

Эрменбаев Б., Маматканов Д., Сатылканов Р., Поповнин В.В.

ИЧКИ ТЯНЬ-ШАНДАГЫ МӨҢГҮЛӨРДҮН МАССАЛАРЫНЫН БАЛАНСЫН ЭСЕПТӨӨ ЫКМАЛАРЫН ӨЗГӨРТҮҮ

Эрменбаев Б., Маматканов Д. Сатылканов Р., Поповнин В.В.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОДХОДОВ К РАСЧЕТУ БАЛАНСА МАСС ЛЕДНИКОВ ВНУТРЕННЕГО ТЯНЬ-ШАНЯ

B. Ermenbaev, D. Mamatkanov, R. Satylkanov, V.V. Popovnin

CHANGE IN APPROACHES OF THE MASS-BALANCE CALCULATIONS OF THE GLACIERS OF THE INNER TIEN-SHAN

УДК:551.324.433

Макалада Тянь-Шань Бийик тоолу илимий борборундагы 2013-2018-жж. Чоң-Кызыл-Суу дарыясынын бассейниндеги (Ысык-Көлдүн бассейни) Кара-Баткак мөңгүсүнө гляциометеорологиялык байкоолордун жыйынтыктары көрсөтүлгөн. Масса-балансты эсептөөнүн методикасына орчундуу көңүл бурулган. Массалык-баланстык курамдын маалыматтарын алуунун ыкмалары толук баяндалган. Кара-Баткак, Сары-Төр жана Борду мөңгүлөрүнүн уңгуларынын массасынын баланстары алардын абалынын эң маанилүү жагы катары стратиграфия системасы боюнча көрсөтүлгөн. 62-жыл аралыгында, бир Суу · Кара-Баткак (-1572 мм суу. экв.) Жана 1956-57 зор массасынын терс балансынын баштап 1983-84 баланстык жылы жыгылды. Абдан терс балансты мониторинг калыбына 2016/17 жазылган кийин, биринчи кезекте, 2017-жылы Лысый маалында көпчүлүк колдогон узактыгына байланыштуу турган (106 күн) жана жайында жогорку оң абанын температурасын менен. Мөңгү Кара-Баткак 3750 м бюджеттин жогору орду фирн сызыгында катуу терс балансты.

Негизги сөздөр: Кара-Баткак, мөңгү, кышкы баланс, жайкы баланс, климаттын өзгөрүшү, бузулушу, көлөмүн өлчөө, аймак.

В статье приведены результаты гляциометеорологических наблюдений, проводимых ТШВНЦ в период 2013-2018 гг. на леднике Кара-Баткак в бассейне р. Чоң-Кызыл-Суу (бассейн озера Иссык-Куль). Значительное внимание уделено методике масс-балансовых вычислений. Подробно описаны методы получения данных масс-балансовых составляющих. Приведены результаты баланса массы опорных ледников Кара-Баткак, Сары-Төр и Борду по стратиграфической системе, как важнейшие показатели их состояния. За 62-летний период, начиная с 1956/57 г. наибольшее отрицательное значение баланса массы ледника Кара-Баткак (-1572 мм вод. экв.) пришлось на 1983/84 балансовый год. После восстановления мониторинга самый отрицательный баланс был зарегистрирован в 2016/17 г., что в основном связано с наибольшей продолжительностью абляционного сезона 2017 г. (106 дней) и с высокими положительными температурами воздуха в летний период. На леднике Кара-Баткак при положении фирновой линии выше 3750 м бюджет твердого вещества отрицательный.

Ключевые слова: Кара-Баткак, ледник, зимний баланс, летний баланс, изменение климата, деградация, измерения объема, площадь.

The article presents the results of glaciometeorological observations conducted by the TSHMSC in the period of 2013-2018 at the KaraBatкак glacier in the basin of the ChonKyzylSuuRiver (the basin of the Issyk-Kul lake). Considerable attention is given to the method of mass-balance calculations. Described in detail the methods of obtaining data of mass balance components. The results of the mass balance of the KaraBatкак, SaryTor and Bordu glaciers on the stratigraphic system, as the most important indicator of their condition, are presented. For the 62-year period starting from 1956/57, the largest negative mass balance of the Kara-Batкак glacier (-1572 mm water equivalent) was in the 1983/84 balance year. After the restoration of monitoring, the most negative balance was registered in 2016/17, which is mainly associated with the longest duration of the ablative season of 2017 (106 days) and with high positive air temperatures in summer. On the Kara-Batкак glacier, with a firn line position above 3,750 m, the budget of solid matter is negative.

Key words: Kara-Batкак, glacier, winter balance, summer balance, climate change, degradation, volume measurement, area.

Введение. Методика масс-балансовых вычислений ледника Кара-Баткак в 1950-1990-х гг. отличалась от современной, поскольку аккумуляция тогда подсчитывалась только для фирновой области. Абляция рассчитывалась для высоты до 3900 м поверхности ледника, а аккумуляция вычислялась косвенным путём, исходя из замыкания водного баланса [1].

Суммарное поступление осадков в фирновую область рассчитывалось по осадкам, выпавшим на языке ледника. При этом вводились поправки на изменение количества осадков с высотой. При определении баланса массы ледника за основу расхода принимались данные по стоку со всей поверхности ледника. Принципиальная расчётная схема тяготела к подходу «чистая аккумуляция – чистая абляция» стратиграфической STR отчётной системы [1].

После возобновления нами масс-балансового мониторинга в 2013/14 г. на леднике Кара-Баткак

предпочтение было отдано подходу «зимний баланс – летний баланс» той же стратиграфической системы STR. Котляков В.М. и др. [1] показали, что указания только системы (главным образом, стратиграфической STR или фиксированных дат FXD) явно недостаточно для анализа данных. В каждой из этих двух систем баланс массы можно рассчитать разными подходами: 1) через зимний и летний балансы - (b_w , b_s) при STR, (b_x , b_y) при FXD; 2) через общую аккумуляцию и общую абляцию - (c_i , a_i) при STR, (c_a , a_a) при FXD; 3) через чистую аккумуляцию и чистую абляцию - (b_{nf} , b_{ni}) при STR, (b_{af} , b_{ai}) при FXD. Необходимость ссылки на использованный подход (не только на систему) вызвано тем, что как составляющие баланса, так и сам баланс массы, вычисленные разными подходами, не годятся для сравнения и совместного анализа без вынужденного пересчета, требующего к тому же дополнительной информации [2].

И если ранее расчет через зимний баланс - летний баланс однозначно, но неоправданно относился к STR системе, а через "чистую" аккумуляцию - "чистую" абляцию - к системе FXD, то теперь отказ от такой жесткой приуроченности разных подходов к той или иной системе видится абсолютно верным [2].

Принятая система охватывает 3 варианта - STR, FXD и неопределенно-многозначительное ОТН ("иная система"), - а 4: наряду с STR, FXD и ОТН выделяется комбинированная система СОМ. Основы СОМ заложены в работе Л.Мэйо, М.Майера и У.Тенгборна [3].

СОМ отличается от других систем максимально детальным измерением прихода и расхода вещества в переходные периоды (весной и осенью).

В канадско-норвежском масс-балансовом руководстве [4] представлена еще одна система плавающих дат (floating date system) FLD, которая также более приближена к реалиям полевых работ. В.Г.Ходаков [5] оценил точность масс-балансовых измерений которые дают значения до $\pm 200-300$ мм.

Объекты и методы исследований. Используемая нами стратиграфическая STR система расчета описана ниже. В 1956-1998 гг. на леднике Кара-Баткак поверхностная абляция измерялась реечным методом через чистую аккумуляцию и чистую абляцию - (b_{nf} , b_{ni}) при STR. Количество реек в отдельные годы на языке варьировало от 58 (в 1958г.) до 15 (в 1964 г). В 1961-63 гг. абляция измерялась и в фирновой зоне до высоты 3900 м. Аккумуляция в 1956-1997 гг. вычислялась косвенным путём, исходя из замыкания водного баланса [6].

В 2013 г. на леднике Кара-Баткак, как наиболее изученном и репрезентативном для Тескей Ала-Тоо, были возобновлены три метода наблюдения:

- *гляциологические* (максимальные снегозапасы, абляция по всему леднику и линейное смещение фронтальной отметки ледника);
- *метеорологические* (температура, влажность воздуха и осадки);
- *гидрологические* (измерение уровней и расходов воды в период абляции у истока р. Кашка-Тор).

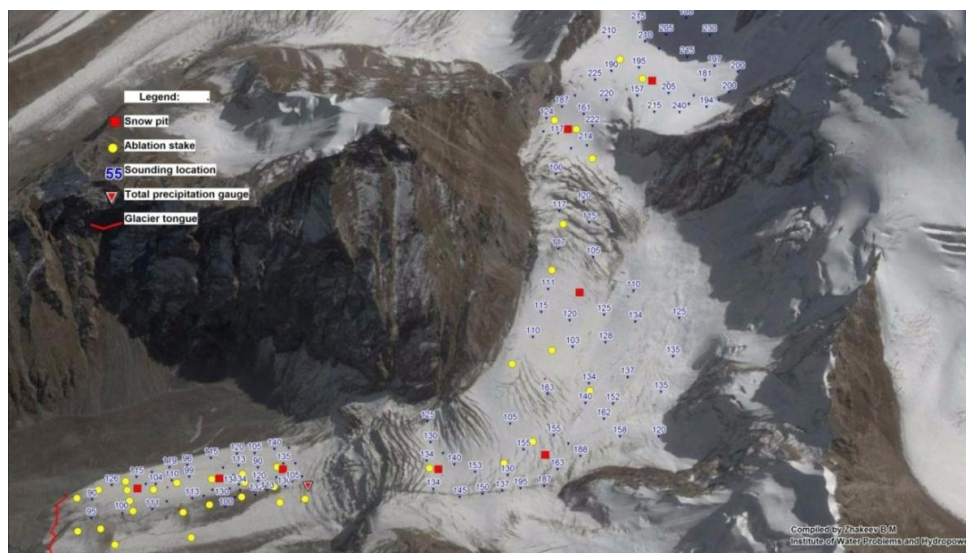


Рис. 1. Сеть пунктов измерений компонентов баланса массы на леднике Кара-Баткак.

На рис. 1 показана сеть пунктов измерений компонентов баланса массы на леднике Кара-Баткак. Для расчёта баланса массы в конце весны и в начале осени предпринимались площадные снегомерные съёмки, охватывающие всю доступную площадь лед-

ника и осуществляемые путём зондирования толщи сезонного снега металлическими шупами.

В разные годы число точек зондирования варьировало от 18 до 75 в области питания и от 24 до 183 на языке. Снегомерные работы также направлены на

оценку объемного веса, плотности и запасов воды снега в наиболее характерных точках поверхности, где проводится шурфование толщи.

На леднике Кара-Баткак находится 8 точек (снегопунктов), которые расположены на разных высотных градиентах ледника (3300–4100 м).

Как правило, зима заканчивается в период с 25 мая по 10 июня, но отклонения от этих сроков могут быть весьма существенны, и зависят от метеорологических условий данного года. В практике исследований редко удается провести снего съемку на день максимума зимнего снегозапаса, именуемого еще зимним балансом. Чаще всего снего съемка проводится раньше или позже этого дня.

Зимний баланс–аккумуляция. Для получения максимума зимнего снегозапаса ледника Кара-Баткак прибегаем к радикальным мерам –с конца апреля по май месяц начинаем еженедельную снегомерную работу выкапыванием шурфа на первых 3-х точках поверхности языка ледника (3300–3500 м), в результате для расчета баланса массы используем цифру максимального показателя снегозапаса.

Летний баланс (Абляция). После перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C начинается процесс абляции снега и далее - льда. Размеры абляции льда определяются измерениями высоты абляционных реек над льдом, которые суммируются за весь сезон таяния с учетом повторного забуривания реек. Точность измерения по рейкам ± 5 см. Приходится не редко перед измерением насыпать в лунку дробленый по соседству лед и строго уравнивать поверхность льда около рейки. В этом случае точность отсчета повышается, так как измерительная рейка не попадает в лунку, образующуюся от таяния льда вокруг забуренной в лед рейки. Полученные данные о фактической величине стаявшего слоя льда пересчитываем в водный эквивалент по коэффициенту объемного веса - 0,9. Абляционные рейки на леднике Кара-Баткак забуривались на глубину от 4 до 6 м в зависимости от высоты их расположения и скорости таяния льда.

Схема расположения реек ледника Кара-Баткак приведена на рис. 1, где количество реек в отдельные годы на языке ледника Кара-Баткак было разным, и с 2007 по 2016 гг. оно было увеличено с 12 до 21 в высотном диапазоне 3300–3500 м. Кроме того, в 2015 г. в верхней части ледника, включая зону его аккумуляции, на высотах от 3600 до 4100 м было забурено еще 13 абляционных реек.

Суммарные за сезон по каждой рейке величины абляции систематизировались по высотным 100-метровым зонам, после чего из массива зональных значений абляции выводилось итоговое значение абляции для всего ледника по принципу средне-взвешенного, где в качестве весов выступали площа-

ди ортогональной проекции каждой высотной зоны. При этом в высотных зонах из абляции следует исключить внутреннее питание, пополняющее годовую аккумуляцию. Положение фронтальной отметки ледника ежегодно в конце балансового года фиксировалось посредством детальной GPS-метрии по маршруту вдоль линии фронта для определения изменения нижней зоны ледника.

Изменения нижней границы в ежегодном измерении с 2014 г. с помощью GPS-метрии незначительны, но если смотреть за последние 40 лет, то существенно изменилось положение фронтальной линии ледника Кара-Баткак. Отступление фронтальной линии ледника в период с 1977 по 2018 год составило в среднем 375 метров, что соответствует средней скорости отступления от 5 до 8 метров в год (рис. 2).

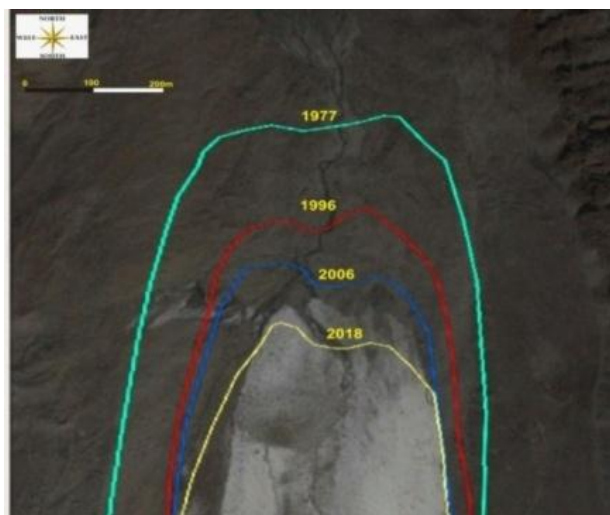


Рис. 2. Отступление фронта языка ледника - Кара-Баткак в период 1977–2018 гг.

Внутреннее питание. Помимо измерений аккумуляции и абляции в области питания ледников необходимо оценить, сколько талых вод проникает в снежно-фирновую толщу, накопленную в предыдущие годы, помимо тех, которые поступают в речной сток. Методы прямых определений внутреннего питания достаточно сложны, трудоемки и обычно применяются в верхних зонах ледников. Необходимо закладывать шурфы вплоть до ледяного дна, бурить скважину для измерения температур в снежно-фирновой толще, следить за глубиной проникновения талых вод внутри нее, исследовать пористость слоев аккумуляции, оценить массу талых вод, их участие во внутреннем питании и в стоке по всей площади питания [7].

При расчете баланса массы опорных ледников Внутреннего Тянь-Шаня значения внутреннего питания взяты из опыта ледника Джанкуат [8].

Для мониторинга температуры и влажности воздуха на леднике Кара-Баткак ещё в 1956 г. на высоте 3415 м была установлена психрометрическая будка с недельными термографами и гигрографами, с помощью которых велись и проводятся в настоящее время наблюдения в течение всего периода абляции (рис.2). На высоте 3300 м в сентябре 2016 г. была установлена автоматическая метеостанция WUSH-2010 (Jiangsu Radio Scientific Institute Co., Ltd) на месте ранее существовавшей (1961-1983 гг.) метеостанции Кара-Баткак (рис. 2а).

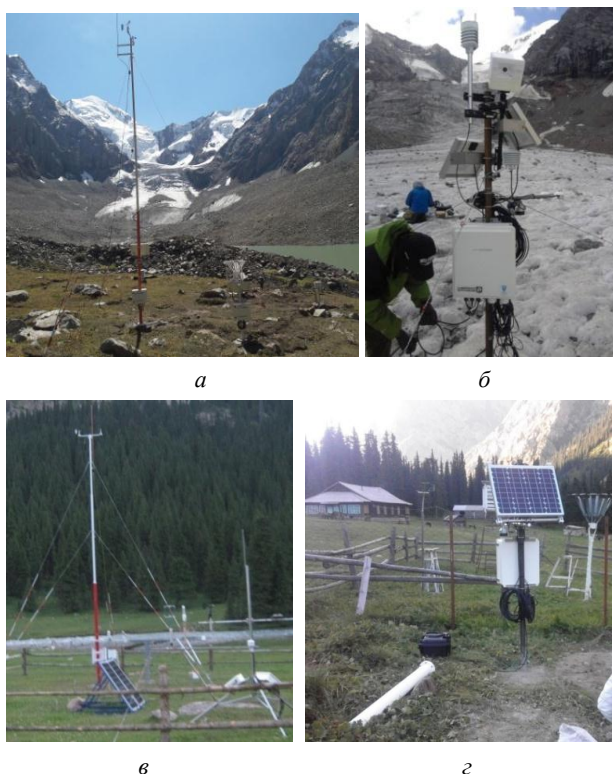


Рис. 2. Инструментальные исследования, ледника Кара-Баткак.

Ледник Кара-Баткак на высоте 3500 м в 2014 г. был снабжен суммарным осадкомером, а в июле 2017 г. на высоте 3400 м – автоматическая метеостанция (АМС) CampbellScientific (рис. 2 б), установлен ультразвуковой регистратор для регистрации понижения тающей поверхности SonicRangerи видеокамера, функционирующая в онлайн-режиме (рис. 2 б). На гидрометеостанции Чон-Кызыл-Суу 2555 м с 2012 г. действует АМС Vaisala и Li-cog, а с 2017 г. (рис. 2 в) - АМС Campbell Scientific (рис. 2 г), снабжена ультразвуковым регистратором понижения тающей поверхности SonicRanger, видеокамерой, функционирующей в on-line режиме и Snow Water Equivalent (SWE) sensor CPU – регистратором водного эквивалента снега. Суммарные осадкомеры ис-

пользуются для измерения общего количества сезонных осадков в отдаленных, малодоступных районах.

Для измерения суточных осадков применялся осадкомер Третьякова, а сезонных – 3 суммарных осадкомера, установленные в бассейне р.Чон-Кызыл-Суу. Верхний размещался на леднике Кара-Баткак на высоте 3500 м, средний - под ледником на морене 3300 м и нижний - на гидрометеостанции Чон-Кызыл-Суу на высоте 2555 м. Снятие осадков с суммарных осадкомеров проводилось ежемесячно в теплое время года, в холодное время года -два раза - в октябре и в мае. Систематические гидрологические наблюдения в бассейне р.Чон-Кызыл-Суу велись ТШФГС с 1954 по 1968 г. на 5 гидрометрических створах, которые оборудованы на притоках р. Чон-Кызыл-Суу и находятся в верхней зоне бассейна в интервале высот 2650-3300 м.

В бассейне имеются 2 гидрометрических створа УГМС: Лесной кордон 2000 м и Кашка-Тор, устье 2550 м. На створе Кашка-Тор-исток 3260 м наблюдения велись в период 1956 - 1969 гг., в питании которого подавляющую роль играют воды от таяния ледника Кара-Баткак, где основным фактором, определяющим величину годового стока, является температура воздуха. В 2013 г. нами восстановлены гидрологические наблюдения на гидрометрическом створе Кашка-Тор-исток и в 2015 г. Кашка-Тор-устье и установлены автоматические датчики уровня воды (логгеры). Продолжаются наблюдения за уровнем по сваям и периодически измеряется скорость воды. Поскольку р. Кашка-Тор истекает из небольшого приледникового озера, расположенного у ледника, сток его зарегулирован, т.е талая вода сначала попадает в озеро, а затем в реку.

Для генетического вертикального расчленения гидрографа стока на источники формирования жидкой фазы была заимствована расчётная методика Голубева Г.Н. [9].

Методическая поддержка и научная консультация по гляциологии, гидрологии, геофизики и моделированию динамики ледников была оказана ведущими российскими (МГУ и РАН) и бельгийскими (Свободный университет Брюсселя) учеными.

Результаты. Возобновлённая с 2013/14 балансового года серия наблюдений (табл.1) включала в качестве информационных продуктов для передачи в глобальную базу данных Всемирной службы мониторинга ледников в Цюрихе (<http://wgms.ch/latest-glacier-mass-balance-data>), не только итоговую величину вещественного баланса b_n , но и его сезонные составляющие (аккумуляцию b_w и абляцию b_s).

Показано распределение этих значений по высотным 100-метровым зонам, а также важные показатели, характеризующие состояние ледника в каждом конкретном году: высота границы питания ELA (*equili-*

brium line altitude) и доля области питания AAR (*accumulation area ratio*).

В результате проведенных измерений было установлено, что ежегодно баланс принимал отрицательные значения. Наиболее отрицательным (-1120 мм вод.эquiv.) за все 5 лет после возобновления работ он был в 2016/17 балансовом году, что связано с аномально теплым и продолжительным летним периодом 2017 г.; максимум баланса по модулю был предопределён соответствующим экстремумом расходного компонента b_s (-1680 мм). Наоборот, в 2015/16 балансовом году при относительно близкой к среднемугодовой температуре воздуха (4,5 °C), аномально большом количестве осадков (1348 мм водн.эquiv.) и продолжительном периоде абляции (105 дней) баланс массы ледника Кара-Баткак принял значение -390 мм водн.эquiv., что явилось противоположной балансовой крайностью (годом с наименьшим по модулю вещественным балансом), т.е. относительно самым благоприятным для состояния ледника за минувшие 5 лет. В среднем за последнюю пятилетку баланс принял значение $b_n = -830$ мм водн.эquiv. при составляющих $b_w = 480$ мм и $b_s = -1310$ мм. Отрицательное показание баланс массы ледника сопровождается увеличением абляции ледника. На леднике Кара-Баткак резкое увеличение абляции пришлось на начало 70-х годов прошлого века [10].

На рис. 3 видно, что самый отрицательный баланс в 2016/17 балансовом году обусловлен малым количеством осадков и теплым летним периодом, увеличением осадков и снижением температуры в 2015/2016 г. привело к противоположному экстремуму. В годы сильно отрицательного баланса (2014/15 и 2016/17 гг.) на языке ледника выпало соответственно 709 и 758 мм осадков, а среднемесячная температура воздуха в абляционный период (июнь-сентябрь) достигла значений 5,5 и 5,4 °C [11, 12].

Полный же ряд измеренных годовых значений баланса массы Кара-Баткака, состоящий из 46 лет наблюдений (41 год до перерыва и 5 лет после), графически отображён на рис. 3.

Во всей этой серии измерений положительный бюджет ледника отмечен только в 5 сезонах: 1957/58, 1963/64, 1966/67, 1970/71 и 1971/72 гг. За 60-летний

период баланс отрицателен, расход превышает почти на 86 млн.м³, что в слое стока со всей поверхности ледника составляет 28870 мм.

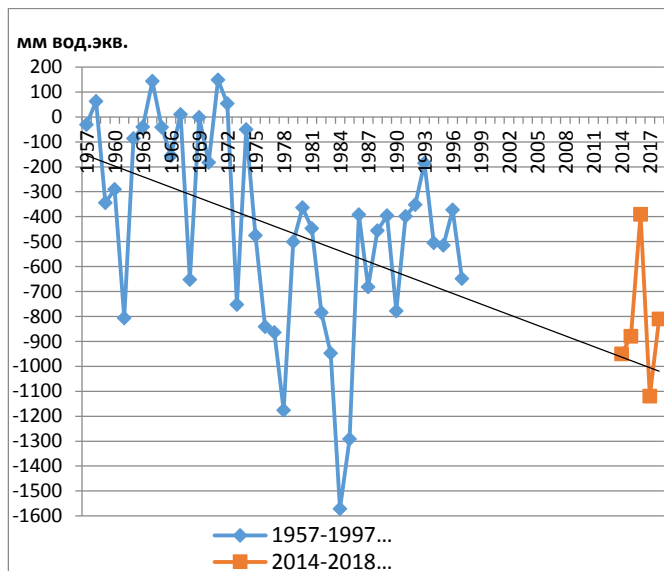


Рис. 3. Баланс массы ледника Кара-Баткак в периоды 1956/57-1996/97 [6] и 2013/14-2017/18 гг.

Полученные результаты расходятся с данными по балансу. Причины разницы связаны с недоучетом довольно значительного количества талых вод, прошедших через створ после окончания абляционного периода. Отрицательные значения b_n в последние годы были свойственны не только Кара-Баткаку, но и другим опорным ледникам Кыргызского Тянь-Шаня, лежащим во внутренних районах Тянь-Шаня – Сары-Тору и Борду (табл.1, 2).

Отрицательный баланс можно интерпретировать как добавку к речному стоку за счёт деградации оледенения. Однако при этом происходит и сокращение площади оледенения (табл. 1 и 2). Рост удельной величины "ледниковой добавки" приведёт к уменьшению объема ледникового стока. Это продемонстрировано на примере кавказского ледника Джанкуат [8].

Таблица 1.

Компоненты баланса массы опорных ледников Внутреннего Тянь-Шаня

Балансовые годы	Аккумуляция, мм.			Абляция, мм вод.эquiv.			Баланс массы, мм.			ELA, м			AAR, %		
	Кара-Баткак	Сары-Тор	Борду	Кара-Баткак	Сары-Тор	Борду	Кара-Баткак	Сары-Тор	Борду	Кара-Баткак	Сары-Тор	Борду	Кара-Баткак	Сары-Тор	Борду
2013/14	340			-1290			-950								
2014/15	500	420		-1380	-1240		-880	-820		4070	>4800		33,6	0,0	
2015/16	550	420	490	-940	-1210	-940	-390	-790	-450	4000	>4800	4400	41,2	0,0	16,6
2016/17	560	180	240	-1680	-1660	-1580	-1120	-1480	-1340	4030	>4760	4690	38,1	0,0	0,0
2017/18	460	330	320	-1270	-870	-1190	-810	-540	-870		4380	4450		31,5	11,7

Таблица 2.

Соотношение площадей аккумуляции и абляции

Год	Фирновая линия, м	Площадь аккумуляции, км ²	Площадь абляции, км ²	Ледниковый коэффициент
1956/57	3610	3,38	1,20	2,80
1957/58	3670	3,27	1,31	2,48
1958/59	3820	2,82	1,76	1,59
1959/60	3800	2,93	1,65	1,76
1960/61	3840	2,71	1,87	1,44
1961/62	3820	2,82	1,76	1,59
1962/63	3750	3,11	1,47	2,10
1963/64	3600	3,38	1,20	2,80
1964/65	3750	3,11	1,47	2,10
1965/66	3800	2,93	1,65	1,76
1966/67	3820	2,82	1,76	1,59
1967/68	3860	2,62	1,96	1,33
2014/15	4070	0,93	1,81	0,51
2015/16	4000	1,04	1,72	0,60
2016/17	4030	0,94	1,53	0,61

Результат расчета баланса массы ледника Сары-Тор за 2014/2015 балансовый год по системе фиксированных дат FXD, выполненной ОсОО "Росгеоизыскания", составил 400 мм вод.экв. Балансы, рассчитанные в разных системах, абсолютно не сопоставимы - это разные величины. Стратиграфическая система STR предполагает получение необходимых данных путем измерения полустационарных исследований, когда ежегодно смена "балансовых" лет происходит в один и тот же день - 1 октября, в отличие от системы фиксированных дат FXD. Надёжным индикатором годового баланса массы ледника служит положение фирновой линии (или ещё лучше - границы питания ELA): чем оно гипсометрически ниже, тем более благоприятны для ледника были климатические условия - значит, возростала снежность и уменьшалось таяние, создавая в свою очередь предпосылки к положительному бюджету. Наглядно иллюстрирует эту закономерность такой показатель, как ледниковый коэффициент, т.е. соотношение между площадями аккумуляции и абляции (табл.2). Он эквивалентен параметру AAR, принятому в WGMS и во всей зарубежной гляциологии и отражён в табл. 2 данными авторов за последние годы наблюдений. Полученные данные подтвердили, что ледник Кара-Баткак при фирновой линии выше 3750 м имеет бюджет твердого вещества отрицательный.

Выводы

1. За период 1956 / 57 - 2017 / 18 гг. баланс массы ледника Кара-Баткак отрицательный, в среднем - 466 мм вод.экв.

2. Наибольшее отрицательное значение баланса массы (-1572 мм вод.экв.) пришлось на 1983/84 балансовый год. После восстановления мониторинга самый отрицательный баланс был зарегистрирован в 2016/17 г., что в основном связано с наибольшей продолжительностью абляционного сезона 2017 г. (106 дней) и с высокими температурами воздуха в летний период.

3. С 1973 г. отмечается резкое ускорение темпов убыли массы ледника Кара-Баткак.

4. В период 1957-1997 гг. ход изменения массы был в среднем умеренно отрицательным (-438 мм водн.экв.), а в период 2014-2017 гг. - сильно отрицательным (-835 мм водн.экв.); фронт ледника отступил на 450 м, площадь уменьшилась на 0,7 км².

Литература:

1. Котляков В.М., Поповнин В.В., Цветков Д.Г. Некоторые предложения по оптимизации представления масс-балансовых данных в изданиях Всемирной службы мониторинга ледников. - МГИ, вып. 73, 1992, С. 161-167.
2. Котляков В.М., Осипова Г.Б., Поповнин В.В., Цветков Д.Г. Последние публикации Всемирной службы мониторинга ледников: традиции и прогресс. Матер-ы гляциологических исследований, вып. №82, 1997, С. 125-139.
3. Mayo L.R., Meier M.F., Tangborn W.V. A system to combine stratigraphic and annual mass-balance systems: a contribution to the International Hydrological Decade. - Journ. of Glaciology, v. 11, № 61, 1972. P. 1-14.
4. Ostrem G., Brugman M. Glacier mass-balance measurements. NHRI Sci. Rep. № 4. Saskatoon, 1991, 224 p.
5. Ходаков В.Г. Водно-ледовый баланс районов современного и древнего оледенения СССР. М., Наука, 1978, 194 с.
6. Диких А.Н., Михайлова В.Н. Режим ледников и водный баланс сев. склона хр. Терской Ала-Тоо. М.: Наука, 1976. -131 с.
7. Макаревич К.Г. «Методические аспекты исследований баланса массы и колебание горных ледников» Алма-Ата 2007. - 102 с.
8. Дюргеров М.Б., Поповнин В.В. Реконструкция балансы массы, пространственного положения и жидкого стока ледника Джанкуат со второй половины XIX в. МГИ, вып. 40, 1981, С. 73-82.
9. Голубева Г.Н. Гидрология ледников. Л., Гидрометеоиздат, 1976, 247 с.
10. Эрменбаев Б.О. «Влияние загрязнённости льда на величину абляции ледника Кара-Баткак» Известия Ошского технологического университета 1/2018. С 141-148.
11. Сатылканов Р.А. Современная динамика основных параметров климата Иссык-Кульской котлов. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана №9, 2016. С. 23-34
12. Сатылканов Р.А. Временная изменчивость атмосферных осадков Иссык-Кульской котловины. Вестник Забайкальского государственного университета. 2017. Т.23. № 10, Чита. С. 29-37.

Рецензент: д.г.-м.н., профессор Усупаев Ш.Э.