

DOI:10.26104/NNTIK.2023.63.90.013

Эрменбаев Б.О., Чонтоев Д.Т., Сатылканов Р.А.

**ТЕРСКЕЙ АЛА-ТОО КЫРКАЛАРЫНЫН МӨҢГҮЛӨРҮНҮН
ЗАМАНБАП ЭВОЛЮЦИЯСЫ ЖАНА АНЫН ДАРЫЯЛАРДЫН
АГЫМЫНА ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ**

Эрменбаев Б.О., Чонтоев Д.Т., Сатылканов Р.А.

**СОВРЕМЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ОЛЕДЕНЕНИЙ ХРЕБТА
ТЕСКЕЙ АЛА-ТОО И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА СТОК РЕК**

B. Ermenbaev, D. Chontoev, R. Satylkanov

**MODERN EVOLUTION OF GLACIATION OF THE TERSKEI
ALA-TOO RIDGE AND ITS INFLUENCE ON RIVER FLOW**

УДК: 551.324.63

Макалада Кара-Баткак репрезентативдик мөңгүсүнүн жана Кашка-Төр жана Нарын дарыяларынын мисалында Тескей Ала-Тоо кыркаларындагы мөңгүлөрдүн азыркы кездеги деградациясын жана анын дарыялардын агымына тийгизген таасирин изилдөөнүн жыйынтыктары келтирилген. Акыркы 50 жылдагы аймактын таяныч мөңгүлөрүнүн сызыктуу чегинүү ылдамдыгы инструменталдык ыкмалар жана космостук сүрөттө раркылуу аралыктан зондоо ыкмасы менен алынган. 1965-жылдан бери мөңгүлөрдүн аянты тынымсыз кыскарганы көрсөтүлгөн. Чакан мөңгүлөрдүн тез азайышынан улам алардын жалпы аянты 15% га, ал эми 1,0 км² ашык мөңгүлөрдүн аянты 9% га кыскарган. Борбордук Тянь-Шанда мөңгүнүн деградациясынын күчөшү акыркы он жылдыктарда Кыргызстандын жана Борбордук Азиянын башка мамлекеттеринин калкы үчүн коркунучтуу сигналдар болуп саналат, анткени суу жана гидроэнергетикалык ресурстар мөңгүлөр менен тыгыз байланышта.

Негизги сөздөр: мөңгү, аянт, Тескей Ала-Тоо, линиялык чегинүү, космо снимок, климаттын өзгөрүшү, Кара-Баткак, мөңгү агымы.

В статье на примере репрезентативного ледника Кара-Баткак и рек Кашка-Тор и Нарын приводятся результаты исследований современной деградации ледников хребта Тескей Ала-Тоо и её влияния на сток рек. Оценены скорости линейного отступления опорных ледников региона за последних 50 лет, полученные инструментальными методами и методом дистанционного зондирования с помощью космоснимков. Показано, что с 1965 года площадь ледников непрерывно сокращалась. Из-за ускоренного сокращения малых ледников их общая площадь уменьшилась на 15 %, а площадь ледников более 1,0 км² сократилось на 9%. Отмечено, что усиление деградации оледенения в Центральном Тянь-Шане в последние десятилетия являются тревожными сигналами для населения Кыргызстана и других государств Центральной Азии, поскольку водные и гидроэнерго-ресурсы тесно связаны с оледенением.

Ключевые слова: ледник, площадь, Тескей Ала-Тоо, линейное отступление, космоснимок, изменение климата, Кара-Баткак, ледниковый сток.

Using the example of the representative glacier Kara-Batkak and the rivers Kashka-Tor and Naryn, the article presents the results of studies of the modern degradation of glaciers of the Teskey Ala-Too ridge and its impact on river flow. The rates of linear retreat of

the supporting glaciers of the region over the past 50 years, obtained by instrumental methods and remote sensing using satellite images, are estimated. It is shown that since 1965 the area of glaciers has been continuously decreasing. Due to the accelerated reduction of small glaciers, their total area decreased by 15%, and the area of glaciers over 1.0 km² decreased by 9%. It is noted that the increased degradation of glaciation in the Central Tien Shan in recent decades are alarming signals for the population of Kyrgyzstan and other Central Asian states, since water and hydropower resources are closely related to glaciation.

Key words: glacier, area, Teskey Ala-Too, linear retreat, satellite image, climate change, Kara-Batkak, glacial runoff.

Горные ледники представляют собой природные аккумуляторы пресной воды. Они чувствительны к изменениям приземной температуры воздуха и осадков, в связи с чем потепление климата, при относительно стабильном значении атмосферных осадков, является ключевой причиной деградации горного оледенения.

Современный период развития оледенения характеризуется отрицательным балансом массы ледников, отступанием его краевых частей (языка), уменьшением толщины и объёма. Деградация оледенения значительно ускорилась с середины 1970-х годов на фоне глобального потепления климата. Особенно остро встает проблема изменения оледенения в аридных районах Центральной Азии (ЦА), где горное оледенение является одним из основных источников питания рек в самый засушливый период года (июль, август).

Одним из наиболее крупных в горной системе Тянь-Шаня является хребет Тескей Ала-Тоо, расположенный в северной части Тянь-Шаня в широтном направлении с запада на восток имеет протяженность 400 км (375) [5]. Хребет окружает Иссык-Кульскую котловину с юга и обращен к озеру северным склоном, южные склоны ориентированы на сырты Внутреннего Тянь-Шаня (рис. 1).

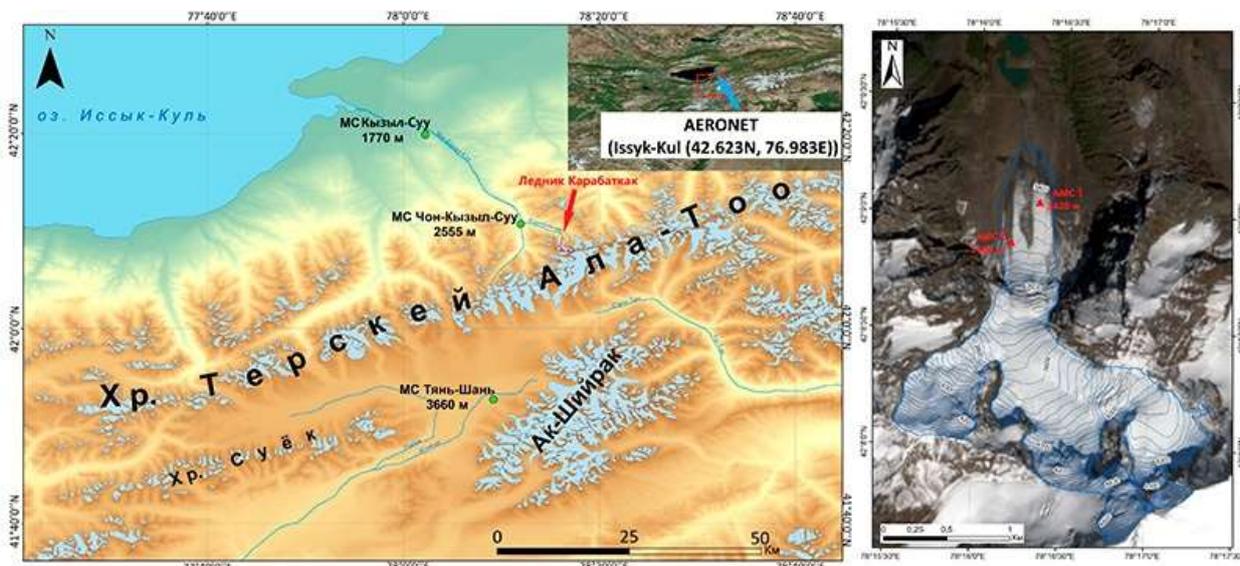


Рис. 1. Географическое положение объекта исследования, стрелками указан ледник Кара-Баткак, справа в увеличенном виде.

По морфологическим показателям, строению и типу ледники Тескей Ала-Тоо имеют много общих характерных черт с ледником Кара-Баткак, который взят в качестве репрезентативного. Это ледник долинного типа, как и все ледники Тескей Ала-Тоо. На рисунке 2 показаны результаты за весь период оценок баланса массы ледника Кара-Баткак.

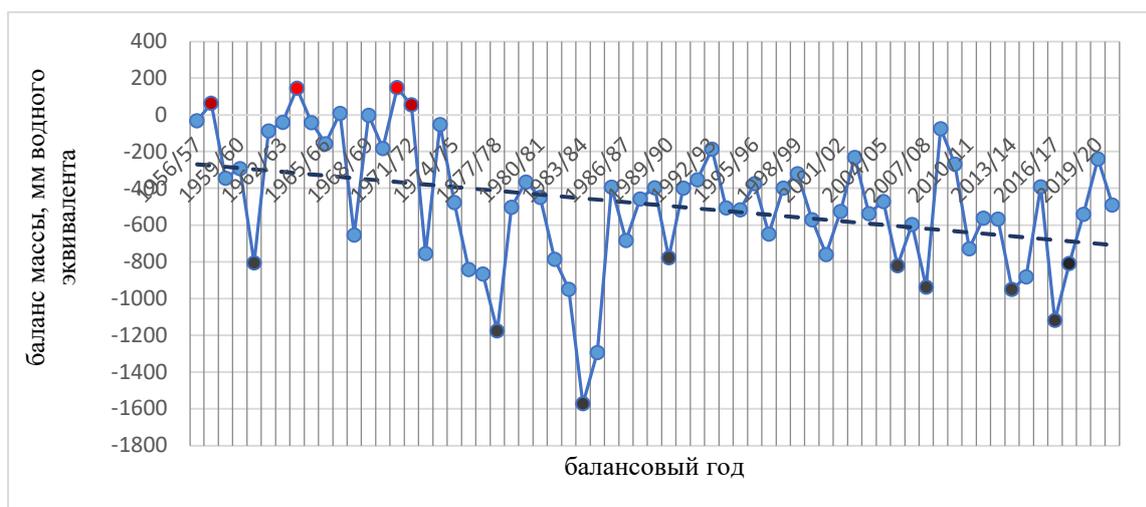


Рис. 2. Тренд уменьшения баланса массы ледника Кара-Баткак: 1956/57-1997/98, 2013/14-2020/21 гг. - фактические измерения [7]; 1998/99-2012/13 гг. - восстановленные данные (Губанов А.С., 2019).

Отрицательная тенденция тренда отмечается во все годы, исключение составляют пять лет с положительным бюджетом ледника: 1957/58, 1963/64, 1966/67, 1970/71 и 1971/72 гг. После 1972 г. в течение последующих 60 лет бюджет ледника Кара-Баткак был отрицательным, расход превышал приход на 86 млн. м³, что в слое стока с поверхности ледника составляет 28,87 м.

По данным Каталога ледников СССР 1976 [4] количество ледников на склонах хребта Тескей Ала-Тоо

около 1100, площадь оледенения 1081 км², распределение их на склонах северной и южной экспозиции почти одинаково. На северном склоне максимальная длина долинных ледников достигает 5,7 км, на южном - до 10 км (ледник Колпаковского).

По данным [3] по северному склону хребта Тескей Ала-Тоо был учтен 481 ледник размерами более 0,1 км², общей площадью 496,7 км², а всего насчитывался 675 ледников общей площадью 510,1 км², в том числе, 194 малых ледника площадью менее 0,1 км² и общей площадью 13,4 км² (табл. 1).

Таблица 1

Общие информация о ледниках северного склона хр. Тескей Ала-Тоо [3]

K	S	V	AAR	S _m	L _m	T _m	H _{min}	H	H _f	H _{maxS}
675	510,1	23,316	0,52	0,8	1,52	46	3020	3658	3845	3913

K – количество ледников; *S* – суммарная площадь ледников (км²); *V* – общий объем ледников (км³); *AAR* – доля области аккумуляции в общей площади; *S_m* – средняя площадь ледника; *L_m* – средняя площадь ледника (км); *T_m* – средняя толщина ледника (м); *H_{min}* – минимальная из высот нижних концов ледников (м); *H* – средняя высота концов ледников; *H_f* – средневзвешенная по площади ледников высоты фирновой линии (м); *H_{maxS}* – высота максимума распределения площади всех ледников по высоте (м).

По некоторым источникам сокращение оледенения было отмечено давно, со времени малого ледникового периода вплоть до середины XX в [5, 6], когда 109 ледников восточной части хребта потеряли около 9,6% общей площади, которая уменьшилась с 132,8 до 120 км², в последующие 25 лет (1965-1990 гг.) площадь оледенения этого района сократилась ещё на 8,3% [5]. В период 1990-2003 гг. скорость сокращения ледников возросла: после 1990 г. общая площадь 109 ледников стала меньше на 4,7% или на 5,2 км² [5].

Для получения данных изменения оледенения рассматриваемой территории за последний 20 лет (1999-2019 гг.) заимствованы результаты мои предыдущих работ [7], которые космоснимки Landsat-5 1999, Landsat-7 1999-2000 гг., Landsat-8 2019 г., Sentinel-2 2019-2020, SkySat 2018 г. и SRTM 2014г., полученные с сайта Геозульаты логической Службы США USGS [9]. В работе использовались также спутниковые изображения за дни и время максимума облачности и минимума облачности [7].

В процессе дешифрирования, исходные снимки Landsat 7, Landsat 8, Sentinel-2 были преобразованы в композиции RGB с различными комбинациями каналов. Использовалась комбинация каналов 5, 6, 4 – ближнего, среднего инфракрасных каналов и красного видимого канала. Разрешение полученных изображений было увеличено до 10 м/пиксель с помощью 8-го панхроматического канала [7]. Для определения границы водоразделов и ледоразделов, использованы снимки ЦМР (SRTMDEM) полученные с сайта Национального Аэрокосмического Агентства NASA [8].

По данным дешифрирования в 1999 г. количество ледников составляло 1103 общей площадью 983 км²; в 2019 г. количество возросло до 1107, но общая площадь уменьшилась на 106 км²(10,7%) и составила 877 км². (рис. 3, табл. 2). Причина увеличения количества ледников, по-видимому, заключается в распаде небольших ледников на более мелкие, а сокращение площади - за счет полного исчезновения ледников площадью <1 км².

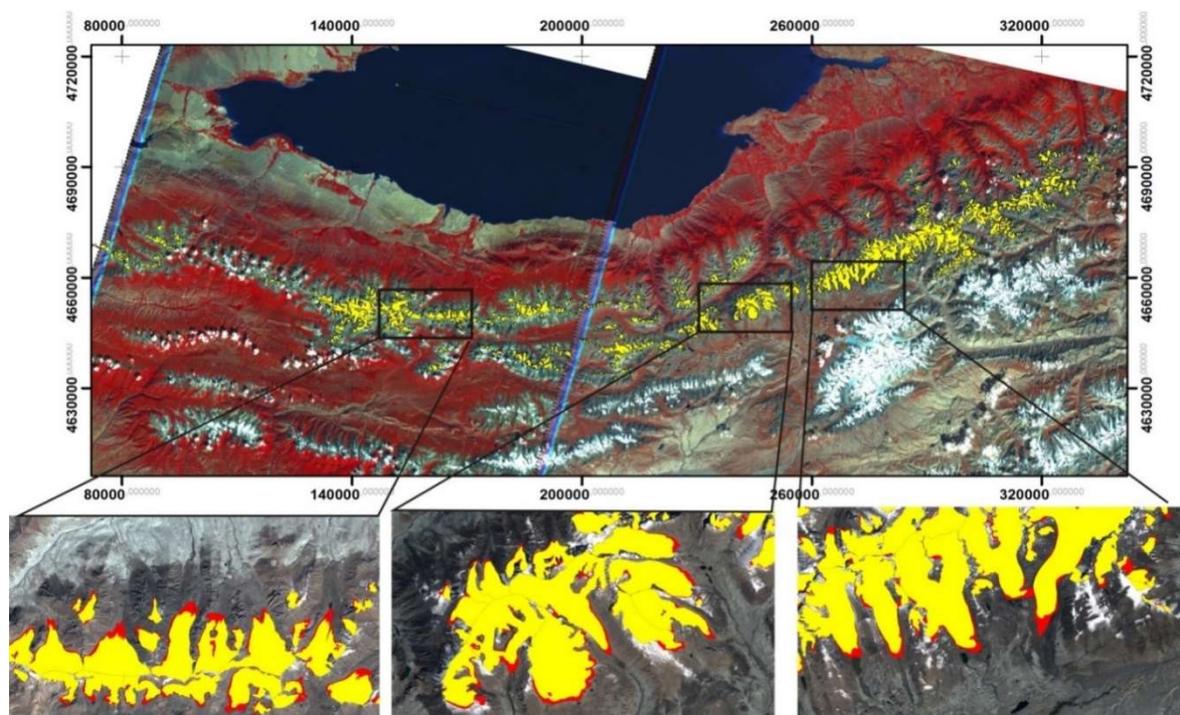


Рис. 3. Изменение размеров ледников: красный цвет на увеличенных снимках – положение (границы) на период 1999 г.; желтый - в 2019 г.

Ввиду ускоренного сокращения малых ледников их общая площадь уменьшилась на 15 %, а площадь ледников более 1,0 км²- на 9% (табл. 2).

Таблица 2

Деградация ледников по зависимости от их площади

Размер площади ледников, км ²	Количество/площадь, км ²		Сокращение площади, %
	1999	2019	1999/2019
<1	866/325	859/277	15
1>	237/658	248/600	9,0
Всего	1103/983	1107/877	10,7

Наиболее значительное сокращение произошло у небольших ледников площадью менее 5 км². Ледники южного склона хребта сокращаются более интенсивно, чем северного. Для 11 ледников южного склона хребта в период 1965-2019 гг. площадь сократилась в пределах 9-25 % от первоначальной общей площади, в зависимости от размеров, наибольшее сокращение до 25% отмечено на ледниках площадью менее 5 км² [7].

Изменение площади ледников - один из показателей их динамики. Другим, возможно, не вполне информативным, но весьма наглядным эволюционным показателем, является «отступление ледников», то есть повышение высотной отметки языка ледника.

Отступление ледников определено и установлено с использованием имеющейся информации о ледниках и их эволюции, а также топоосновы прошлых лет и космоснимков. Наибольший объем информации по данному вопросу был собран по репрезентативному леднику Кара-Баткак, где ежегодное его отступление по северному склонусоставляет 8 м/год, а по ледникуюжному- 11 м/год [7].

Ледниковый сток складывается из воды, образующейся вследствие таяние ледника, поверхностного, внутри- и подледникового стока ледников.

Однако, по данным Г.А.Авсюка [1], подледниковое и внутриледниковое таяние на ледниках Тянь-Шаня вследствие низких температур отсутствует или ничтожно мало. Поэтому в качестве основного источника формирования ледникового стока было принято поверхностное таяние. Стационарным полигоном наблюдений служил горно-ледниковый бассейн Кара-Баткак.

Высотные отметки ледника Кара-Баткак и замыкающего створа гидрологического поста Кашка-Тористок превышают 3260 м, нулевая изотерма поднимается на эту высоту в конце мая - начале июня, и тогда начинается процесс таяния сезонного снега на леднике (снеговой паводок), который фиксируется на гидрологическом посту «исток» измерением расходов воды. После схода сезонного снега (по средним срокам это первая декада июля) и открытия ледника начинается второй паводок – ледниковый, сформированный талым стоком с ледника.

На рисунке 4 приведены гидрографы среднесуточных расходов воды по гидропосту Кашка-Тористок за 3 характерных года – многоводный, средний и маловодный, и методом расчленения выделены генетические составляющие стока – снеговое и ледниковое питание [2].

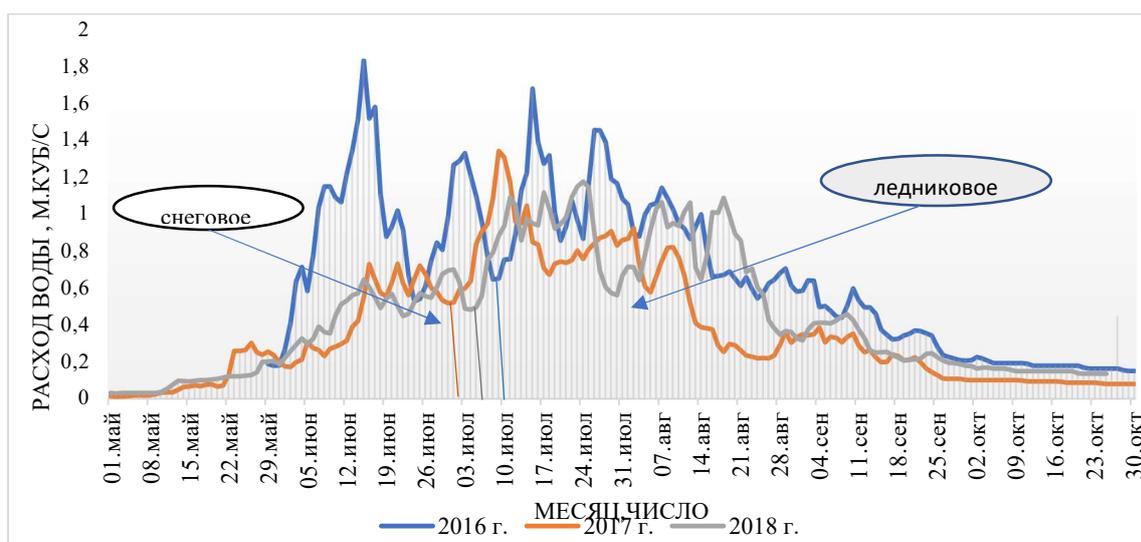


Рис. 4. Гидрографы среднесуточных расходов воды в р. Кашка-Тор за годы: 2016 – многоводный, 2017 – средний, 2018 – маловодный.

На гидрографах стока выделен период снегового таяния (до открытия ледника) – с 1 июня по 3-13 июля. В этот период на гидрографе отмечены пики снегового стока [2]. Далее на гидрографах отмечается резкий спад, связанный с истощением снеготопливных запасов на леднике и с 4-14 июля (в зависимости от метеорологических условий года) с повышением температуры воздуха начинается постепенный подъем стока, обусловленный таянием ледника (ледниковый сток), по данным снеготопливных запасов языка ледника в это время уже открыт [2]. Период ледникового паводка составляет 73-86 дней, а весь период таяния в среднем 122 дня. Сток в сентябре обеспечивается не только талыми водами (повышение температуры сентября продлило период таяния), но и водами, аккумулированными ледником и моренами в течение всего паводкового периода. Максимальная водоносность рек ледниково-снегового питания отмечается в июле, хотя в отдельные годы наблюдается и в августе. В паводковый период спад на гидрографе стока связан с понижением температуры воздуха и, как правило, выпадением осадков [1.2].

Участие осадков периода половодья (июнь-сентябрь) в формировании стока (условно – дождевое) рассчитано по данным об осадках, которые переведены в слой стока на поверхность (площадь) ледника. Поскольку коэффициент стока летних осадков в теплый период равен 1,0, т.е. практически все выпавшие осадки участвуют в формировании стока и которые учтены как дождевое питание [2].

Характерной особенностью водного режима рек ледниково-снегового питания является значительная внутри- и межсуточная изменчивость стока, которая обусловлена суточным ходом метеорологических элементов – температурой каждого конкретного дня и осадками. Выпадение осадков связано с вторжением холодных масс, приводящих к резкому снижению температуры воздуха и сокращению, а порой полному прекращению таяния [1].

В качестве основной характеристики расчета величины таяния взят слой стока. Слой стока h (мм) – количество воды, стекающей с водосбора за какой-либо интервал времени (в данном случае за июнь-сентябрь месяцы), равное толщине слоя, равномерно распределенного по площади водосбора [1]. При расчете

слоя стока снегового и дождевого питания учитывалась вся площадь водосбора - 7,53 км², а при расчете ледникового стока – только площадь ледника без забронированной его части – 2,5 км².

Результаты расчеты источников питания по генетическому расчленению гидрографа стока за период наблюдений на гидропосту Кашка-Тор-исток (2013-2017) гг. следующие [2]:

- сезонная снеговая - от 25% до 40% (среднее многолетнее - 31%);
- ледниковая - от 52% до 72% (при среднем - 64%);
- дождевая - от 3% до 8% (при среднем - 5%).

Генетические составляющие стока колеблются в значительных пределах, пропорции между разными источниками питания зависят от метеорологических условий каждого года. За период наблюдений (по сравнению с предыдущим периодом) доля снегового питания уменьшилась, ледникового – возросла, а дождевого – осталась неизменной. Наибольший слой ледникового стока может достигать 72% в годы с температурой воздуха в 1,5-2 раза выше нормы и осадками ниже нормы.

Стокоформирующая роль ледников Тянь-Шаня исключительна велика. Особенно их ценность возрастает в годы с недостаточным увлажнением. В условиях происходящего потепления климата, сопровождающимся относительно небольшим понижением годовой суммы осадков или их стабильностью, возрастает испарение с почвы, снижается интенсивность стокоформирования и повышается роль ледников как источников питания [2]. В целом надо ориентироваться на летний период, так как именно в это время происходит формирование ледникового стока и резкое повышение водности рек, в бассейнах которых развито оледенение.

В целом, на реках Киргизского Ала-Тоо, Тескей Ала-Тоо, на крупных притоках р. Сары-Джаз с хорошо развитым оледенением сток в июле возрос на 11-28,6%, а годовые величины повысились на 11,3-17,1% [3].

По р. Нарын и её основным притокам вероятные изменения ледникового стока представляются в следующем виде (табл. 3).

Таблица 3

Ледниковый сток к 2010 году по бассейн р. Нарын

Бассейн реки	Объем стока, млн. м ³	Ледниковый сток		в % к 1980 г.
		1980 г.	2010 г.	
Чон-Нарын	1488	460	507,7	110,4
Кичи-Нарын	1350	327	411,3	125,8
Кёкёмерен	3217	109	178,5	163,2
Ат-Башы	1044	101	104,5	103,3
Алабуга	978	130	138,8	106,9
Нарын, г/п Учкоргон	13624	1244,5	1304	104,8

Повышение водности практически до середины начавшегося столетия будет характерно для рек хребта Тескей Ала-Тоо. Сохранение тенденции потепления климата приведет к потере площадей оледенения во всех ледниковых районах Кыргызстана [2], в том числе исследуемого района рек хребта Тескей Ала-Тоо.

Заключение. Полученные данные динамики сокращения оледенения согласуются с прогнозами многих видных гляциологов [3,] о том, что при сохраняющейся тенденции (темпах) роста температуры воздуха, к 2050 г. оледенение сократится до минимума, а к 2100 г. оледенение сократится полностью. Результаты исследования и анализа, подтверждают серьезность проблем, возникающих в водных ресурсах не только Кыргызстана, но всей ЦА. Бытует очень расхожая фраза, что «Кыргызстан является водонапорной башней ЦА», поскольку обеспечивает водой соседние, нижележащие государства – Узбекистан и Казахстан. Сокращение водности рек, формирующихся в горах Кыргызстана, за счет уменьшения, а в дальнейшем и потери ледниковой составляющей стока, отрицательно скажется на водообеспечении государств ЦА во всех секторах экономики. Потери ледникового стока к 2050 г. могут составить до 50% современного годового объема, что для Кыргызстана чревато не только водным, но и энергетическим кризисом, поскольку основную часть электроэнергии дают ГЭС. Уже в настоящее время запущено много проектов по разработке адаптационных мер в сфере водных ресурсов и их решения.

В связи с этим очень важным и актуальным является продолжение мониторинга ледников Кыргызстана. Полученные данные позволяют осуществлять контроль эволюции ледников и уточнять прогноз на будущее.

Литература:

1. Авсюк Г.А. Измерение температур льда ледника Кара-Баткак. // Труды Института геогр. АН СССР. - Вып. 60. - 1954. - С. 31-39.
2. Бажанова Л., Сатылканов Р., Эрменбаев Б. Динамика оледенения в условиях современного изменения климата на примере ледника Кара-Баткак, хребет Тескей Ала-Тоо. // Вестник Славянского университета Т.17, Т.5 , 2017. - С. 189-194.
3. Диких А.Н., Усубалиев Р. Состояние оледенения Тянь-Шаня во второй половине XX и в начале XXIв.в.: эволюция, экология и направленность ледникового стока <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45731530>
4. Каталог ледников СССР. Том 14. Средняя Азия. Вып. 2. Киргизия. Ч. 5. Реки бассейна оз. Иссык-Куль.
5. Кутузов С.С. Изменение площади и объёма ледников хр. Терскей Ала-Тоо во 2-й половине XX в. // Лёд и Снег. 2012. - №1 (117). - С. 5-14.
6. Усубалиев Р. «Оледенения гор Кыргызстана. В книге «Физическая география Кыргызстана». - Бишкек: Турар, 2013. - 588 с.
7. Эрменбаев Б, «Современная эволюция ледников хребта Тескей Ала-Тоо за последние 50 лет». / Журнал Наука, новые технологии и инновация Кыргызстана, №4, 2021. - С. 39-43.
8. <http://earthdata.nasa.gov/>
9. <https://earthexplorer.usgs.gov>