

Эрменбаев Б.

**КАРА-БАТКАК МӨҢГҮСҮНҮН МАССАЛЫК БАЛАНСЫНЫН
УЧУРДАГЫ ТЕНДЕНЦИЯСЫ**

Эрменбаев Б.

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ БАЛАНСА МАССЫ
ЛЕДНИКА КАРА-БАТКАК**

B. Ermenbaev

**MODERN TENDENCY OF MASS BALANCE
OF THE KARA-BATKAK GLACIER**

УДК: 551.324.433

Бул макалада Кара-Баткак мөңгүсүнүн масс балансынын тенденциясы жана башка аймактагы тоо мөңгүлөрүнүн аныкталган тенденциялары менен салыштыруусу каралган. Акыркы 5 жыл ичиндеги (2014-2018-жж.) Кара-Баткак (Чоң-Кызыл-Суу дарыясынын бассейнини) жана, Ак-Шийрак массивиндеги Сары-Тор, Борду (Ички Тянь-Шань) мөңгүлөрүнүн масс балансты эсептөө жыйынтыктары көрсөтүлгөн. жыйынтыгында мөңгүлөрдүн терс абалы, ошондой эле аба температурасы жана дарыя агымдары менен тыгыз байланышта экенин көрсөтүлгөн. Мөңгүлөрдүн масс балансы эсептөө үчүн тандалып алынган мөңгүлөрдүн репрезентативдүүлүгү көрсөтүлгөн. Массабалансты эсептөөнүн методикасына орчундуу көңүл бурулган. Массалык-баланстык курамдын маалыматтарын алуунун ыкмалары толук баяндалган. Кара-Баткак, Сары-Төр жана Борду мөңгүлөрүнүн стратиграфия системасы боюнча масс баланстарынын жыйынтыктары жана алардын абалынын маанилүү экендиги көрсөтүлгөн. Мөңгүнүн фирн линиясы (мөңгүнүн топтолушунун чеги ELA) менен баланс-массанын жыйынтыгынын түздөн-түз байланышы бар экендиги аныкталган. Акыркы 5 жыл ичиндеги абляция, аккумуляция, жана мөңгүнүн масс балансты эсептөө жыйынтык маалыматтары суу проблема институтунун алдындагы Тянь-Шань илимий борборунун гляциология лабораториясы тарабынан түздөн-түз автордун катышуусу менен алынган. Климаттык маалыматтар учун, абанын температурасы жана жаан-чачын маалыматтары Кара-Баткак мөңгүсүнүн жакыныраак жайгашкан «Чон-Кызыл-Суу» жана «Кара-Баткак метеостанцияларынын маалыматтары колдонулган.

Негизги сөздөр: масс-баланс, кара-баткак, мөңгү, кышкы баланс, жайкы баланс, климаттын өзгөрүшү, абляция, аккумуляция, тенденция, температура.

В данной статье рассматриваются современные тенденции баланса массы ледника Кара-Баткак и сравнение выявленных тенденций с другими районами горного оледенения. Представлены результаты расчета баланса массы ледника Кара-Баткак (бассейн реки Чон-Кызыл-Суу), Сары-Тор и Борду в массиве Ак-Шийрак (Внутренний Тянь-Шань) за последнее 5 лет (2014-2018 гг.), в результате которого выявлены отрицательные тенденции баланса массы ледника и его тесные связи с температурой воздуха

и со стоком рек. Показаны репрезентативности выбора этих ледников для проведения масс-балансовых исследований. Значительное внимание уделено методике масс-балансовых вычислений. Подробно описаны методы получения данных масс-балансовых составляющих. Приведены результаты баланса массы опорных ледников Кара-Баткак, Сары-Тор и Борду по стратиграфической системе, как важнейший показатель их состояния. Выявлены коэффициент корреляции связи фирновой линии (или ещё лучше – границы питания ELA) ледника со значением баланса массы. Данные об аккумуляции, абляции, и результаты расчёты баланса массы выше перечисленных ледников, за последние 5 лет были получены сотрудниками лаборатории гляциологии Тянь-Шаньского научного центра при институте водных проблем и гидроэнергетики, непосредственно с участием автора. В качестве климатической информации использованы данные наблюдений за температурой воздуха и осадками на метеостанции «Чон-Кызыл-Суу» и «Кара-Баткак» расположенных вблизи ледника Кара-Баткак.

Ключевые слова: баланс массы, кара-баткак, ледник, зимний баланс, летний баланс, изменение климата, абляция, аккумуляция, тенденция, температура.

The article presents the current trends in the mass balance of the glacier and the comparison of the identified trends with other areas of mountain glaciation. The results of calculating the mass balance of the Kara-Batkak glacier (Chon-Kyzyl-Suu river basin), Sary-Tor and Bordu in the Ak-Shiyrak massif (Inner Tian-Shan) for the last 5 years (2014-2018) are presented. As a result, negative trends in glacier mass balance and close connections with air temperature and with river runoff were identified. The representativeness of the choice of these glaciers for carrying out mass-balance studies is shown. 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 KaraBatkak, SaryTor and Bordu glaciers on the stratigraphic system, as the most important indicator of their condition, are presented. The correlation coefficient of the relationship between the firm line (or even better, the ELA feeding boundary) of the glacier with the mass balance value has been revealed. Data on the accumulation and ablation of the above glaciers over the past 5 years have been obtained by the staff of the Glaciology Laboratory of

the Tien Shan Scientific Center at the Institute of Water Problems and Hydropower, directly with the participation of the author. As climate information used observational data for air temperature and rainfall weather station "Jong-Kyzyl Suu" and «Kara Batkak» located near the ice Kara Batkak.

Key words: mass balance, Kara-Batkak, glacier, winter balance, summer balance, ablation, accumulation climate change, tendency, temperature.

Ледник Кара-Баткак находится в верховьях бассейна реки Чон-Кызылсуу, Жетиогузского района и является репрезентативным объектом мониторинга водно-ледниковых ресурсов на Внутреннем Тянь-Шане. Ряд комплексных полевых измерений в настоящее время имеет продолжительность 61 год (1957-2018 гг.), что позволяет говорить о леднике Кара-Баткак как об одном из наиболее изученных ледников во Внутреннем Тянь-Шане и Тянь-Шане целом. Основная цель мониторинга - ежегодный расчёт баланса массы ледника. Ледник Кара-Баткак был занесен в Международный каталог ледников, данные по балансу массы которого публиковались ЮНЕСКО в серийном издании «Fluctuations of glaciers». Однако в 90-е годы прошлого столетия из-за сокращения финансирования мониторинг ледника Кара-Баткак прекратился, соответственно расчёты баланса массы не проводились, и лишь в 2006 г. частично были восстановлены наблюдения за абляцией ледника Кара-Баткак в стандартных точках и наблюдения за снегонакоплением. Возобновлены ранее прерванные наблюдения за температурой и влажностью воздуха, атмосферными осадками на леднике. Восстановлены гидрологические наблюдения (ежедневные измерения уровней и расходов воды в период сезона абляции) на гидрометрическом посту на р. Кашка-Тер - истоке ледника Кара-Баткак. В результате в 2014 году снова начался ежегодный расчёт баланса массы ледника.

Баланс массы ледника является комплексной характеристикой, наиболее точно отражающей состояние горного ледника на фоне изменения климата. Таким образом, выявление современных тенденций этой величины позволяет сделать вывод о современном состоянии ледника Кара-Баткак, а значит и всего оледенения Внутреннего Тянь-Шаня в целом. Баланс массы ледника складывается из прихода твердого вещества, куда входят осадки, метелевый перенос снега, и расход, основную часть которого составляет таяние

ледниковой поверхности и испарение. В зависимости от преобладающей величины прихода или расхода определяется знак баланса массы. Наиболее простая формула, по которой определяется баланс массы ледника в целом, имеет следующий вид [1]:

$$B_n = A_k(+) - A_b,$$

где B_n – баланс ледника; A_k – аккумуляция со знаком «+»; A_b – абляция со знаком «-».

Аккумуляция подсчитывается только для фирновой области, потому что осадки, накопленные на языке ледника в летний период, обычно стаивают. Абляция рассчитывается для всей поверхности ледника.

Методика. Зимний баланс (Аккумуляция). Для расчёта баланса массы в конце весны и в начале осени предпринимались площадные снегомерные съёмки, охватывающие всю доступную площадь ледника и осуществляемые путём зондирования толщи сезонного снега металлическими шупами. В разные годы число промерных точек зондирования варьировало от 18 до 75 в области питания и от 24 до 183 на языке. Снегомерные работы также направлены на оценку объёмного веса, плотности и запасы воды в снеге в наиболее характерных точках поверхности, где проводится шурфование толщ. На леднике Кара-Баткак находится 8 точек шурфа (снегопункт), которые расположены на разных высотных градиентах ледника (3300-4100 м) (рис. 1). Как правило, зимний период 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 снегосъёмку на день максимума зимнего снегозапаса, именуемых ещё зимним балансом. Чаще всего снегосъёмка проводится раньше или позже этого дня. В гляциологии за этот день обычно принимается дата устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C [2]. 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 ледника (языка ледника 3300-3500 м), в результате для расчёта баланса массы используем цифру максимального показателя снегозапаса.

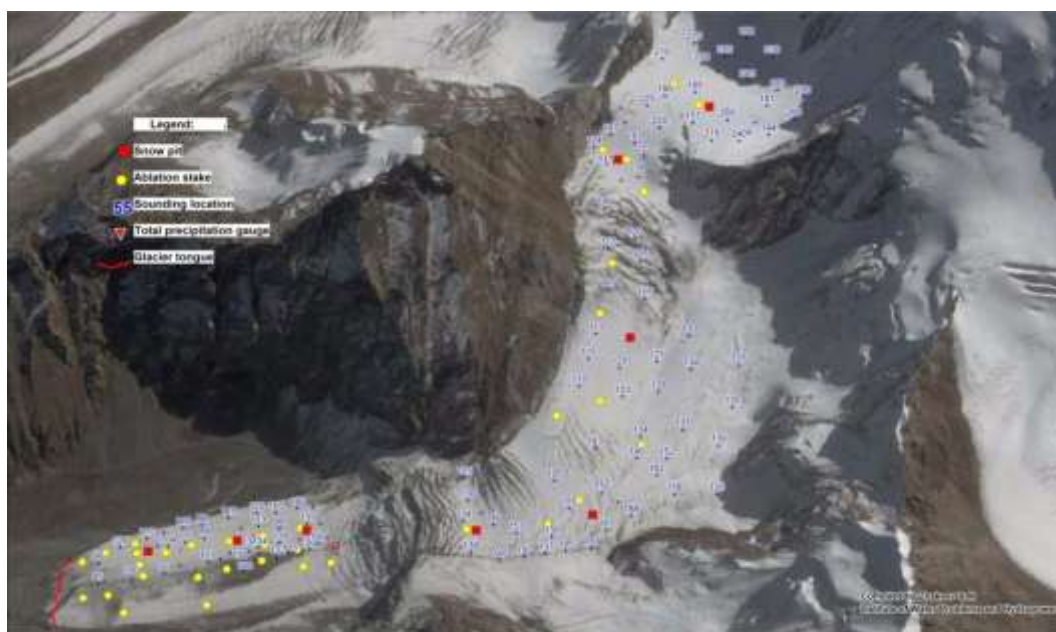


Рис. 1. Сеть пунктов измерений компонентов баланса массы на леднике Кара-Баткак.

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 ± 3 см. Приходится не редко перед измерением насыпать в лунку дробленый по соседству лед и строго уровнять поверхность льда около рейки. В этом случае точность отсчета повышается, так как измерительная рейка не попадает в лунку, образующуюся от стаивания 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 рисунке 1. 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 средневзвешенного, где в качестве весов выступали

площади ортогональной проекции каждой высотной зоны. При этом в высотных зонах из абляции следует исключить внутреннее питание, пополняющее годовую аккумуляцию.

Внутреннее питание. Помимо измерений аккумуляции и абляции в области питания ледников необходимо оценить, сколько талых вод проникает в снежнофирновую толщу, накопленную в предыдущие годы, помимо тех, которые поступают в сток рек.

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 ее, исследовать пористость слоев аккумуляции, оценить массу талых вод и их участие во внутреннем питании и в стоке по всей площади питания [3]. При расчете баланса массы ледника Кара-Баткак за последнее 5 лет значение внутреннего питания взято из опыта ледника Джанкуат [4].

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 не только итоговую величину вещественного баланса b_n , но и его сезонные составляющие (аккумуляцию b_w и абляцию b_s), распределение этих значений по высотным 100-метровым зонам, а также важные показатели, характеризующие состояние ледника в каждом конкретном году: высоту границы

питания ELA (*equilibrium line altitude*) и долю области питания AAR (*accumulation area ratio*). В результате проведенных измерений было установлено, что ежегодно баланс принимал отрицательные значения. Наиболее отрицательным (-1120 мм вод.экв.) 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 среднегодовой температуре воздуха (4,5 C), аномально большом количестве осадков (1348 мм вод.экв.)

и продолжительном периоде абляции (105 дней) баланс массы ледника Кара-Баткак принял значение -390 мм водного эквивалента (мм вод.экв.), что явилось противоположной балансовой крайностью (годом с наименьшим по модулю вещественным балансом), т.е. относительно самым благоприятным для состояния ледника за минувшие 5 лет (рис. 2). В среднем за последнюю пятилетку баланс принял значение $b_n = -830$ мм вод.экв. при составляющих $b_w = 480$ мм и $b_s = -1310$ мм. Отрицательное показание баланса массы ледника сопровождается увеличением абляции ледника.

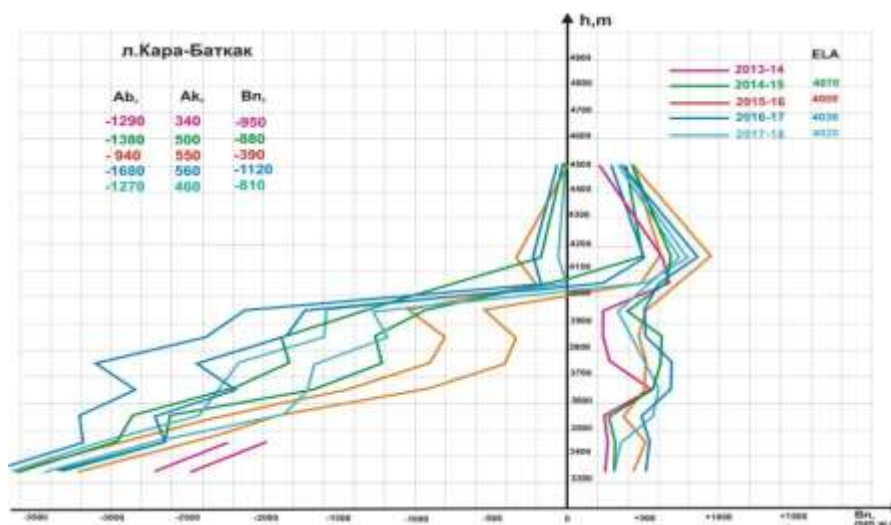


Рис. 2. График баланса массы ледника Кара-Баткак в 2014-2018 гг.

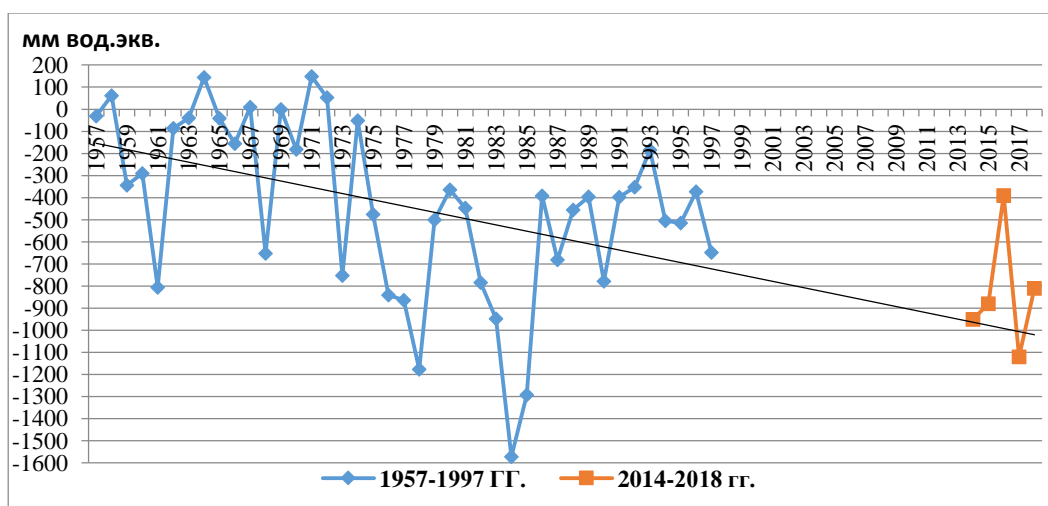


Рис. 3. Баланс массы ледника Кара-Баткак в периоды 1956/57-1996/97 [6] и 2013/14-2017/18 гг.

На леднике Кара-Баткак резкое увеличение абляции наблюдается с начала 70-х годов прошлого века [5].

На рисунке 3 видно, что самый отрицательный баланс в 2016/17 балансовом году обусловлен малым количеством осадков и теплым летним периодом, увеличение осадков и снижение температуры в 2015/16 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 5,4⁰C. Полный же ряд измеренных годовых значений баланса массы Кара-Баткака, состоящий из 46 членов (41 год до перерыва и 5 лет после), графически отображен на рисунке 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 бюджет отрицателен, расход превышает почти на 86 млн.м³, что в слое стока со всей поверхности ледника составляет 28870 мм. Полученные результаты расходятся с данными по бюджету. Причины разницы связаны с недоучетом довольно значительного количества талых вод, прошедших через створ после окончания абляционного периода. Тренд увеличения абляции на леднике Кара-Баткак связан с повышением температуры воздуха [6].

На рисунке 4 графически показан тренд повышения среднегодовой температуры воздуха на леднике Кара-Баткак по восстановленным данным 1961-2015.

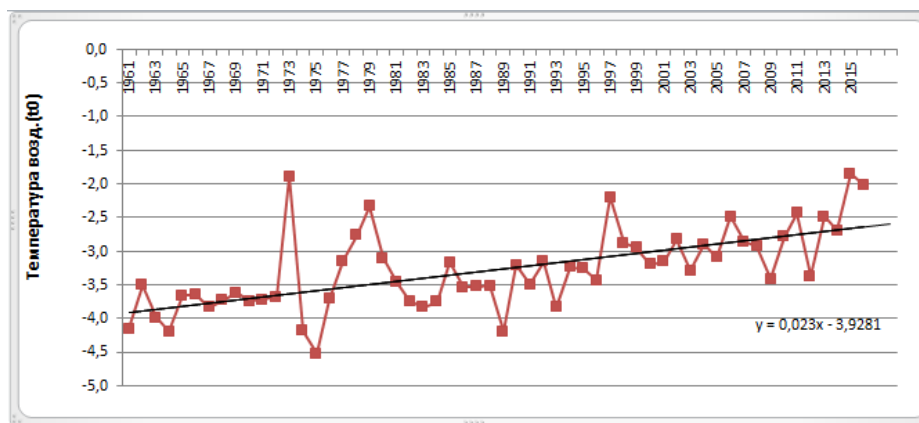


Рис. 4. Среднегодовые температуры воздуха на леднике Кара-Баткак в период с 1961 по 2015 гг.

Наблюдения на леднике Кара-Баткак показали, что там имеет место тесная взаимосвязь температур воздуха с осадками (рис. 5). Согласно приведенному

рисунку, максимальная абляция приходится на июль месяц, когда там фиксируются максимальные летние температуры.

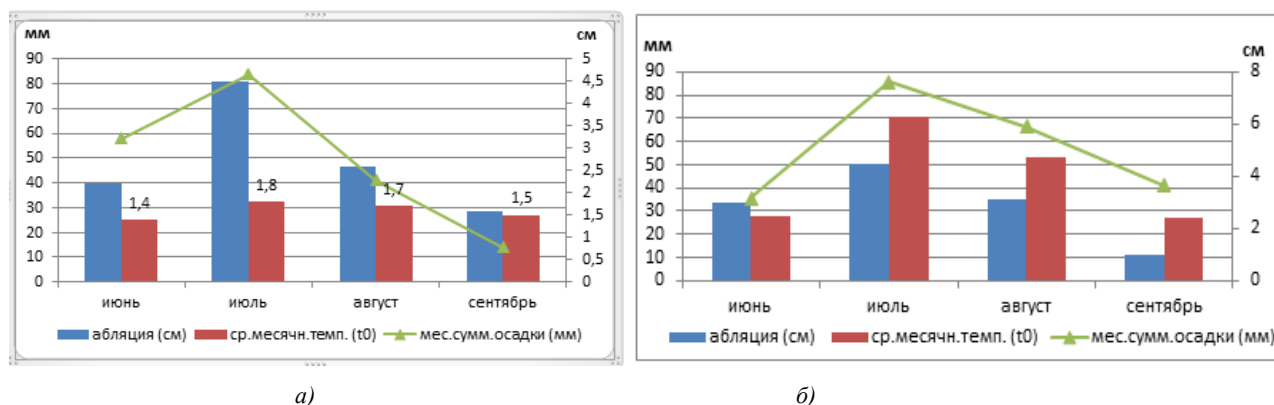


Рис. 5. Зависимость абляции льда от температуры воздуха и осадков на леднике Кара-Баткак в 2017 и 2018 г. (а - 2017; б - 2018).

Отрицательные значения b_n в последние годы были свойственны не только Кара-Баткаку, но и другим опорным ледникам киргизского Тянь-Шаня, лежащим во внутренних районах Тянь-Шаня – Сары-Тору и Борду (табл. 1 и рис. 6).

Таблица 1

Компоненты баланса массы опорных ледников Внутреннего Тянь-Шаня: Аккумуляции (b_w), абляции (b_s), баланс массы (b_n), высота границы питания ELA, доля области питания AAR в 2013/14 – 2017/18 балансовые годы

Балансовые годы	Аккумуляция, мм вод.экв.			Абляция, мм вод.экв.			Баланс массы, мм вод.экв.			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	4020	4380	4450	39,3	31,5	11,7

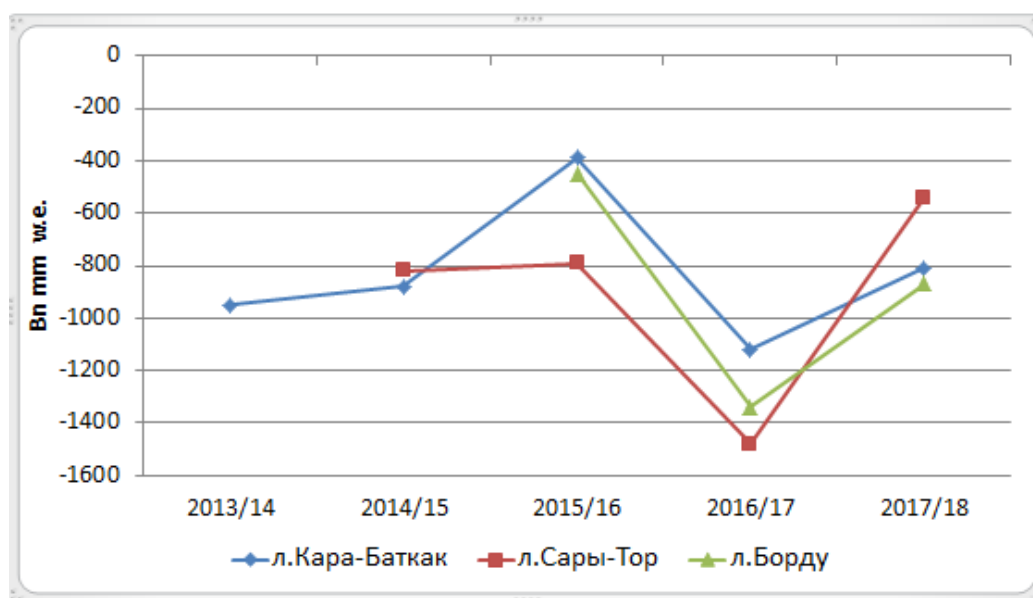


Рис. 6. Годовой баланс массы ледника Сары-Тор, Борду, Кара-Баткак в 2014-2018 гг.

Отрицательный баланс можно интерпретировать как добавку к речному стоку за счёт деградации оледенения. Однако при этом происходит и сокращение площади оледенения. Поэтому рост удельной величины «ледниковой добавки» через какое-то время приведёт к уменьшению объема ледникового стока. Это положение очевидно и продемонстрировано на примере кавказского ледника Джанкуат [4].

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, возросла 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).

Соотношение площадей аккумуляции и абляции в зависимости от положения фирновой линии ледника Кара-Баткак (1957-1967; 2015-2018 гг.с 2014/15 г. - границы питания ELA)

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

Годовой показатель баланса массы и высота фирновой линии ледника Кара-Баткак (1957-1967; 2015-2018) и Сары-Тор (1985-1989; 2015-2018) имеют тесные связи (коэф. коррел. 0,83; 0,88) (рис.7).

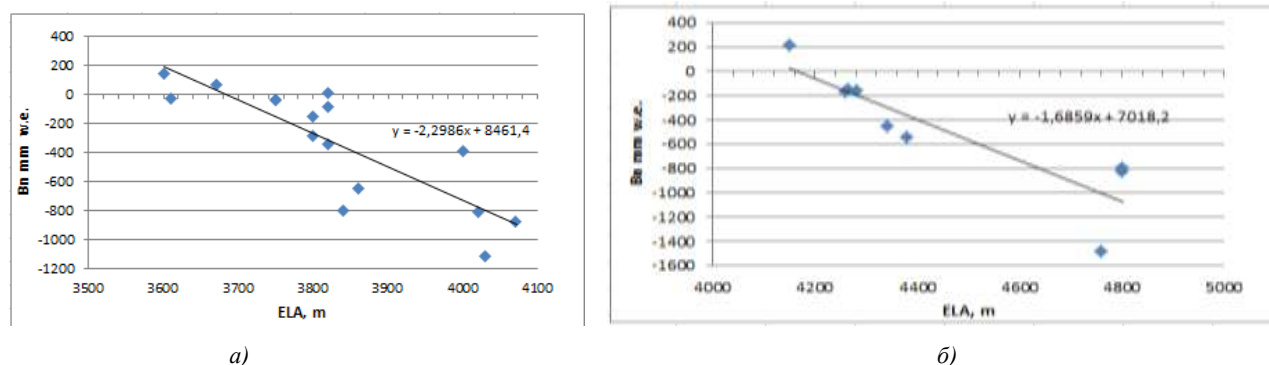


Рис. 7. Связи годового баланса и высоты фирновых линий ледника (а) Кара-Баткак, (б) Сары-Тор.

По своей функциональной роли этот показатель эквивалентен параметру AAR (доле области питания), принятому в WGMS и во всей зарубежной гляциологии; он отражён в таблице 2 за последние годы наблюдений. Полученные нами данные подтвердили ранее известную информацию, что на леднике Кара-Баткак при положении фирновой линии выше 3750 м бюджет твердого вещества обычно будет отрицательный.

Выводы. Отрицательные значения b_n в последние годы были свойственны не только Кара-Баткаку, но и другим опорным ледникам киргизского Тянь-Шаня, лежащим во внутренних районах Тянь-Шаня – Сары-Тору и Борду.

1. На леднике Кара-Баткак при положении фирновой линии выше 3750 м бюджет твердого вещества

обычно будет отрицательный.

2. За весь 62-летний период с 1956/57 г. наибольшее отрицательное значение баланса массы ледника Кара-Баткак (-1572 мм вод.эquiv.) 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.

3. С 1973 г. отмечается резкое ускорение темпов убыли массы ледника Кара-Баткак, иллюстрируемое более крутым падением кумулятивного вещественного баланса.

4. На фоне продолжающегося глобального потепления баланс массы ледника Кара-Баткак в период

полевых измерений 1957-1997 гг. был в среднем умеренно отрицательным (-438 мм вод.экв.), а в период полевых измерений 2014-2017 гг. - сильно отрицательным (-835 мм вод.экв.).

5. Морфометрические показатели ледника также претерпели существенное сокращение. Фронт отступил на 450 м за 1967-2017 гг., а площадь уменьшилась с 3,2 до 2,5 км², что составило 22% его сокращения. Основной причиной указанных изменений является потепление климата.

Литература:

1. Диких А.Н., Михайлова В.И. Режим ледников и водный баланс северного склона хребта Терской-Ала-Тау. - М.: Наука, 1976. - 131 с
2. Макеревич К.Г. Методические аспекты исследований баланса массы и колебаний горных ледников. - Алма-Ата: Тип. «Искендер», 2007. - С. 102.
3. Дюргеров М.Б., Михаиленко В.Н. Оледенения Тянь-Шаня. М.: Изд. ВИНТИ, 1995. - С. 119-125.
4. Дюргеров М.Б., Поповнин В.В. Реконструкция баланса массы, пространственного положения и жидкого стока ледника Джанкуат со второй половины XIX века. М.: МГУ, 1981. - Вып. 40. - С. 73-82.
5. Эрменбаев Б.О. Влияние загрязнённости льда на величину абляции ледника Кара-Баткак. / Известия Ошского технологического университета. - Ош, 2018. - №1. - С. 141-148.
6. Бажанова, Л.В., Сатылканов Р.А., Эрменбаев Б.О. Динамика оледенения в условиях современного изменения климата на примере ледника Кара-Баткак, хребет Тескей Ала-Тоо. // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. -Том 17. - №5. - С. 189-194.