Академии наук Республики Таджикистан», 734025, Таджикистан, г. Душанбе, пр-т Рудаки, 33

## 1. Введение

Одной из основных научно-практических задач в области гляциологии и климатологии является изучение состояния ледников в условиях изменения климата.

Озеро Каракуль - крупнейшее из озер на территории Республики Таджикистан, с площадью зеркала 380 км<sup>2</sup>, глубиной до 238 м и объемом более 26 км<sup>3</sup>. Оно расположено в плоской горной котловине на высоте 3914 мн.у.м., в северной части Памира, к югу от Заалайского хребта. В него впадают несколько рек, основные из которых - Караджилга, Карарт, Акджилга, Музкол. Границами рассматриваемого района являются крупные горные хребты, высотой до 5500-6000 м. Оз. Каракуль бессточное, вода в нем горько-соленая (Атлас и др., 1975).

Ледники наиболее чувствительны к климатическим изменениям. Реконструкции, выполненные по результатам данных об отступлении ледников, проведенные на основе сравнительного анализа многолетних метеоданных (Oerlemans, 2005), а также других методов не отражают межгодовую изменчивость в прошлом, что связано как с задержкой в отклике ледников, так и с некоторой сложностью в интерпретации получаемых данных. Баланс массы ледников имеет прямой, (т. е. без задержки) климатический сигнал, который отражается в изменении значений аккумуляции и абляции (Долгова и др., 2013).

Проблема сокращения площади горных ледников в течение XX - начала XXI в. имеет несколько аспектов. Горные ледники считаются наиболее уязвимой частью криосферы с точки зрения реакции на изменение климатических условий. Их сокращение приводит к относительно быстрому, хотя и не столь значительному по сравнению с другими источниками, росту среднего уровня Мирового океана (Radić, Носк, 2011). Горные ледники регулируют речной сток: до трети его годовой величины в горных и предгорных регионах приходится на ледниковый сток, доля которого в теплый период года может увеличиваться до 70 % (Панов, 2001). Ледниковый сток поступает в реки в вегетационный период, когда потребность в воде особенно велика, поэтому сокращение горного оледенения влияет на экономику горных и предгорных регионов. Наконец, сокращение горного оледенения затрагивает и такую важную отрасль, как туризм (Elsasser, Bürki, 2002).

Следует отметить, что ледники бассейна оз. Каракуль мало изучены. В 1953 г. были проведены аэрофотосъемки и выполнены единичные полевые изыскания оледенения данного бассейна (Атлас и др., 1975). Труднодоступность, отдалённость, а также ввиду того что оз. Каракуль бессточное и расположено на высоте 4000м, - все это делает невозможным ведение на данной территории сельскохозяйственной деятельности; кроме того, проведение постоянных

исследований на ледниках, с точки зрения экономической эффективности, считается нецелесообразным. Но вместе с тем, несомненно, реализация научных исследований в данном бассейне важна, в частности для прогноза и моделирования колебания ледников в условиях изменения климата.

Что касается ледников Центральной Азии, то измерения баланса массы ледников проводились на ледниках Батиш соок, Туюксу, Абрамова, на леднике № 354 и других репрезентативных ледниках (Рис. 1). В работе Haggetal.(2004) приведены различные методы определения баланса массы ледника Туюксу и их сравнение, где при определении баланса массы ледника гляциологическим методом показатель был равен -16,8 м в.э. В работе Kenzhebaev et al.(2017) показан средний баланс массы ледника Батыш Соок за период с 2011 по 2016 г., который составил -0,34 мв.э./год. Kronenberg et al.(2016) на леднике № 354, (хребет Акшийрак, Кыргызстан) провели реконструкцию баланса массы ледника для периода 2003-2012 гг., кумулятивный баланс массы данного ледника составил -0,40 м в.э.а-1.

В работах Hoelzle et al. (2020) модель для региона Восточного Памира дает погрешность  $\pm 150$  см (см. рис.1). Эта величина очень большая, и внесение новых данных позволит скорректировать погрешность.

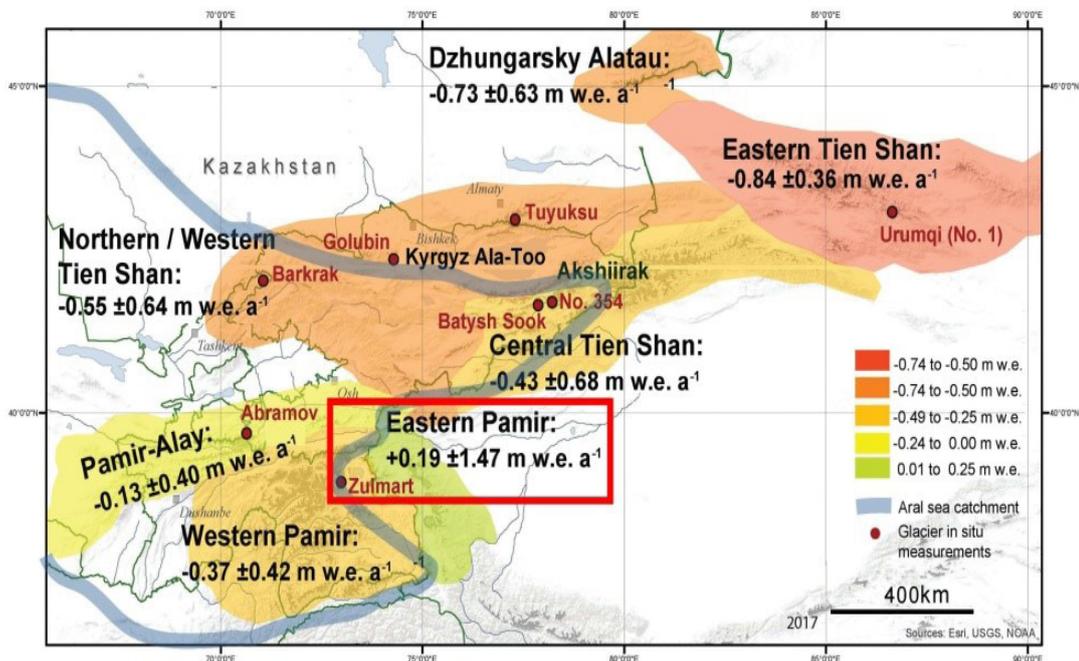


Рис. 1. Погрешность моделирования (Hoelzle et al., 2020).

Установка автоматической камеры, фиксирующей движение ледника, и автоматической метеостанции, обеспечивающей метеоданными (в рамках проекта «CICADA»), позволит не только наладить непрерывные наблюдения за ледником, но и получить необходимые данные для дальнейших научных исследований.

Задачей настоящего исследования является получение баланса массы (поверхностный баланс массы-SMB) ледника № 139 в бассейне оз. Каракуль. Полученные результаты позволят выяснить степень влияния изменения климата на оледенение данной территории и оценить перспективу изменения состояния ледника в будущем.

Актуальность исследования состоит в том, что впервые были получены данные о состоянии баланса массы ледника на Восточном Памире.

## 2. Объект исследования

Район оледенения (площадь водосбора 4210 км<sup>2</sup>) - бассейн оз. Каракуль находится в северной части Восточного Памира. Озеро расположено в центре замкнутой котловины, границами которой являются горные хребты (на севере Заалайский, на юге Музкол, на западе Зулумарт, на востоке Сарыкольский) высотой до 5500-6000 м, покрытые снегом и льдом (Атлас и др., 1975). На основании данных, полученных по метеостанции Каракуль, установлено, что климат здесь сурово-холодный, с малоснежной зимой и мягким летом. Основная сумма осадков приходится на теплый период (Рис. 2 и Рис. 3) (Мирзохонова, 2021).

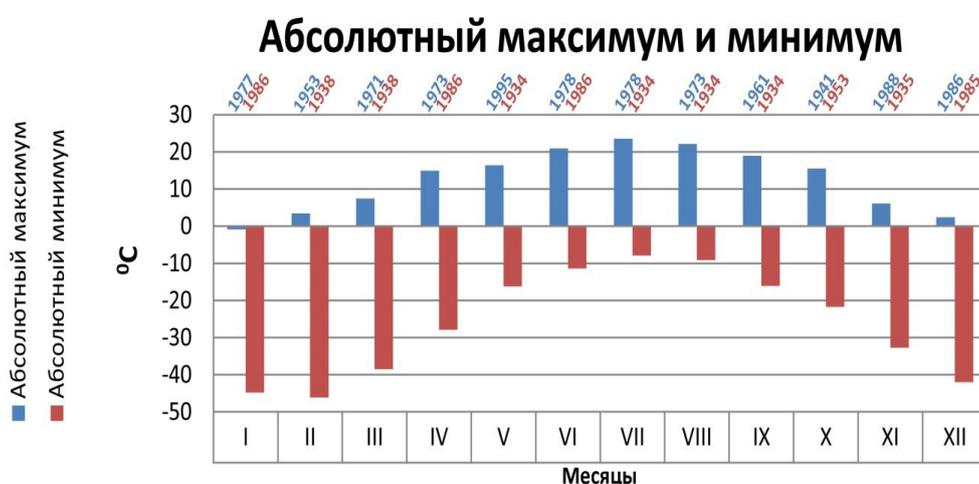


Рис. 2. Абсолютный максимум и минимум температур по метеостанции Каракуль (Научно-прикладной справочник по климату СССР, 1988; Сайт Погода и климат, 05.08.2021)

На графике (Рис. 2) показаны данные метеостанции Каракуль на Восточном Памире, отображены максимальные и минимальные величины температуры для каждого месяца за 60 лет наблюдений (с 1930 по 1990 г.).

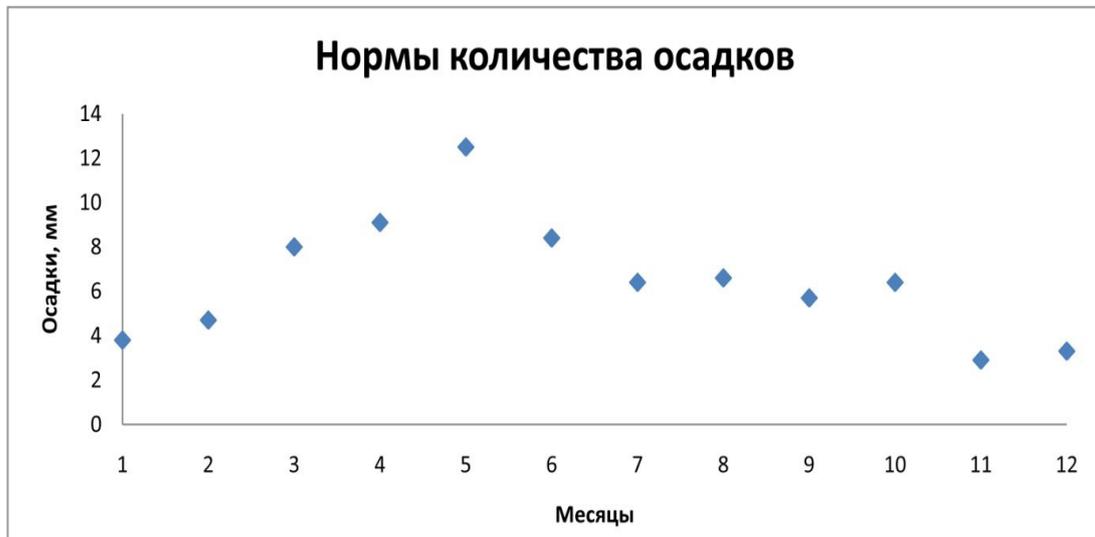


Рис. 3. Нормы количества осадков по метеостанции Каракуль (Научно-прикладной справочник по климату СССР, 1988; Сайт Погода и климат, 05.08.2021)

Объектом для исследования был выбран ледник № 139 бассейна оз. Каракуль (по Каталогу ледников СССР; Атлас, 1975), находящийся в юго-западной части данного бассейна. По морфологическому типу ледник относится к долинным, с площадью 3,64 км<sup>2</sup>. Нижняя часть ледника расположена на высоте 4625 м, высшая - на высоте 5497 м.

Ледник № 139 с южной стороны имеет крутой склон и скальную гряду посередине, которую мы исключили из расчетов (треугольный фрагмент в центре ледника на Рис.4В).

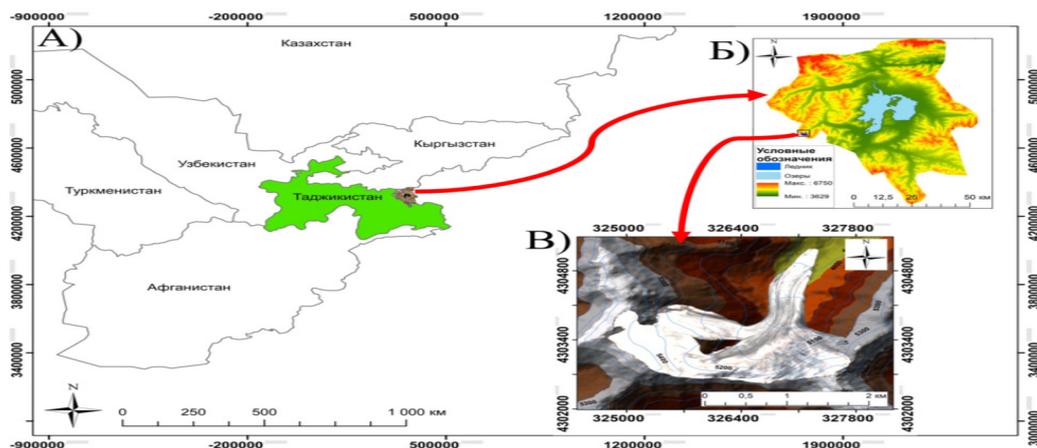


Рис. 4. Объект исследования: А) Средняя Азия (<https://tariquen-sig.jimdo.com/english-version/free-downloads/world/>) 30.10.2019; Б) Бассейн оз. Каракуль (радарный снимок SRTM); В) Ледник № 139 (Снимок Sentinel 2, радарный снимок ALOSPALSAR)

### 3. Методология

Работа была проведена по существующей методике, проверенной годами и применяющейся во всем мире. С помощью спутникового снимка Sentinel-2A 2019 г. и программы ArcGIS построена схема ледника и определена его площадь, а также были добавлены изолинии и создана 3D-модель ледника для лучшего восприятия объекта исследования и его орографии.

Исследования ледника велись прямыми гляциологическими измерениями, позволяющими измерять только количественный, поверхностный баланс массы (Kronenberg, 2016).

Обычный метод определения баланса массы - это измерение аккумуляции и абляции на поверхности ледника с привязкой к горизонту таяния предыдущего года. В зоне аккумуляции толщину и плотность снега и фирна обычно исследуют в шурфах. Абляция ледника определяется с помощью реек, исходя из предположения, что плотность льда составляет около  $900 \text{ кг м}^{-3}$ . Измерения следует проводить в репрезентативных точках, иначе могут возникнуть трудности на ледниках с большими труднодоступными участками.

Процесс исследований включал два этапа: проведение полевых изысканий (Рис.5) и камеральная работа по подсчету баланса массы ледника. Полевые исследования состоят из следующих работ.

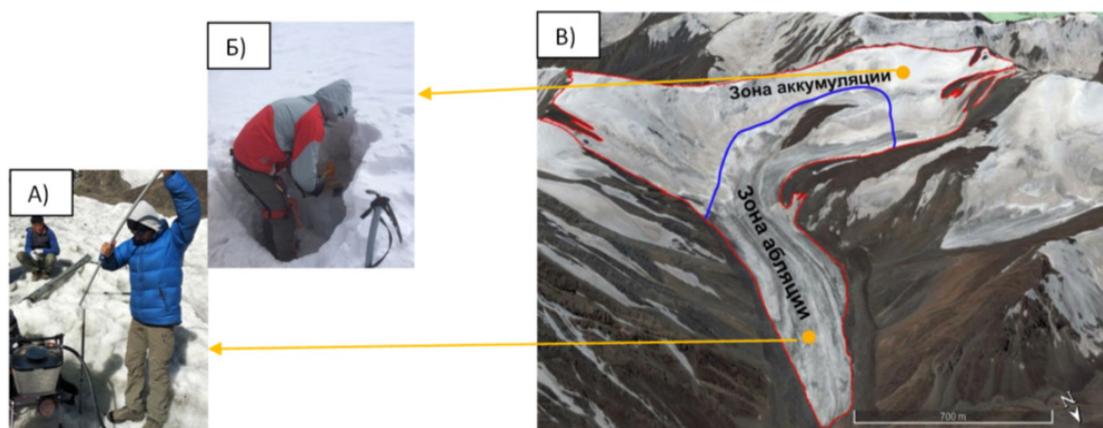


Рис. 5. Основные методы полевых работ: А) Рейка в зоне абляции; Б) Шурф в зоне аккумуляции; В) Зоны абляции и аккумуляции ледника (снимок Google Earth)

#### 3.1. Работы в зоне абляции

В 2018 г. в предварительно обозначенные точки, которые определялись дистанционно, было установлено 7 абляционных реек (см. рис. 5А). Рейки для определения потери массы в зоне абляции ледника устанавливались с помощью паробура (Рис.6А). В 2019 г. были получены данные с реек, переустановлены новые.



Рис. 6. Проведение полевых работ в зоне абляции: А) Паробур; Б) Установка реек; В) Рейка 2018 года

### 3.2 Работы в зоне аккумуляции

Результаты работ в зоне аккумуляции позволили получить информацию о плотности и высоте годового накопления снега (Рис.7).

Вероятная зона проведения работ была установлена на основе данных дистанционного зондирования и полевых работ. После выбора места был выкопан шурф до прошлогоднего снега (прошлогодний снег более плотный, и он постепенно превращается в фирн). Далее определялись высота и плотность снега (плотность снега определяется с помощью снегомера ВС-43 (Рис. 7А); с помощью цилиндра берется снег вдоль шурфа и измеряется его вес (Рис. 7Б), в результате был получен объем и вес снега для определения водности (Ostrem, Brugman, 1991; Jackson, 2014).

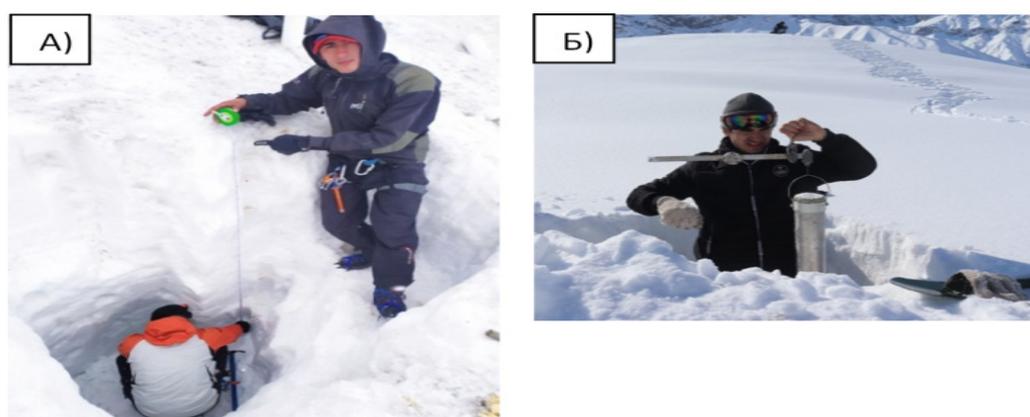


Рис. 7. Основные понятия полевых работ в зоне аккумуляции: А) Шурф в зоне аккумуляции; Б) Использование снегомера

### 3.3 Использование метода контурных линий для расчета годового баланса массы ледника

Для вычисления баланса массы ледника был определен средний баланс массы каждого поля и площадь данных полей (Рис.8Б, В), далее значение баланса умножено на площадь поля (Рис. 8Г, Д). Сумма полученных результатов разделена на общую площадь ледника.

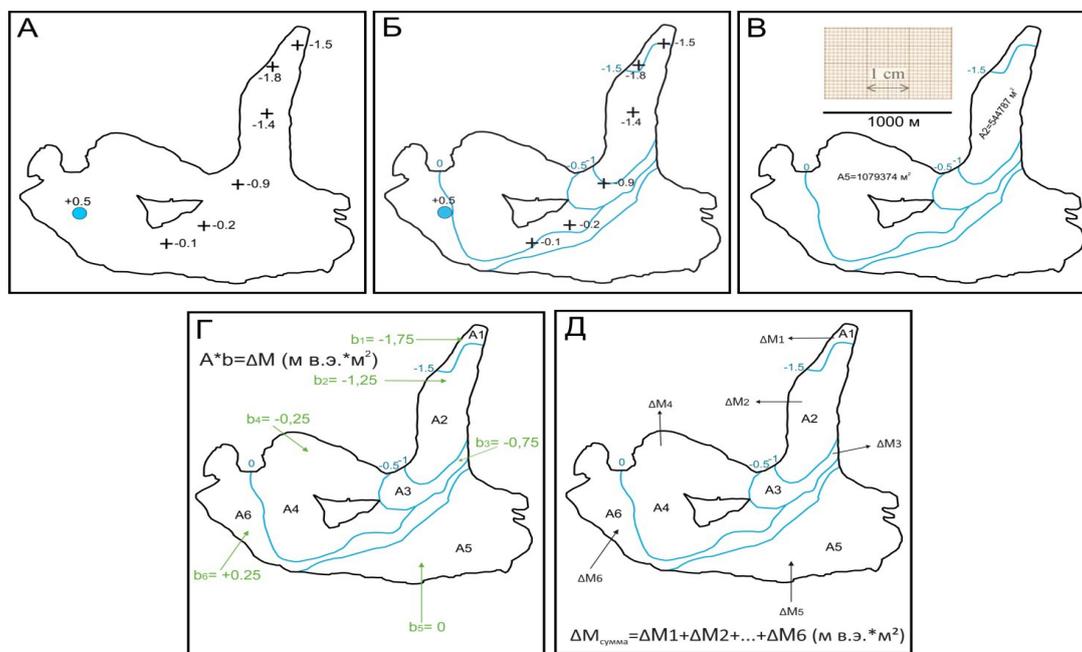


Рис. 8. Метод контурной линии - схематическое суммирование:

- А) Включение точечных измерений на карту; Б) Линии между точек;
- В) Вычисление площади каждого поля; Г) Определение среднего баланса массы для каждой области; Д) Вычисление баланса массы для каждого поля.

## 4. Результаты

Вычисление баланса массы ледника методом контурных линий.

На основе полученных данных была построена подробная карта ледника с линиями равного баланса массы. Первая линия начинается выше изолинии 4700 м и опускается ниже этой изолинии. Это обусловлено тем, что ледник имеет неравномерное питание по правому и левому борту. Линия равного баланса массы ледника проведена между точками, равными 1,5 м в.э., которая разделяет область A1 и A2 (см. рис. 8); для области A1 с площадью 0,06 км² было присвоено значение -1,75 м в.э., а для области A2 с площадью 0,53 км² было присвоено значение -1,25 (разница 0,5 м в.э.). Область A2 имеет большую площадь на данном леднике, это связано с тем, что данная площадь расположена на пологой местности и не имеет большой разницы высоты.

Средний баланс массы в области  $b_1 = -1,75$  м.э., площадь данной области равна  $A_1 = 0,06$  км<sup>2</sup>, по формуле  $A \cdot b = \Delta M$  был получен баланс массы данного поля-  $\Delta M_1 = -0,105$  м в.э. Такие действия были проведены и для других полей, как указано ниже:

$A$  = область с равным балансом массы (зоны между изолиний), км<sup>2</sup>

$b$  = присвоенное значение баланса массы, м.э.

$A \cdot b = \Delta M$

$\Delta M_{\text{сумма}} = \Delta M_1 + \Delta M_2 + \dots + \Delta M_6$

$\Delta M_{\text{сумма}} / A_{\text{сумма}} = B_{\text{м.э.}}$

Площадь каждого поля км <sup>2</sup>	Баланс массы каждого поля
$A_1 = 0,06$ км <sup>2</sup>	$\Delta M_1 = A_1 \cdot b_1 = 0,06 \cdot (-1,75) = -0,105$
$A_2 = 0,53$ км <sup>2</sup>	$\Delta M_2 = 0,53 \cdot (-1,25) = -0,6625$
$A_3 = 0,17$ км <sup>2</sup>	$\Delta M_3 = 0,17 \cdot (-0,75) = -0,1275$
$A_4 = 1,15$ км <sup>2</sup>	$\Delta M_4 = 1,15 \cdot (-0,25) = -0,2875$
$A_5 = 1,21$ км <sup>2</sup>	$\Delta M_5 = 1,21 \cdot 0 = 0$
$A_6 = 0,11$ км <sup>2</sup>	$\Delta M_6 = 0,11 \cdot 0,25 = 0,0275$
$A_7 = 0,42$ км <sup>2</sup>	$\Delta M_7 = 0,42 \cdot 0,5 = 0,21$
	$\Delta M_1 + \Delta M_2 + \Delta M_3 + \Delta M_4 + \Delta M_5 + \Delta M_6 + \Delta M_7 = -0,945$
Баланс массы = $\Delta M_{\text{сумма}} / A_{\text{сумма}} = (-0,945) / 3,66 = -0,26$ м в.э.	

На карте (Рис. 9) цветами обозначен средний годовой баланс массы ледника для каждого поля. В точке, где был выкопан шурф, зоне аккумуляции присвоено значение  $0,49$  м в.э.; исходя из этого, для верхней области аккумуляции было присвоено значение  $0,50$  м в.э. (см. рис. 9, синяя область), так как расчет баланса массы осуществляется с разницей между линиями с одинаковым балансом массы в  $0,5$  м в.э. Для проведения нулевой линии использован зонд, который применяется для определения высоты снежного покрова непосредственно на леднике, и спутниковый снимок SENTINEL, позволивший определить снеговую линию. В юго-восточной части ледника имеется крутой склон (см. рис. 9, белая область на карте (см. рис. 8Г, Д, область А5), на котором накопление снега маловероятно, поэтому мы присвоили этой области значение «ноль». У подножия склона имеется скопление снежной лавины, которая питает ледник. При интерпретации данных было решено присвоить этой области значение  $0,25$  м в.э.

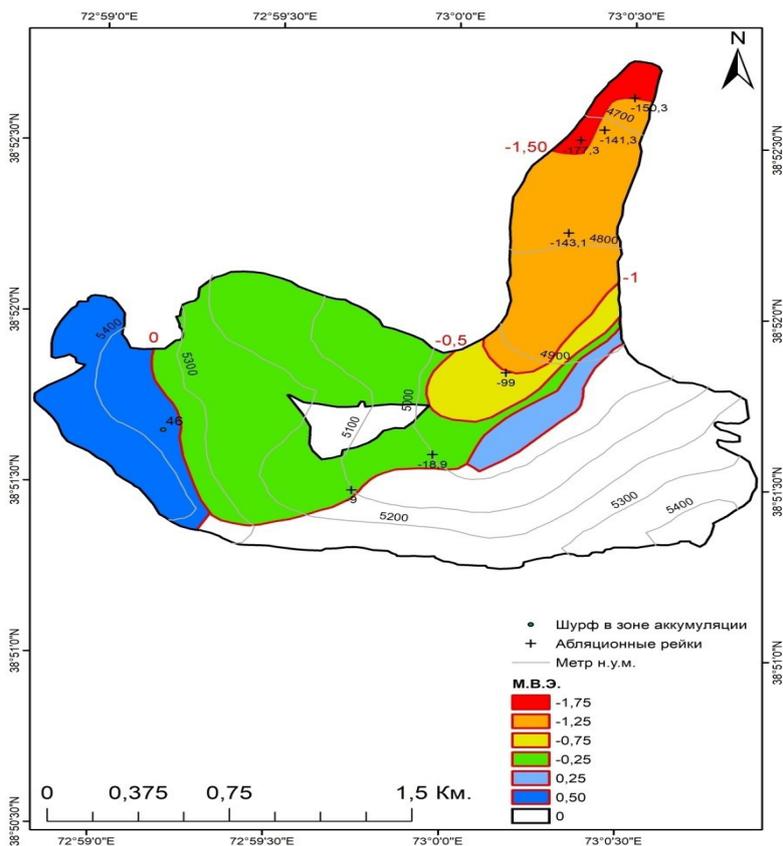


Рис. 9. Вычисление баланса массы ледника методом контурных линий

## 5. Обсуждение

По данным Всемирной службы мониторинга ледников, с 1960-1970-х и до середины 1980-х гг. баланс массы ледников несколько стабилизировался во многих районах земного шара - в Канаде, на Аляске, в Альпах, в тьян-шаньском регионе и др. (Global Glacier Change Bulletin No. 2, 2017). Но следует отметить, что в разных регионах динамические колебания ледников происходят по - разному, что связано с климатическими особенностями, рельефом местности, расположением ледников и другими свойствами самого ледника.

Так как ледники Восточного Памира, в том числе и бассейна оз. Каракуль, находятся на высоте более 4500 м и климатические условия там относятся к сурово-холодным зонам, то это может быть причиной того, что ледники в исследуемой территории более стабильны, и это подтверждается данными, полученными с ледника № 139. Однако этот фактор не является основным показателем стабильности ледника, поскольку на динамику ледников могут влиять и другие параметры. Экспозиция ледника № 139, находящегося в цирке отрогов хребта Зулумарт, северная, что уменьшает попадание на него прямых солнечных лучей и препятствует сильным ветрам износу снежного покрова с ледника (Рис.10).

Ледник с юго-восточной стороны имеет крутой склон, при расчетах этой области присвоено значение «ноль», это связано с тем, что область находится в затененной зоне, то есть нет постоянного попадания солнечного света на эту область. Осадки, падающие на этот склон в виде снежных лавин, спускаются к подножию склона и накапливаются там, и поэтому у подножия склона по эмпирической закономерности было присвоено значение 0,25. Снег на склоне имеет небольшую толщину и находится там постоянно.

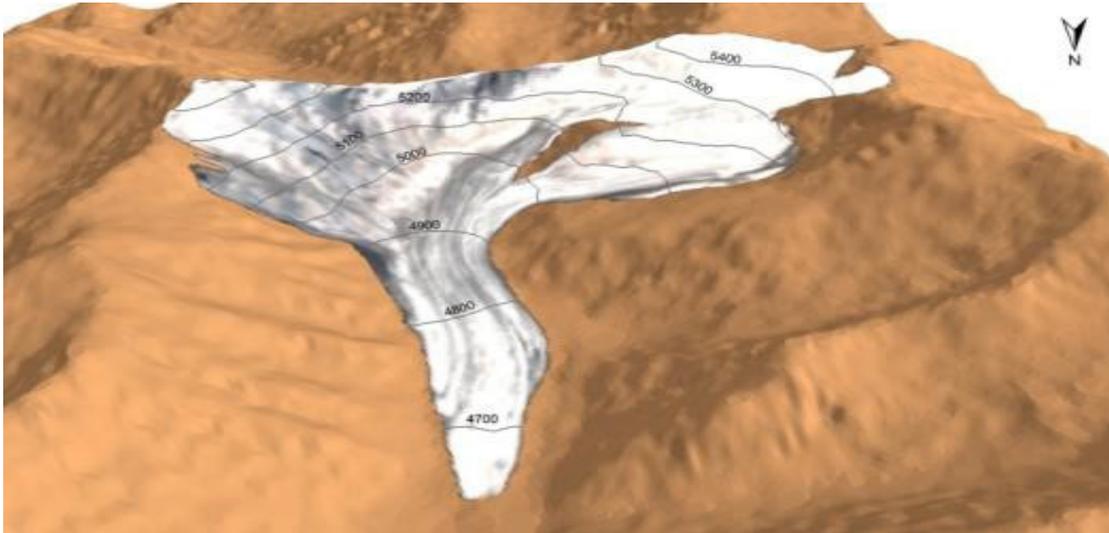


Рис. 10. 3D-модель ледника № 139 (Снимок Sentinel 2-2018г., радарный снимок ALOSPALSAR)

## 6. Заключение

Проведенное исследование позволило впервые в юго-восточной части Центральной Азии получить данные о балансе массы ледника прямым гляциологическим методом.

Основной целью данной статьи является представление методики расчета баланса массы ледника прямым гляциологическим методом для воспроизведения данного метода на других ледниках. А также предоставление первоначальных данных о балансе массы ледника на восточном Памире, так как на данной территории подобные работы не проводились.

Задачей настоящих исследований было получение баланса массы (поверхностный баланс массы-SMB) и определение динамики ледника № 139 в бассейне оз. Каракуль. Результаты исследований позволят выяснить степень влияния изменения климата на оледенение данной территории и оценить перспективу изменения их состояния в будущем.

Проведенные полевые работы были достаточны для достижения желаемого результата, в том числе полученные основные замеры дали возможность

рассчитать баланс массы ледника. Камеральная работа и проведение изолиний для подсчета баланса массы ледника велись с учетом особенностей и рельефа поверхности ледника.

Расчет баланса массы (поверхностный баланс массы-SMB) и определение динамики ледника № 139 в бассейне оз. Каракуль позволили определить состояние ледника на 2018-2019 гг., который составил -0,26 м в.э. Следует отметить, что только при проведении непрерывных наблюдений на данном леднике можно реально оценить его динамику.

Результаты исследования данного бассейна имеют большое научное значение в том числе в областях гляциологии и климатологии и будут способствовать увеличению точности моделирования динамики ледников данного региона.

## Список литературы

- Атлас, Л.Э., Варнакова, Г.М., Рототаева, О.В. (1975). *Ресурсы поверхностных вод СССР. Каталог ледников СССР*, т. 14 (Средняя Азия), вып. 3 (Амударья), ч. 17 (реки бассейна оз. Каракуль). Москва: Гидрометеиздат.
- Долгова, Е.А., Мацковский, В.В., Соломина, О.Н., Рототаева, О.В., Носенко, Г.А., Хмелевской, И.Ф. (2013). Реконструкция баланса массы ледника Гарабаши (1800-2005 гг.) по дендрохронологическим данным. *Лед и Снег*, 53(1), 34-42. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-1-34-42>
- Мирзохонова, С.О. (2021). Влияние изменения климата на гидрологический режим бассейна реки Пяндж. [автореф. дисс. ... канд. техн. наук]. Дата обращения 05.10.2022. [https://www.imoge.tj/kitobho/Monographiya\\_Mirzokhonova-S.O..pdf](https://www.imoge.tj/kitobho/Monographiya_Mirzokhonova-S.O..pdf)
- Научно-прикладной справочник по климату СССР (1988). Серия 3. *Многолетние данные*. Часть 1-6. Вып. 31. Таджикская ССР.
- Панов, В.Д. (2001). *Эволюция современного оледенения Кавказа: автореферат дисс. ... д-ра геогр. наук*. Ростов-на-Дону, 58 с.
- Сайт Погода и климат. *Климатические данные, летопись климата*. Дата обращения 05.08.2021. <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php>
- Elsasser, H., Bürki, R. (2002). Climate change as a threat to tourism in the Alps. *Climate Research*, 20(3), 253-257. doi: <https://doi.org/10.3354/cr020253>
- Global Glacier Change Bulletin No. 2 (2014-2015). (2017). Eds. M. Zemp, S.U. Nussbaumer, I. Gärtner-Roer, J. Huber, H. Machguth, F. Paul, M. Hoelzle. Zurich: World Glacier Monitoring Service. doi: <https://doi.org/10.5904/wgms-fog-2017-10>
- Hagg, W., Braun L.N., Uvarov V.N., Makarevich K.G. (2004). A comparison of three methods of mass-balance determination in the Tuyuksu glacier region, Tien Shan, Central Asia. *Journal of Glaciology*. 50(171), 505-510. DOI: <https://doi.org/10.3189/172756504781829783>
- Hoelzle, M., Barandun, M., Bolch, T., Fiddes, J., Gafurov, A., Müssione, V., Saks, T., & Shahgedanova, M. (2020). The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia. In Book: *The Aral Sea Basin: Water for Sustainable Development in Central Asia*. Eds. Xenarios, S., Schmidt-Vogt, D., Qadir, M., Janusz-Pawletta, B., & Abdullaev, I., Chapter 8, 100-121. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780429436475-8>
- Jackson, M., Tenzin, S., & Tashi, T. (2014). *Glacier Mass Balance measurements in Bhutan*. 16(c), 16069.
- Kenzhebaev, R., Barandun, M., Kronenberg, M., YaningChen, Usabaliev, R., Hoelzle, M. (2017). Mass balance observations and reconstruction for Batysh Sook Glacier, Tien Shan, from 2004 to 2016. *Cold*

- Regions Science and Technology*, 135, 76-89. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2016.12.007>
- Kronenberg, M. (2016). From point measurements to glacier wide mass balance. Дата обращения 10.04.2020. [https://wgms.ch/downloads/CATCOS16\\_06\\_Kronenberg\\_point-to-glacierwide-mass-balance.pdf](https://wgms.ch/downloads/CATCOS16_06_Kronenberg_point-to-glacierwide-mass-balance.pdf)
- Kronenberg, M., Barandun, M., Hoelzle, M., Huss, M., Farinotti, D., Azisov, E., Usubaliev, R., Gafurov, A., Petrakov, D., & Kääh, A. (2016). Mass-balance reconstruction for Glacier No. 354, Tien Shan, from 2003 to 2014. *Annals of Glaciology*, 57(71), 92-102. <https://doi.org/10.3189/2016AoG71A032>
- Oerlemans, J.H. (2005). Extracting a Climate Signal from 169 Glacier Records. *Science*, 308(5722), 675-677. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1107046>
- Ostrem, G., & Brugman, M. (1991). *Glacier Mass-Balance Measurements: A Manual for Field and Office Work*. NHRI Science Report 4. Saskatoon, Canada.
- Popovnin, V.V., & Pylayeva, T.V. (2015). Avalanche feeding of the Djankuat Glacier. *Ice and Snow*, 55(2), 21-32. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2015-2-21-32>
- Radić, V., Hock, R. (2011). Regionally differentiated contribution of mountain glaciers and ice caps to future sea-level rise. *Nature Geoscience*, 4, 91-94. doi: <https://doi.org/10.1038/ngeo1052>

## Mass balance of glacier No. 139 in the basin of Lake Karakul in the Eastern Pamirs

Kabutov H.K.<sup>a\*</sup>, Kayumov A.<sup>a</sup>, Saks T.<sup>b</sup>, Navruzshoev H.D.<sup>a</sup>, Vosidov F.K.<sup>a</sup>, Nekkadamova N.M.<sup>a</sup>, Khalimov A.M.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> State Scientific Institution “Glacier Research Center of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan”, 734025, Dushanbe, Tajikistan, Rudaki av. 33

<sup>b</sup> University of Fribourg, Department of Earth Sciences, Fribourg, Switzerland

\* Corresponding author: [kabutov.khusrav@gmail.com](mailto:kabutov.khusrav@gmail.com)

<https://doi.org/10.29258/CAJWR/2022-R1.v8-2/70-84.rus>

### ABSTRACT

Mountain glaciers, including the poorly examined glaciers of Lake Karakul Basin, are considered the most vulnerable part of the cryosphere directly reacting to the changing climatic conditions. The most recent aerial photographing and single field surveys of the glaciation in Lake Karakul Basin were carried out as late as in 1953. The investigation of the basin glaciers therefore represents great scientific importance, including in terms of glaciology and climatology. The article describes the calculations of the surface mass balance (SMB) of Glacier No.139 in Lake Karakul Basin allowing, based on the findings, to assess the degree of climate change impact on the glaciation in the target zone, as well as the possible changes in the state of glaciers in the future. During 2018-2019, the mass balance of Glacier No.139 in Lake Karakul Basin amounted to -0.26 m WE. Glacier No.139 is located in the basin's southwestern part. The data obtained from the Karakul Weather Station allowed establishing that the climate in the target watershed is harshly cold with little snow in winter and mild summer, and the bulk of precipitation occurring in the warm season. Due to the fact that in the past and until recently no glacier mass observations were conducted in the target zone, the research findings can serve as initial data to expand the scientific and applied knowledge, as well as contribute to increasing the accuracy of glacier dynamics modeling in the area. findings can serve as initial data to expand the scientific and applied knowledge, as well as contribute to increasing the accuracy of glacier dynamics modeling in the area. the dynamics of glaciers in this region.

### ARTICLE HISTORY

Received January 8 2021

Accepted August 23 2021

Published October 28 2022

### KEYWORDS

Karakul Lake Basin,  
mountain glaciers, glacier  
mass balance, glaciology,  
Eastern Pamir.

## References

- Climate data, climate record. [Klimaticheskie dannye, letopis' klimata.] <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php>; Accessed: August 5 2021 [in Russian]
- Elsasser H., Bürki R. Climate change as a threat to tourism in the Alps // *Climate Research*. 2002. V. 20. P. 253-257. doi:10.3354/cr020253
- G.M. Varnakova, V.M. Kotlyakov, L.E. Atlas, O.V. Rototaev. Surface water resources of the USSR, catalog of glaciers of the USSR [Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Katalog lednikov SSSR] volume 14, Central Asia, issue 3, Amu Darya, part 17, rivers of the Karakul lake basin, Institute of Geography of the USSR Academy of Sciences. UDC 551.324. [in Russian]
- Global Glacier Change Bulletin No. 2 (2014-2015) / Eds. M. Zemp, S.U. Nussbaumer, I. Gartner-Roer, J. Huber, H. Machguth, F. Paul, M. Hoelzle. Zurich: World Glacier Monitoring Service, 2017. 244 p. doi: 10.5904/wgmsfog-2017-10.
- Hagg WJ, Braun LN, Uvarov VN, Makarevich KG. A comparison of three methods of mass-balance determination in the Tuyuksu glacier region, Tien Shan, Central Asia. *Journal of Glaciology*. Cambridge University Press; 2004;50(171):505-10.
- Hoelzle, M., Barandun, M., Bolch, T., Fiddes, J., Gafurov, A., Mussioni, V., Saks, T., & Shahgedanova, M. (2020). The status and role of the alpine cryosphere in Central Asia. In Book: *The Aral Sea Basin: Water for Sustainable Development in Central Asia*. Eds. Xenarios, S., Schmidt-Vogt, D., Qadir, M., Janusz-Pawletta, B., & Abdullaev, I., Chapter 8, 100-121. DOI:10.4324/9780429436475-8
- Jackson, M., Tenzin, S., & Tashi, T. (2014). Glacier Mass Balance measurements in Bhutan. 16(c), 16069.
- Kronenberg M, Barandun M, Hoelzle M, Huss M, Farinotti D, Azisov E, et al. Mass-balance reconstruction for Glacier No. 354, Tien Shan, from 2003 to 2014. *Annals of Glaciology*. Cambridge University Press; 2016;57(71):92-102.
- Marlene Kronenberg, University of Fribourg. From point measurements to glacier wide mass balance 2016 «[https://wgms.ch/downloads/CATCOS16\\_06\\_Kronenberg\\_point-to-glacierwide-mass-balance.pdf](https://wgms.ch/downloads/CATCOS16_06_Kronenberg_point-to-glacierwide-mass-balance.pdf)»
- Mirzokhonova S.O., Dushanbe 2019. Thesis for the degree of candidate of technical sciences. Impact of climate change on the hydrological regime of the Pyanj river basin [Vlijanie izmenenija klimata na gidrologicheskiy rezhim bassejna reki Pjandzh.]. Accessed October 5 2022 [https://www.imoge.tj/kitobho/Monografiya\\_Mirzokhonova-S.O..pdf](https://www.imoge.tj/kitobho/Monografiya_Mirzokhonova-S.O..pdf). [in Russian]
- O.V. Rototaeva, E.A. Dolgova, V.V. Matskovsky, O.N. Solomina, G.A. Nosenko, I.F. Khmelevskaya. Reconstruction of the mass balance of the Garabashi glacier (1800-2005) based on dendrochronological data. [Rekonstrukcija balansa massy lednika Garabashi (1800-2005 gg.) po dendrohronologicheskim dannym] © 2013 *Institute of Geography RAS*, Moscow. UDC 551.324.902.674. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-1-34-42> [in Russian]
- Oerlemans J. Atmospheric science: Extracting a climate signal from 169 glacier records // *Science*. 2005. V. 308. № 5722. P. 675-677.
- Panov V.D. Evolution of glaciation of the modern Caucasus: [Jevoljucija sovremennogo oledeneniya Kavkaza:] Dis. in the form of a scientific report for the competition. uch. step. Dr. Geogr. Sciences. Rostov-on-Don, Rostov state. un-t, 2001. 58 p. [in Russian]
- Popovnin, V. V., & Pylayeva, T. V. (2015). Avalanche feeding of the Djankuat Glacier. *Ice and Snow*, 130(2), 21. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2015-2-21-32>
- Radić V., Hock R. Regionally differentiated contribution of mountain glaciers and ice caps to future sealevelrise // *Nature Geoscience*. 2011. V. 4. P. 91-94. doi:10.1038/ngeo1052.
- Ruslan Kenzhebaev, Martina Barandun, Marlene Kronenberg, Yaning Chen, Ryskul Usubaliev, Martin Hoelzle. Mass balance observations and reconstruction for Batysh Sook Glacier, Tien Shan, from 2004 to 2016. *Cold Regions Science and Technology*, Volume 135, 2017, Pages 76-89,
- USSR Climate Handbook [Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR] Issue 31, 1988. [in Russian]