

*Бажанова Л.В.*

**БИЙИК ТООЛУУ ЗОНАДАГЫ ДАРЫЯЛАРДЫН ГИДРОЛОГИЯЛЫК РЕЖИМИНЕ  
КЛИМАТТЫН ӨЗГӨРҮСҮҮНҮН ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ  
(Ыссык-Көл көлүнүн бассейнинин Кашка-Тор дарыясынын мисалында)**

*Бажанова Л.В.*

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ  
РЕЖИМ РЕК ВЫСОКОГОРНОЙ ЗОНЫ  
(на примере р.Кашка-Тор в бассейне озера Иссык-Куль)**

*L.V. Bazhanova*

**CLIMATE CHANGE INFLUENCE ON HYDROLOGICAL RIVER  
REGIME OF HIGH-MOUNTAIN ZONE  
(on the example of the Kashka-Tor river a basin the of Issyk-Kul lake)**

УДК: 551.482.215

Колорадо университети (АКШ) менен биргелештикте «Мөңгүлөрдүн жана мезгилдүү кар каптоосунун Бийик Азия тоолорунун гидрологиясындагы ролун баалоо үчүн биргелешкен иш аракеттерди түзүү» CHARIS долбоору боюнча 2013-2017 жж. Тянь-Шань бийик тоолуу илимий борборунда (ТШБТИБ) жүргүзгөн Кара-Баткак мөңгүсүнөн (Чоң-Кызыл-Суу дарыя бассейнини) баиталган Кашка-Тор дарыясына гидрометеорологиялык байкоонун анализинин жыйынтыктары келтирилген. Илимий эмгекте байкоонун жыйынтыктары колдонулган. Мониторингдин негизги максаты 90-жылдары токтоп калган байкоону калыбына келтирүү, алынган маалыматтарды орточо көп жылдык чоңдуктар менен салыштырып анализдөө, болуп жаткан климаттык өзгөрүүлөрдүн алкагында дарыянын суу агымынын жана мөңгүлөрдүн абалынын динамикасын анализдөө. Гидрографты генетикалык бөлүү методу менен дарыянын суу агымынын (кар, мөңгү, жаан) түзүүчүлөрүн аныктоо.

**Негизги сөздөр:** дарыянын суу агымынын гидрографы, дарыянын суу агымынын генетикалык түзүүчүлөрү, абляция, деградация, тренд.

В статье приведены результаты анализа гидрометеорологических наблюдений на р.Кашка-Тор, берущей начало с ледника Кара-Баткак (бассейн р.Чон-Кызыл-Суу), проведенных в Тянь-Шаньском высокогорном научном центре (ТШВНЦ) в период 2013-2017 гг. по проекту CHARIS «Создание совместных усилий для оценки роли ледников и сезонного снежного покрова в гидрологии гор Высокой Азии» совместно с Колорадским университетом (США). Результаты наблюдений и использованы в данной статье. Основной целью мониторинга является восстановление наблюдений, прерванных в 90-х годах прошлого столетия, сравнительный анализ полученных данных со среднепогодными величинами, анализ динамики состояния ледника и речного стока на фоне происходящих климатических изменений. Определение составляющих стока (снеговое, ледниковое, дождевое) методом генетического расчленения гидрографа.

**Ключевые слова:** гидрограф стока, генетические составляющие стока, абляция, деградация, тренд.

The analysis results of hydrometeorological observations on the Kashka-Tor river, originating from the Kara-Batкак glacier (the Chon-Kyzyl-Suu river basin), conducted by the Tien-Shan high-mountainous scientific centre (TSHMRC) in the period of 2013-2017 on the CHARIS project "Creation of joint efforts to assess the role of glaciers and seasonal snow cover in

the hydrology of the High Asia mountains " jointly with the University of Colorado (USA) are presented. The results of observations and used in this article. The main purpose of the monitoring is to restore the observations interrupted in the 1990s of the last century, a comparative analysis of the data obtained with average long-term values, analysis of the dynamics of the glacier and river flow conditions against the background of processing climate change. Detection of flow components (snow, ice, rain) by the method of genetic decomposition of the hydrograph.

**Key words:** flow hydrograph, genetic components of flow, ablation, degradation, trend.

**Введение.** С середины 90-х годов прошлого века мониторинг и, как следствие, гидрометеорологические и гляциологические данные (особенно, на больших высотах нивально-гляциальной зоны) были практически прекращены. Между тем в научном мире на повестку дня встали вопросы:

- как изменяется вклад талых ледниковых и снеговых вод в речной сток на фоне климатических изменений?
- насколько важно таяние снега и льда в сравнении с изменением осадков вследствие потепления климата?

В течение пяти лет (2013-2017 гг.) по проекту CHARIS «Создание совместных усилий для оценки роли ледников и сезонного снежного покрова в гидрологии гор Высокой Азии» совместно с Колорадским университетом (США) проводились комплексные гидрометеорологические и гляциологические наблюдения в бассейне ледника Кара-Баткак и вытекающей из него р.Кашка-Тор [1-3,8].

Результаты наблюдений и использованы в данной статье, которые дали возможность выполнить анализ процесса формирования стока с ледника, вывести закономерности и факторы, а также соотношения генетических составляющих стока (ледниковых, снеговых и дождевых), увязав их с метеорологическими условиями каждого конкретного года. Имея данные аналогичных наблюдений за 1951-1992 годы проведено сравнение с результатами современных наблюдений, установлено изменение метеорологических параметров (температуры, осадков), а также соотношение генетических составляющих стока

р.Кашка-Тор на фоне климатических изменений [1-3, 8-9].

**Сведения о бассейне реки Кашка-Тор.** Река берет начало с ледника Кара-Баткак, является правым притоком р.Чон-Кызыл-Суу, основную площадь бассейна 62% занимает ледник. Отметка конца языка ледника по современным измерениям 3321 м, а по данным 90-х годов прошлого столетия – 3250 м, т.е. ледник отступил на 71 м. Максимальная высота бассейна 4800 м, площадь- 4,7 км<sup>2</sup> (непосредственно языка ледника - 1,2 км<sup>2</sup>) [1].

Между языком ледника и валом конечной морены находится небольшое сезонное озеро, уровень которого в период абляции ледника резко колеблется. Поверхностный сток из озера осуществляется путём фильтрации из-под наружного склона морены ручейков, которые сливаясь в общий поток и дают начало р.Кашка-Тор. Река относится к ледниково-снеговому типу питания, показатель типа питания (отношение

объёма стока за июль-сентябрь к объёму стока за апрель-июнь) равен 4,06 [2].

**К проблеме изменения климата.** На фоне глобальных климатических флуктуаций отмечено и региональное изменение климата на территории Кыргызстана [3, 4].

Анализ температуры воздуха и осадков как основных климатических параметров выполнен по данным наблюдений на метеостанции Кызыл-Суу (Покровка) - высота 1740 м, имеющей наиболее длинный ряд наблюдений (1951-2016 гг.) Тренд средней годовой температуры воздуха однозначно положительный (рис. 1) [3, 8].

За 66-летний период наблюдений произошло увеличение температуры (по исходным трендам) в диапазоне от 6,2<sup>0</sup>С до 7,5<sup>0</sup>С и составило 1,3<sup>0</sup>С. Более показательны тренды за сравниваемые периоды: 1951-1972, 1973-1994 и 1995-2016 гг (рис. 2), а наиболее значимый за период 1995-2016 гг. [3, 7, 8].

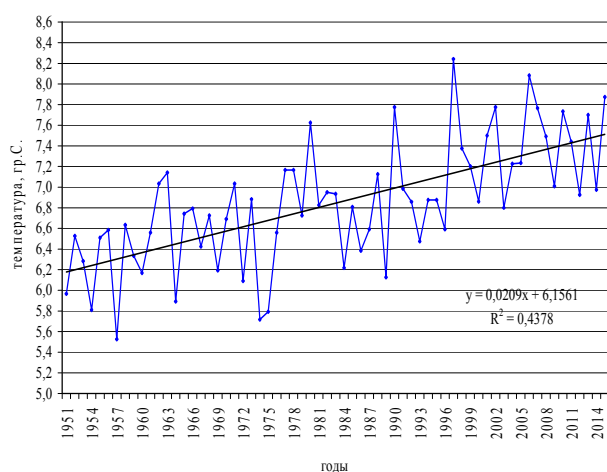


Рис. 1. Тренд среднегодовой температуры [3, 7, 8].

Изменение атмосферных осадков не столь существенное, тренд положительный и составляет около 25 мм, при этом отмечается более значительная вариация (изменчивость) количества осадков по годам.

Изменение климатических параметров повлияло на интенсивность таяния ледников и увеличение ледникового стока р. Чон-Кызыл-Суу. Тренд средних годовых расходов воды положительный, произошло увеличение среднего годового стока с 4,25 до 6,45 м<sup>3</sup>/с (52%) и наиболее существенное в периоде 1995-2016 гг. (рис. 3) [3, 7, 8].

**Атмосферные осадки.** Месячная сумма осадков в период 2014-2017 гг. была в пределах или несколько

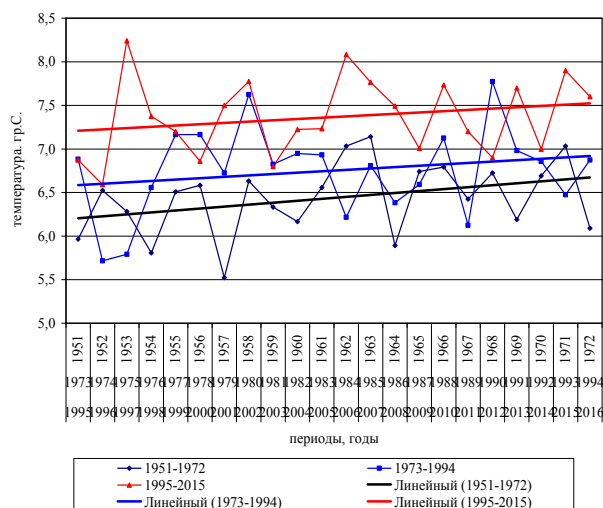


Рис. 2. Тренды среднегодовой температуры за сравниваемые периоды [3, 7, 8].

ниже средних значений (исключение - июнь 2016 г.). Осадки выше средних многолетних значений отмечены в 2013 г. и в данном году отмечен самый высокий максимальный срочный расход воды, сформированный в сочетании талого и дождевого стока [6].

**Гидрологические наблюдения** проводились на р.Кашка-Тор-исток, в период половодья (VI-IX месяцы) для определения средних суточных расходов воды и построения гидрографа стока, на основании которого методом расчленения определены генетические составляющие – снеговое, ледниковое и дождевое питание. Единственный источник формирования стока с ледника – его поверхностное таяние, что и было учтено при расчете ледникового стока [6].

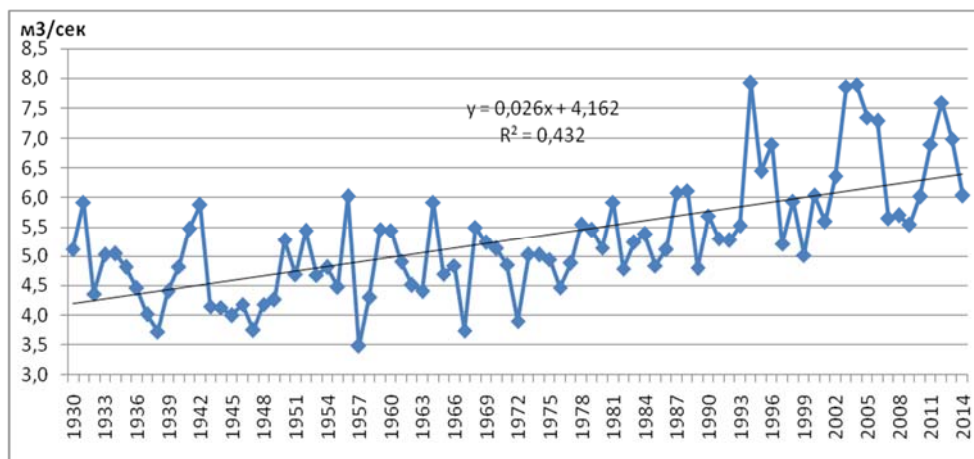


Рис. 3. Тренд средних годовых расходов воды р.Чон-Кызыл-Суу по гидропосту «Лесной кордон» [3, 8].

**Метеорологические условия периода 2013-2017 гг.** Изменения температуры воздуха за период таяния (VI-IX месяцы) на леднике Кара-Баткак даны на рисунках 4, 5 и в таблице 1. Температурный режим за

анализируемые годы свидетельствует и подтверждает тенденцию повышения температуры и в нивальной (высокогорной) зоне Тянь-Шаня (ледник Кара-Баткак высота 3200 м.) [3, 7, 8].

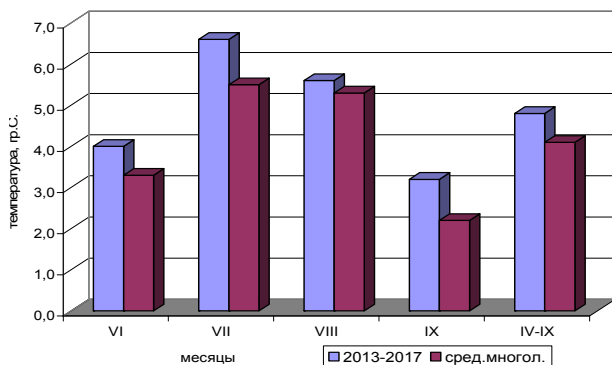


Рис. 4. Среднемесячная температура периода 2013-2017 гг. и среднемноголетняя.

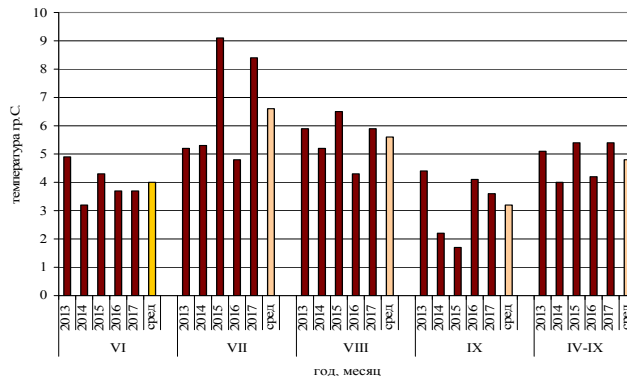


Рис. 5. Средняя месячная температура периода 2013-2017 гг.

Таблица 1

**Средняя месячная температура на леднике Кара-Баткак за период наблюдений и отклонения от средних многолетних значений [3, 8].**

период	месяцы				среднее VI - IX
	VI	VII	VIII	IX	
2013	4,9/+1,6	5,2/-0,3	5,9/+0,6	4,4/+2,2	5,1 / +1,0
2014	3,2/-0,1	5,3/-0,2	5,2/-0,1	2,2/ 0	4,0 / -0,1
2015	4,3/+1,0	9,1/+3,6	6,5/+1,2	1,7/-0,5	5,4/+1,3
2016	3,7/+0,4	4,8/-0,7	4,3/-1,0	4,1/+1,9	4,2/+0,1
2017	3,7/+0,4	8,4/+2,9	5,9/+0,6	3,6/+1,4	5,4/+1,3
Среднемноголетняя	3,3	5,5	5,3	2,2	4,1

На рисунке 6 представлены совмещенные гидрографы стока р.Кашка-Тор за пять лет наблюдений, на которых выделены снеговое сезонное и ледниковое питание [6].

В расчетах продолжительность половодья на р.Кашка-Тор принята по календарным датам с 01.06 по 30.09, т.е. 122 дня. Средняя дата начала таяние ледника относится к 10.07 [3, 7, 8].

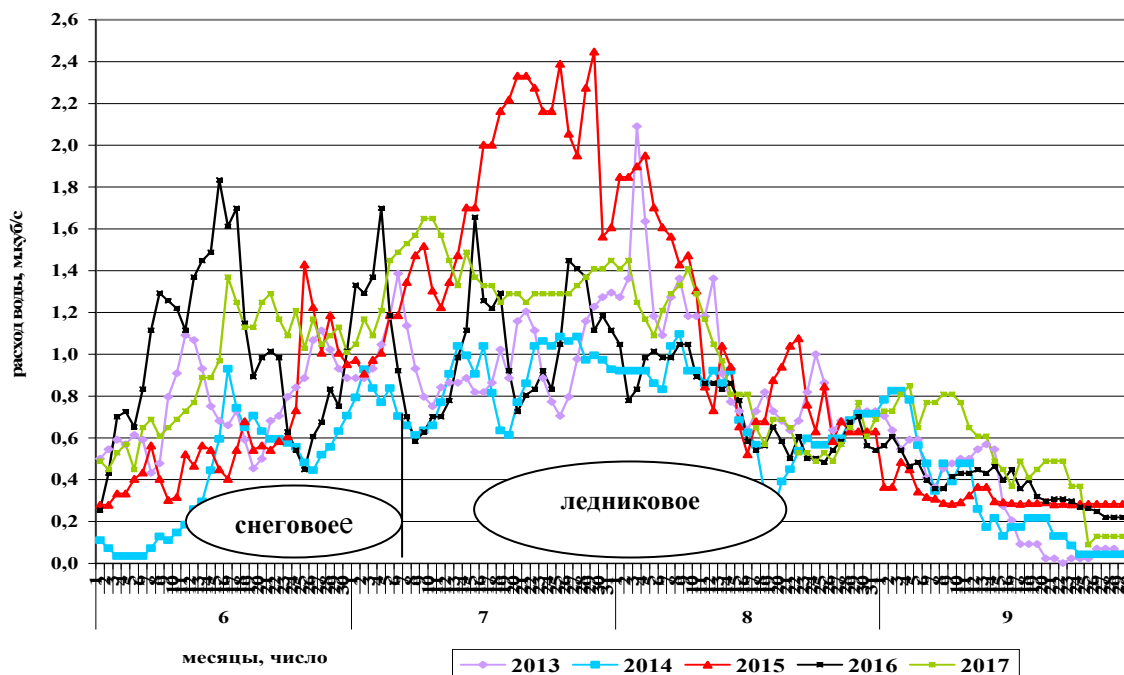


Рис. 6. Совмещенные гидрографы стока р.Кашка-Тор за 2013-2017 годы [6].

Исключительно велико значение талых ледниковых вод в поддержании достаточно высокой водоносности реки в годы с малым количеством атмосферных осадков (пример 2015 и 2017 гг.), поскольку таяние

ледника имеет прямую зависимость от температуры, которая обуславливает суточный, месячный и сезонный объём ледникового стока (рис. 7) [3, 7, 8].

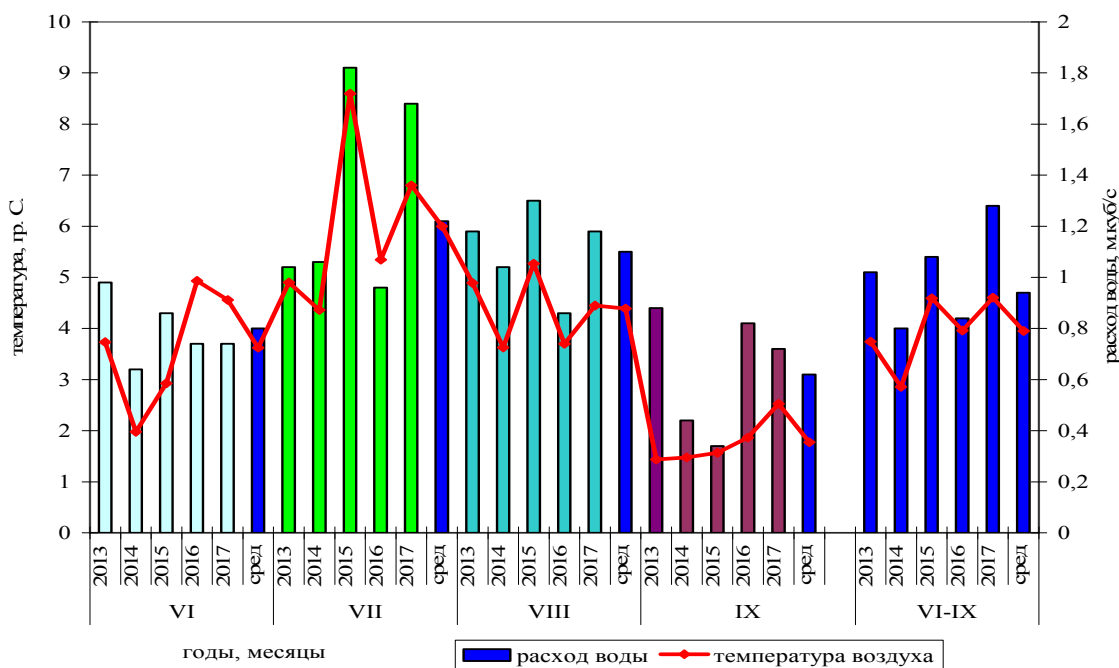


Рис. 7. Соотношение средней месячной температуры и расходов воды [3, 8].

**Определение составляющих стока р.Кашка-Тор методом генетического расчленения гидрографа.** Для расчета источников формирования стока были построены комплексные графики среднесуточ-

ных расходов воды (гидрограф стока) и метеорологических факторов - среднесуточной температуры и суточной суммы осадков теплого периода [3, 8].

На основании анализа графиков произведены расчеты по определению генетических составляющих стока (источников формирования): снеговое (осадки

холодного периода), ледниковое, дождевое (осадки теплого периода). За основную характеристику 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 месяца), равное толщине слоя, равномерно распределенного по площади водосбора [3, 8].

На гидрографах стока выделен период снегового таяния (до открытия ледника). В этот период на гидрографе отмечены пики снегового стока. Далее на гидрографах отмечается резкий спад, связанный с истощением снеготпасов на леднике. С 10 июля (средняя дата, которая в каждом году может сдвигаться) с повышением температуры воздуха начинается постепенный подъём стока, обусловленный таянием ледника (ледниковый сток) по данным снегосъёмок язык ледника в это время уже открыт [3, 8].

Сток в сентябре обеспечивается не только талыми водами (повышение температуры сентября продлило период таяния), но и водами, аккумулирован-

ными 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 [3, 8].

Участие осадков периода половодья 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. Выпадение осадков связано с вторжением холодных масс, приводящих к резкому снижению температуры воздуха и сокращению, а порой полному прекращению таяния. Результаты расчетов источников питания по генетическому расчленению гидрографа приведены в ниже следующей таблице 2 и рисунке 8 [3, 8].

Таблица 2

Составляющие суммарного слоя стока различного типа питания р. Кашка-Тор – «исток» за 2013-2017 гг. (мм/%) [3, 8].

год	Составляющие стока						Суммарное	
	снеговое		ледниковое		дождевое			
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
2013	2896	44	3198	49	510	7,0	6604	100
2014	1350	27	3447	68	235	5,0	5061	100
2015	2082	26	5736	70	312	4,0	8130	100
2016	2615	38	3974	57	383	5,0	6972	100
2017	2484	25	7239	72	271	3,0	9994	100
Среднеголетняя		45		50		5,0	6972	

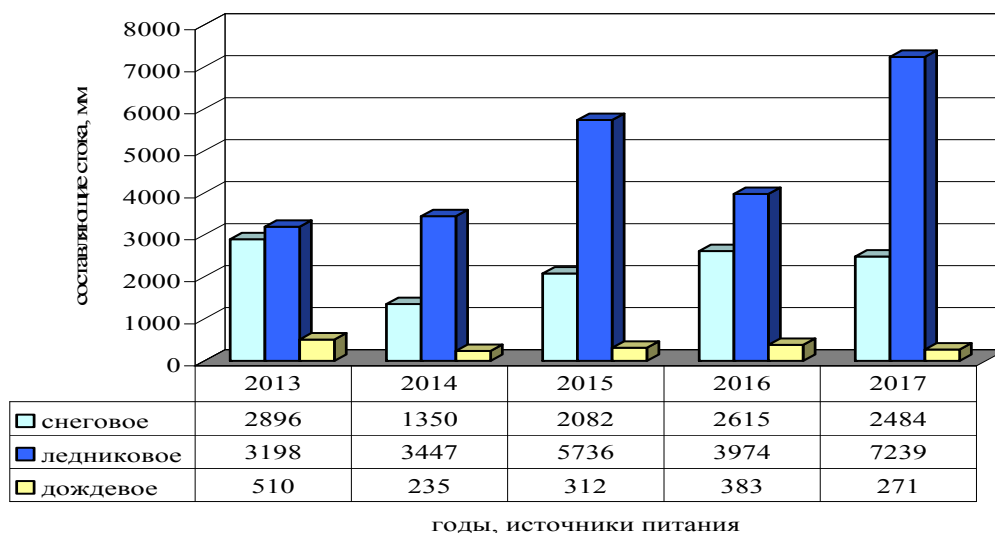


Рис. 8. Соотношение генетических составляющих стока за период наблюдений 2013-2017 гг. [3, 7, 8].

По результатам наблюдений получена связь средней месячной температуры воздуха и расходов воды р.Кашка-Тор, выраженная уравнением регрессии с высоким коэффициентом корреляции 0,88 (рис. 9) [3, 7-9].

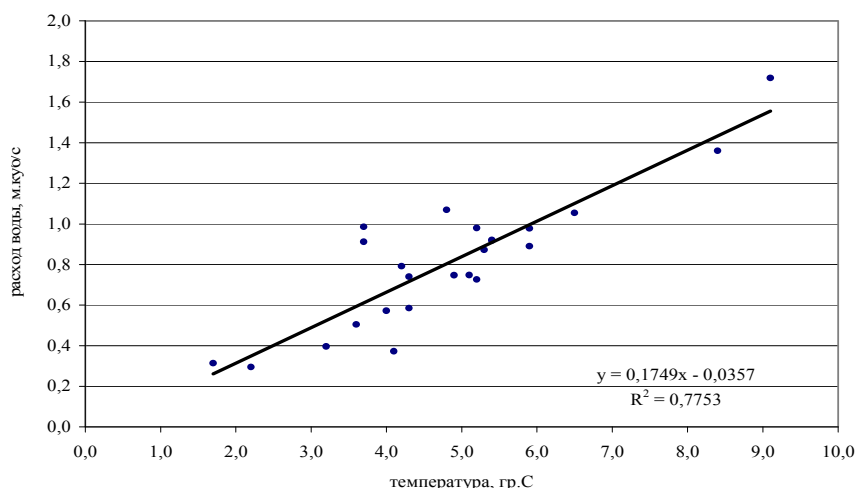


Рис. 9. Связь средней месячной температуры воздуха и расходов воды р. Кашка-Тор [3, 8-9].

Полученное уравнение связи  $y = 0,175x - 0,036$  можно использовать для расчета средних месячных расходов воды (или слоя стока) р.Кашка-Тор и рек аналогичного гидрологического режима при отсутствии данных гидрометрических наблюдений по средней месячной температуре воздуха.

Реки, в формировании стока которых значительная доля принадлежит ледниковым водам, отличаются устойчивой водоносностью независимо от увлажненности (осадков). Коэффициент вариации годового стока находится в пределах 0,15-0,36 [3, 8-9].

Сток талых ледниковых вод зависит не от запасов снега, накопившихся в бассейне за холодный период, что характерно для сезонно-снеговой составляющей, а от притока тепла к поверхности льда в летнее время, т.е. от термического режима периода абляции [3, 7-9].

#### Выводы.

1. Температура воздуха сохраняет тенденцию к повышению. Повышение температуры воздуха теплового периода (о чем свидетельствуют тренды) активизируют таяние ледника, и увеличение доли ледникового стока, т.е. ледниковой составляющей.

2. Установлена тесная зависимость расходов воды р.Кашка-Тор со средней месячной температурой воздуха на леднике, что позволяет восстановить ледниковую составляющую стока за годы отсутствия наблюдений.

3. Установлено и подтверждено, что максимальные срочные расходы воды формируются при сочетании талой составляющей стока и жидких осадков, выпадающих на поверхность ледника в период таяния.

4. Процесс сокращения массы и площади ледника Кара-Баткак продолжают на фоне климатических изменений (потепления).

#### 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. Ресурсы поверхностных вод СССР. Монография. Том 14, вып. 2. Бассейны оз. Иссык-Куль, рек Чу, Талас, Тарим. Под ред. Большакова М.Н. - Л.: Гидрометеиздат, 1973. - С. 307.
3. Маматканов Д.М., Бажанова Л.В., Романовский В.В. Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе. - Бишкек: Илим, 2006. - 238 с.
4. Второе Национальное сообщение КР по рамочной конвенции ООН об изменении климата. - Бишкек: ПРООН, 2009. - 213 с.
5. Авсюк Г.А. Измерение температур льда ледника Кара-Баткак. Труды Инс-та геогр. АН СССР, вып. 60, 1954. - С. 31-39.
6. Овчаров Е.Е., Захаровская Н.Н. Гидрология и гидрометрия. - Л.: Гидрометеиздат, 1986. - С. 230.
7. Отчёты по результатам наблюдений на леднике Кара-Баткак и р.Кашка-Тор за 2013-2017 гг. Фонды ИВПиГЭ НАН КР. - Бишкек.
8. 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 КРСУ. 2017. Том 17. - №5.
9. Бажанова Л.В. Оценка гидрологического мониторинга и восстановление стока рек методом парной корреляции. Посвящается началу Международному десятилетию действий «Вода для устойчивого развития, 2018-2028» Материалы Международной научно-практической конференции «Вода для устойчивого развития Центральной Азии», посвящённой началу Международного десятилетия действий «Вода для устойчивого развития, 2018-2028» (г.Душанбе, 23-24 марта 2018 г.). - Душанбе: Издательство «ПРОМЭКСПО», 2018. - С. 135-141.

Рецензент: д.геол.-мин.н., профессор Усупаев Ш.Э.