

Ж.С. Мустафаев^{1*}, А.Т. Козыкеева², К.Б. Абдешев³, Н.А. Турсынбаев⁴

¹*Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан;*

²*Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан;*

³*Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан;*

⁴*Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан*

**Автор для корреспонденции: z-mustafa@rambler.ru*

Гидрологический профиль реки на водосборной территории бассейна Асса-Талас с учетом техноприродных процессов

На основе многолетних информационно-аналитических материалов гидрологическими постами РГП «Казгидромет» за 1925–2020 годы создана база исследования для изучения пространственно-временной оценки многолетних колебаний годового стока реки на территории водосбора бассейна Асса-Талас, с использованием метода гидрологической аналогии, линейных трендов, суммарных, разностных и обычных интегральных кривых, базирующихся на математической статистике. Исследования показали, что тенденция изменения среднегодового расхода воды рек на территории водосбора бассейна Асса-Талас за рассматриваемый период (1925–2020) отрицательная, где изменения гидрологического режима реки происходят симметрично и последовательно-пропорционально в пространственно-временном масштабе, наблюдается два квазиоднородных периода, характеризующих переход от природной деятельности на антропогенную. Оценка изменений водности рек на территории водосбора бассейна Асса-Талас и синхронности или асинхронности ее многолетних колебаний, выполненных на основе нормирования разностных интегральных кривых модульных коэффициентов среднегодового расхода воды с использованием метода разностно-интегральных кривых, показала, что во всех гидрологических постах с 1925 до 1975 года наблюдается многоводный цикл, а после этого начинается до настоящего времени маловодный цикл, но с различиями в сроках наступления фаз и амплитуды циклических колебаний. При этом количественное значение коэффициента вариации увеличивается от горной зоны в сторону южной пустыни, где расположены зоны magazинирования поверхностного стока и высокого среднегодового расхода воды во всех рассматриваемых реках наблюдаются в пределах от 1,0 до 25,0 % обеспеченности, а затем их количественное значение резко снижается, что характерно рекам, где источниками питания являются атмосферные осадки, таяние снежного покрова и грунтовые воды.

Ключевые слова: гидрологический профиль, среднегодовой расход воды, линейный тренд, суммарные, разностные и обычные интегральные кривые, коэффициент, вариация, асимметрия.

Введение

В условиях глобального изменения климата интегральными показателями, характеризующими их деятельность на водосборных территориях речных бассейнов, является гидрологический сток, рассматривающий как функцию математического ожидания отклик климатических факторов, отражающихся в динамике их гидрологического режима. При этом водосборная территория речных бассейнов, выполняющая важную средообразующую функцию, является пространственным базисом природопользования и народонаселения, с признанием обеспечения их водной безопасности в аспекте триады экологии, экономики и социума. Эти функции речных бассейнов определяют научную и практическую целесообразность изучения изменчивости гидрологического стока в водосборной тер-

ритории бассейна реки Асса-Талас в условиях климатической изменчивости, являющихся стратегическим межгосударственным водным объектом Кыргызской Республики и Республики Казахстан.

Цель исследования — изучить тенденцию изменения гидрологического стока водосборной территории речного бассейна в пространственно-временном масштабе с целью создания базы исследования для обеспечения водной безопасности региона.

Объекты исследования — водосборная территория бассейна реки Асса-Талас, площадью 61910 км², расположена на северо-западе Кыргызской Республики и юго-западе Республики Казахстан, с севера они ограничены Кыргызским хребтом, на юге — Таласским-Ала-Тоо [1].

Река Талас, протекающая по территории Кыргызской Республики и Республики Казахстан, площадью водосбора 52700 км² и длиной 661 км, образуется от слияния рек Каракол и Уч-Кошой, берущих свое начало в ледниках Таласского хребта Кыргызской Республики.

Река Асса образуется слиянием рек Терс и Куркуреу-Суу на границе Кыргызской Республики и Республики Казахстан, площадь водосборного бассейна — 9210 км², и длина реки составляет 253 км, которая впадает в пустынный водоприемник (теряется в песках Мойынкум), где происходит слияние рек Асса и Талас.

Материалы и методы исследования

Для выявления особенностей формирования гидрологического стока в водосборной территории бассейна реки Асса-Талас проанализирована в пространственном и временном аспектах динамика среднего годового расхода воды реки Талас по гидрологическим постам Караой, Кировское, Покровка, Жасоркент, Трудовой пахарь, Жимбет и Учарал, реки Куркуреу-Суу по гидрологическим постам Чон-Кургак и Маймак, реки Асса, Терс, Коктал, Шабакты, Тамды и Беркуты, соответственно по гидрологическим постам Маймак, Нурлыкент, Карашат, Карашабакты, Каратау и Карла Маркса. Для создания информационно-аналитической базы исследования использованы материалы гидрологических ежегодников [2–8] и «Шу-Таласская бассейновая инспекция по регулированию использования и охраны водных ресурсов (Отчет о деятельности)» Комитета по водным ресурсам Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан.

Для пространственно-временной оценки многолетних колебаний годового стока бассейна реки Асса-Талас представляется возможным использовать ряд методов гидрологического расчета, базирующихся на математической статистике [9, 10]:

- при формировании базы исследования по гидрологическому режиму рек восстановили пропуски временных рядов наблюдений за среднегодовым расходом, были использованы методы гидрологической аналогии с помощью наблюдений на ином реки со схожими природными условиями, то есть $Q_i = f(Q_{ai})$, где Q_i — среднегодовые расходы воды реки; Q_{ai} — среднегодовые расходы воды реки-аналога [9];

- методы линейных трендов, позволяющих при наличии временного ряда измеренного гидрологического процесса, то есть $Q_i = a \cdot N_i + b$ (где Q_i — исследуемая переменная или зависимая переменная (например, среднегодовой расход воды реки, м³/с); a — точка пересечения с осью Q_i на графике (минимальный уровень); b — показатель, характеризующий увеличение следующее значение временного ряда; N_i — номер периода или порядковый номер года, позволяющий выявить тенденцию (увеличение или уменьшение) однонаправленное или монотонное изменение средней многолетней величины расхода воды реки [10];

- суммарная интегральная кривая среднегодового расхода воды — последовательность нарастания значений среднегодового расхода воды за рассматриваемый период времени (n), то есть $\sum_{i=1}^n Q_i$, для выявления природных и антропогенных факторов на гидрологический режим реки [11];

- разностная интегральная кривая стока, представляющая собой нарастающую сумму отклонений модульных коэффициентов среднегодового расхода воды от среднего многолетнего значения временного ряда на конец каждого года, то есть $\sum_{i=1}^n (k_i - 1)$ (где k_i — модульные коэффициенты, которые вычисляются выражением (А.А. Волчек и др., 2019, 84 с.); $k_i = Q_i / Q_{cp}$, где Q_{cp} — среднеарифметическое значение ряда среднегодовых расходов воды, определяемое по формуле: $Q_{cp} = \sum_{i=1}^n Q_i / n$, здесь n — число членов ряда, характеризующих циклические колебания среднегодового расхода воды реки [10];

- кривая обеспеченности (вероятность превышения) — интегральная кривая, показывающая обеспеченность превышения (в % или в долях единиц) случайной величины среди общей совокупно-

сти ряда: $P = [m/(n + 1)]$, где m — порядковый номер величин в рассматриваемом ряду; n — количество значений в ряду, или число лет наблюдений за рассматриваемой характеристикой [10].

Все гидрологические расчеты выполнены по электронной таблице 2000, и построение графиков с использованием линейного тренда и в прямоугольных координатах были произведены в программе Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Для выявления особенности формирования гидрологического профиля рек в водосборной территории бассейна Асса-Талас создана база гидрологических исследований с использованием многолетних информационно-аналитических материалов гидрологических постов РГП «Казгидромет» за 1925–2020 годы и недостающих данных наблюдений временного ряда восстановлены на основе метода гидрологической аналогии в рамках речного бассейна (табл. 1):

- в зоне формирования и регулирования стока с помощью строительства водохранилища в бассейне реки Талас в пределах Кыргызской Республики использованы наблюдения гидрологических постов Караой, Кировское и Покровка, а в зоне использования водных ресурсов в пределах Республики Казахстан — Жасоркенет, Трудовой пахарь, Жиенбет и Учарал;

- в зоне формирования и регулирования стока с помощью водохранилища бассейне реки Талас в пределах Кыргызской Республики использованы наблюдения гидрологических постов Чон-Кургак и Маймак в реках Куркуреу-Суу и Нурлыкент в реках Терс, а в зоне использования водных ресурсов Маймак в реке Асса, Каратау в реке Тамды, Карла-Маркса в реке Беркуты, Карашат в реке Коктал и Карашабакты в реке Шабакты.

Т а б л и ц а

Регрессионные модели, характеризующие зависимости среднегодовых расходов между гидрологическими постами основных рек в водосборе бассейна Асса-Талас

Исследуемый пункт (река и гидрологический пост)	Характеристика периода	Уравнение регрессии	Годы совместных наблюдений	Коэффициент регрессии
Река Талас – село Кировское (пункт–аналог)				
Талас – село Караой	естественный	$Q_i = 0,506 \cdot Q_{ai} + 0,117$	1940–1974	0,8116
	технический	$Q_i = 0,063 \cdot Q_{ai} + 6,859$	1992–2020	0,7489
Талас – село Покровка	естественный	$Q_i = 1,079 \cdot Q_{ai} + 11,41$	1940–1974	0,9049
	технический	$Q_i = 0,210 \cdot Q_{ai} + 11,33$	1992–2020	0,8495
Река Талас – село Жасоркенет (пункт–аналог)				
Талас – Трудовой пахарь	естественный	$Q_i = 1,096 \cdot Q_{ai} - 5,442$	1940–1974	0,8650
	технический	$Q_i = 0,823 \cdot Q_{ai} - 2,239$	1992–2020	0,8662
Талас – село Жиенбет	естественный	$Q_i = 0,960 \cdot Q_{ai} - 2,597$	1940–1974	0,8392
	технический	$Q_i = 0,394 \cdot Q_{ai} - 0,185$	1992–2020	0,8952
Талас- село Учарал	естественный	$Q_i = 0,508 \cdot Q_{ai} + 0,449$	1940–1974	0,8367
	технический	$Q_i = 0,342 \cdot Q_{ai} - 1,786$	1992–2020	0,9079
Река Асса – село Маймак (пункт–аналог)				
Куркуреу – Суу – Чон – Кургак	естественный	$Q_i = 0,173 \cdot Q_{ai} + 3,925$	1940–1974	0,8171
	технический	$Q_i = 0,081 \cdot Q_{ai} + 0,464$	1992–2020	0,8147
Куркуреу –Суу – Маймак	естественный	$Q_i = 0,082 \cdot Q_{ai} + 1,359$	1940–1974	0,8171
	технический	$Q_i = 0,081 \cdot Q_{ai} + 0,464$	1992–2020	0,8147
Терс – село – Нурлыкент	естественный	$Q_i = 0,497 \cdot Q_{ai} - 0,153$	1940–1974	0,9883
	технический	$Q_i = -0,289 \cdot Q_{ai} + 6,183$	1992–2020	0,8266
Терс – село – Нурлыкент (пункт -аналог)				
Тамды – город Каратау	естественный	$Q_i = 0,175 \cdot Q_{ai} + 0,445$	1940–1974	0,8322
	технический	$Q_i = 0,187 \cdot Q_{ai} - 0,281$	1992–2020	0,8494
Буркетты – село Карла Маркса	естественный	$Q_i = 0,122 \cdot Q_{ai} - 0,318$	1940–1974	0,9120
	технический	$Q_i = 0,035 \cdot Q_{ai} - 0,202$	1992–2020	0,8406
Коктал – село Карашат	естественный	$Q_i = 0,353 \cdot Q_{ai} - 0,791$	1940–1974	0,8182
	технический	$Q_i = -0,003 \cdot Q_{ai} + 0,49$	1992–2020	0,8138
Шабакты – Карашабакты	естественный	$Q_i = 0,595 \cdot Q_{ai} - 1,356$	1940–1974	0,8328
	технический	$Q_i = 0,196 \cdot Q_{ai} + 1,312$	1992–2020	0,8142

Для оценки пространственно-временного колебания среднегодового расхода воды реки в водосборе бассейна Асса-Талас и долгосрочного прогнозирования их, с позиции анализа причин и возможных последствий для водной безопасности и жизнеобеспеченности населений региона, использован метод линейного тренда, где построение их графиков были произведены в программе Microsoft Excel (рис. 1–4).

Анализ тенденции изменения среднегодового расхода воды рек в водосборной территории бассейна Асса-Талас в зоне формирования, регулирования и использования гидрологического стока показал, что, несмотря на общую значительную вариабельность по годам, для всех рек общие закономерности изменения гидрологического режима не соблюдаются.

В зоне формирования гидрологического стока реки Талас, по данным гидрологического поста Караой, расположенного ниже слияния рек Каракол и Уч-Кошой, тенденция изменения среднегодового расхода воды за рассматриваемый период 1925–2020 годы отрицательный, то есть составляет $-6,46 \text{ м}^3/\text{с}$ за 96 лет с интенсивностью $0,0673 \text{ м}^3/\text{св год}$ (рис. 1).

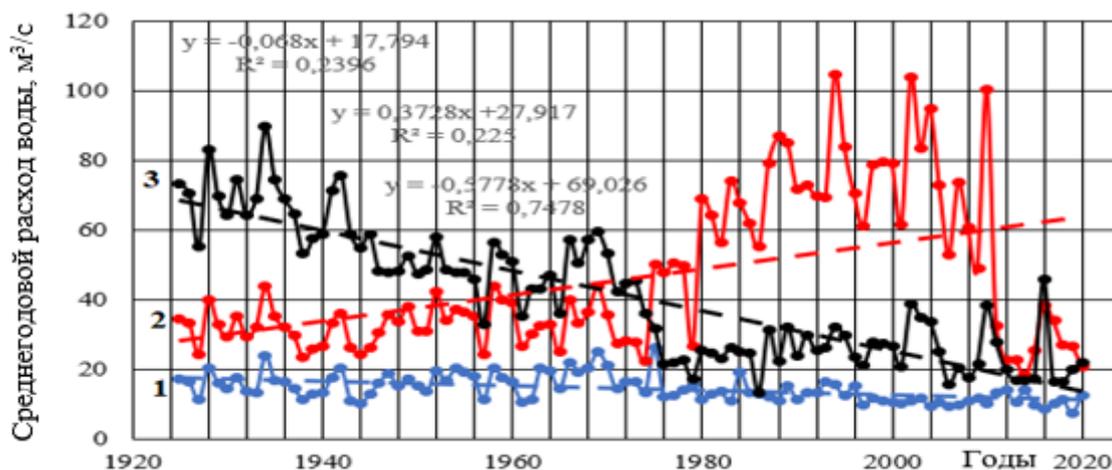


Рисунок 1. График изменения среднегодового расхода воды реки Талас в гидрологических постах Караой (1), Кировское (2) и Покровка (3) за 1925–2020 годы и его линейный тренд

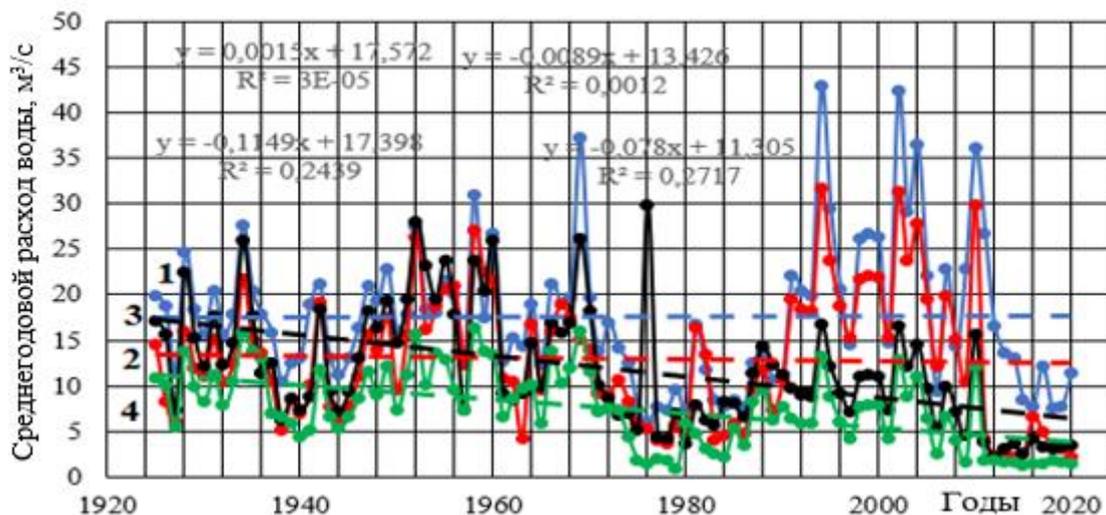


Рисунок 2. График изменения среднегодового расхода воды реки Талас в гидрологических постах Жасоркенет (1), Трудовой пахарь (2), Жиенбет (3) и Учарал (4) за 1925–2020 годы и его линейный тренд

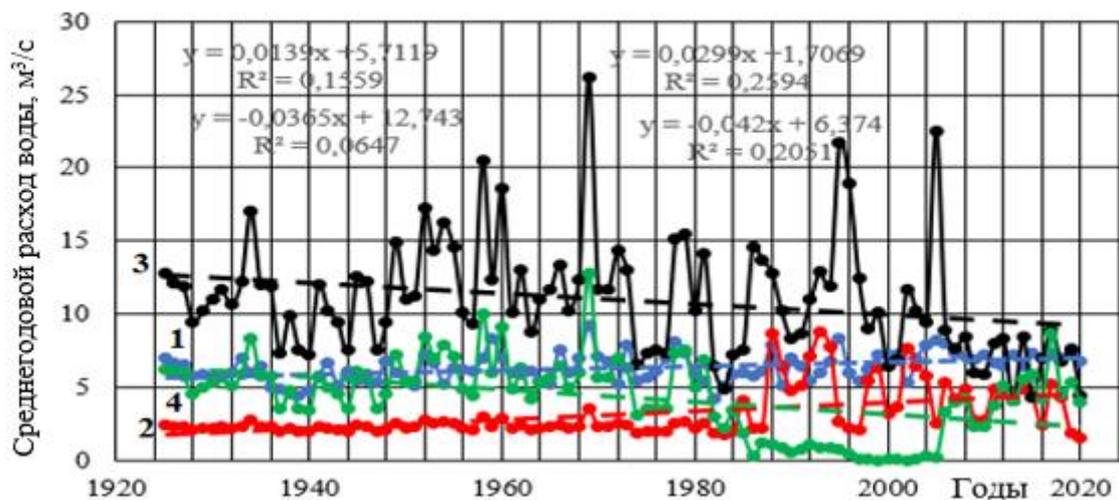


Рисунок 3. График изменения среднегодового расхода воды реки Куркуреу–Суу в гидрологических постах Чон–Кургак (1), Маймак (2), реки Ассы в гидрологическом посту Маймак (3) и реки Терс в гидрологическом посту Нурлыкент (4) за 1925–2020 годы и его линейный тренд

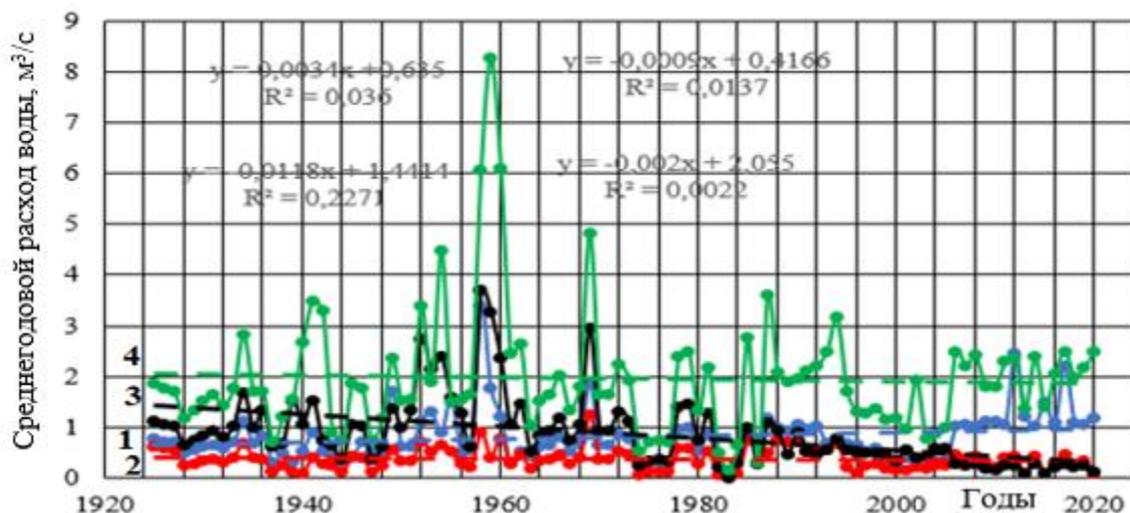


Рисунок 4. График изменения среднегодового расхода воды реки Тамды в гидрологическом посту Каратау (1), реки Беркуты в гидрологическом посту Карл Маркс (2), реки Коктал в гидрологическом посту Карашат (3) и реки Шабакты в гидрологическом посту Карашабакты (4) за 1925–2020 годы и его линейный тренд

В зоне регулирования гидрологического стока реки Талас, где подпитываются притоком реки Колба (площадь водосбора (F) 218,0 км², средний многолетний расход (Q_i) 1,69 м³/с), Беш-Таш (F = 314,0 км² и Q_i = 3,54 м³/с), Ур-Марал (F = 1130,0 км² и Q_i = 8,59 м³/с), Кумуш-Так (F = 333,0 км² и Q_i = 2,68 м³/с), Кара-Бура (F = 797,0 км² и Q_i = 3,68 м³/с), Кен-Кол (F = 406,0 км² и Q_i = 2,42 м³/с) и Нылды (F = 281,0 км² и Q_i = 0,72 м³/с), тенденция изменения среднегодового расхода воды ниже Кировского водохранилища многолетнего регулирования (гидрологический пост Кировское) за рассматриваемый период (1925–2020) положительный, то есть составляет 35,44 м³/с за 96 лет с интенсивностью 0,369 м³/с в год и в сравнении с гидрологическим постом Караой среднегодовой расход воды увеличивается два-три раза, особенно в период 1980–2012 гг., что связано с интенсивным таянием ледников и изменением климата Таласского хребта Кыргызской Республики (рис. 1).

Анализ динамики среднегодового расхода воды реки Талас в створе гидрологического поста Покровка, то есть в зоне использования водных ресурсов в пределах Кыргызской Республики, тенденция изменения среднегодового расхода воды за рассматриваемый период (1925–2020) отрицательный, то есть составляет –13,54 м³/с за 96 лет с интенсивностью 0,1410 м³/с в год (рис. 1).

В зоне использования водных ресурсов реки Талас в пределах Республики Казахстан тенденция изменения среднегодового расхода воды за рассматриваемый период 1925–2020 гг. в гидрологических постах Жасоркенет и Трудовой пахарь положительный, то есть соответственно составляет 0,14 м³/с и 0,85 м³/с за 96 лет с интенсивностью 0,0015 м³/с и 0,0089 м³/с в год, а в гидрологических постах Жиенбет и Учарал, расположенных в зоне magazинирования стока, отрицательный, то есть соответственно составляет –10,93 м³/с и –7,49 м³/с за 96 лет с интенсивностью 0,114 м³/с и 0,078 м³/с в год, где изменения гидрологического режима реки происходит симметрично и последовательно-пропорционально в пространственно-временном масштабе (рис. 2).

Анализ динамики формирования гидрологического стока в водосборной территории бассейна реки Куркуреу-Суу показал, что, в гидрологических постах Чон-Кургак, расположенного в зоне формирования стока и Маймак, расположенного в устье выше до слияния рекой Терс (рис. 3) в пределах Кыргызской Республики, тенденция изменения среднегодового расхода воды за рассматриваемый период (1925–2020) положительный, то есть соответственно составляет 1,33 м³/с и 2,85 м³/с за 96 лет с интенсивностью 0,014 м³/с и 0,030 м³/с в год.

Анализ динамики формирования гидрологического стока реки Терс в створе гидрологического поста Нурлыкент, расположенного выше Терс-Ащыбулакского водохранилища и реки Асса в створе гидрологического поста Маймак, расположенного ниже слияния реки Терс и Куркуреу-Суу, тенденция изменения среднегодового расхода воды за рассматриваемый период (1925–2020) отрицательный, то есть соответственно составляет –3,99 м³/с и –3,42 м³/с за 96 лет с интенсивностью 0,042 м³/с и 0,036 м³/с в год (рис. 3).

Тенденция изменения среднегодового расхода воды рек Тамды, Беркуты, Коктал и Шабакты, расположенных в водосборной территории реки Асса, берущих начало в северных склонах хребта Каратау, где источниками питания являются снежные покровы и атмосферные осадки, отрицательный и за рассматриваемый период (1925–2020) отрицательный, то есть соответственно составляет –0,29 м³/с, –0,10 м³/с, –1,14 м³/с и –0,19 м³/с за 96 лет с интенсивностью 0,003 м³/с, 0,001 м³/с, 0,012 м³/с и 0,002 м³/с в год (рис. 4).

На основе анализа и обработки гидрологического показателя восьми рек в водосборной территории бассейна реки Асса-Талас по пятнадцатым гидрологическим постам методом линейного тренда получены гидрологические модели, из которых в пяти гидрологических постах — положительные и в девяти гидрологических постах — отрицательные по набору переменных, характеризующих условия формирования гидрологического стока (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Гидрологические модели изменения среднегодовых расходов воды в пространственно-временном масштабе в водосборной территории бассейна рек Асса-Талас

Река	Гидрологический пост	Уравнение линейных трендов	Изменение показателей (м ³ /с)
Талас	Караой	$Q_i = -0,068 \cdot N_i + 17,794$	- 6,46
	Кировское	$Q_i = 0,373 \cdot N_i + 27,917$	35,44
	Покровка	$Q_i = -0,578 \cdot N_i + 69,026$	-13,54
	Жасоркенет	$Q_i = 0,0015 \cdot N_i + 17,572$	0,14
	Трудовой пахарь	$Q_i = 0,0089 \cdot N_i + 13,426$	0,85
	Жиенбет	$Q_i = -0,115 \cdot N_i + 17,398$	-10,93
	Учарал	$Q_i = -0,078 \cdot N_i + 11,305$	-7,49
Куркуреу-Суу	Чон-Кургак	$Q_i = 0,014 \cdot N_i + 5,712$	1,33
	Маймак	$Q_i = 0,030 \cdot N_i + 1,707$	2,85
Асса	Маймак	$Q_i = -0,036 \cdot N_i + 12,743$	-3,42
Терс	Нурлыкент	$Q_i = -0,042 \cdot N_i + 6,734$	- 3,99
Тамды	Каратау	$Q_i = -0,003 \cdot N_i + 0,685$	- 0,29
Беркуты	Карла Маркса	$Q_i = -0,001 \cdot N_i + 0,417$	- 0,10
Коктал	Карашат	$Q_i = -0,012 \cdot N_i + 1,441$	-1,14
Шабакты	Карашабакты	$Q_i = -0,002 \cdot N_i + 2,055$	-0,19

Для анализа и выявления влияния природных и антропогенных факторов на гидрологический режим рек в водосборной территории бассейна Асса-Талас использован статистический метод, поз-

воляющий приближенно оценивать их однородность за рассматриваемый период графико-аналитическим способом, путем построения суммарных интегральных кривых среднегодового расхода воды, которые произведены в программе Microsoft Excel (рис. 5–8).

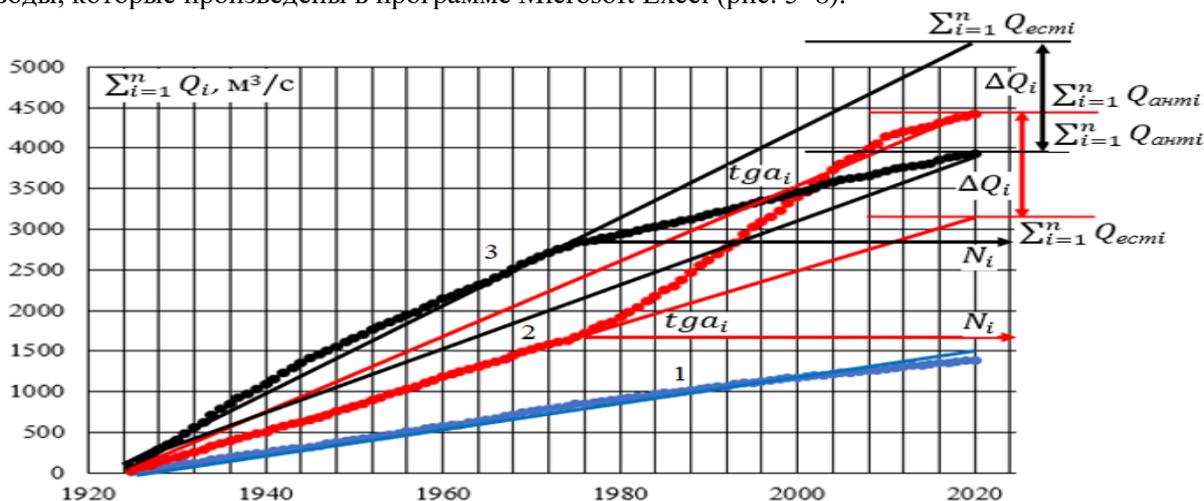


Рисунок 5. График суммарной интегральной кривой среднегодового расхода воды реки Талас в гидрологических постах Караой (1), Кировское (2) и Покровка (3) на территории Кыргызской Республики

Для определения приблизительной точки перелома временного ряда за рассматриваемый период проводим касательную прямую линии суммарной интегральной кривой, характеризующей последовательность нарастания среднегодового расхода воды рек от начало рассматриваемого периода.

При этом касательная прямая линия в определенной степени характеризует последовательность нарастания естественного среднегодового расхода воды рек ($\sum_{i=1}^n Q_{естi}$), а прямая линия, соединяющаяся с суммарной интегральной кривой начало и конец рассматриваемого периода, характеризует последовательность нарастания антропогенного среднегодового расхода воды ($\sum_{i=1}^n Q_{анти}$) и по их разнице определяют увеличение или уменьшение среднегодового расхода воды ΔQ_i рассматриваемого периода:

- если $\sum_{i=1}^n Q_{естi} < \sum_{i=1}^n Q_{анти}$, тогда $\Delta Q_i = \sum_{i=1}^n Q_{анти} - \sum_{i=1}^n Q_{естi}$;
- если $\sum_{i=1}^n Q_{естi} > \sum_{i=1}^n Q_{анти}$, тогда $\Delta Q_i = \sum_{i=1}^n Q_{естi} - \sum_{i=1}^n Q_{анти}$.

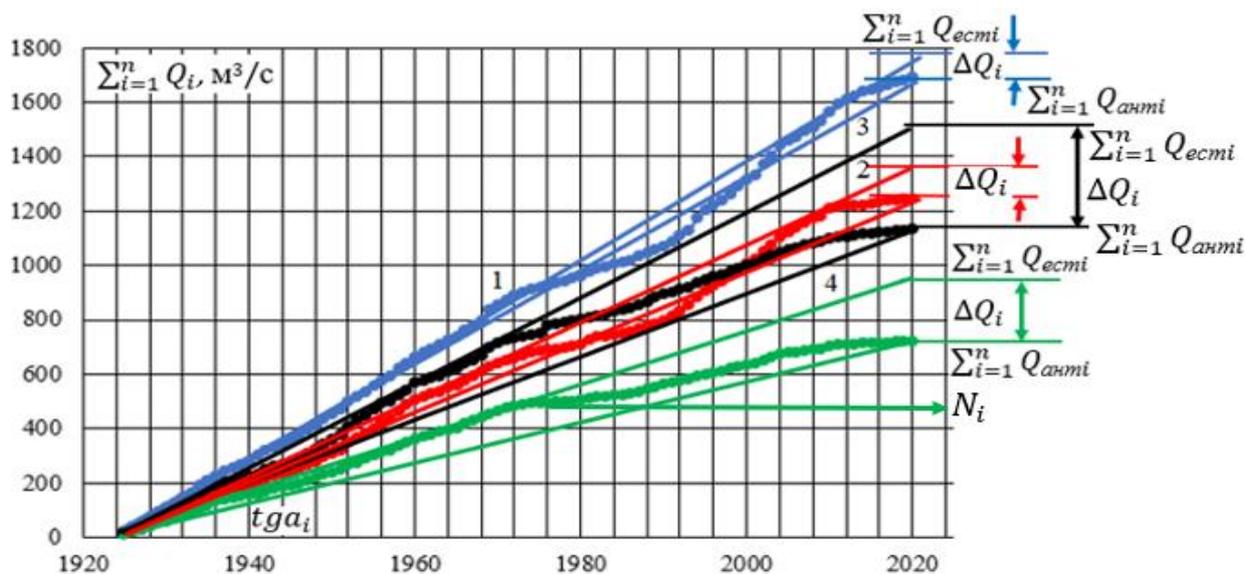


Рисунок 6. График суммарной интегральной кривой среднегодового расхода воды реки Талас в гидрологических постах Жасоренет (1), Трудовой пахарь (2), Жиенбет (3) и Учарал (4) на территории Республики Казахстан

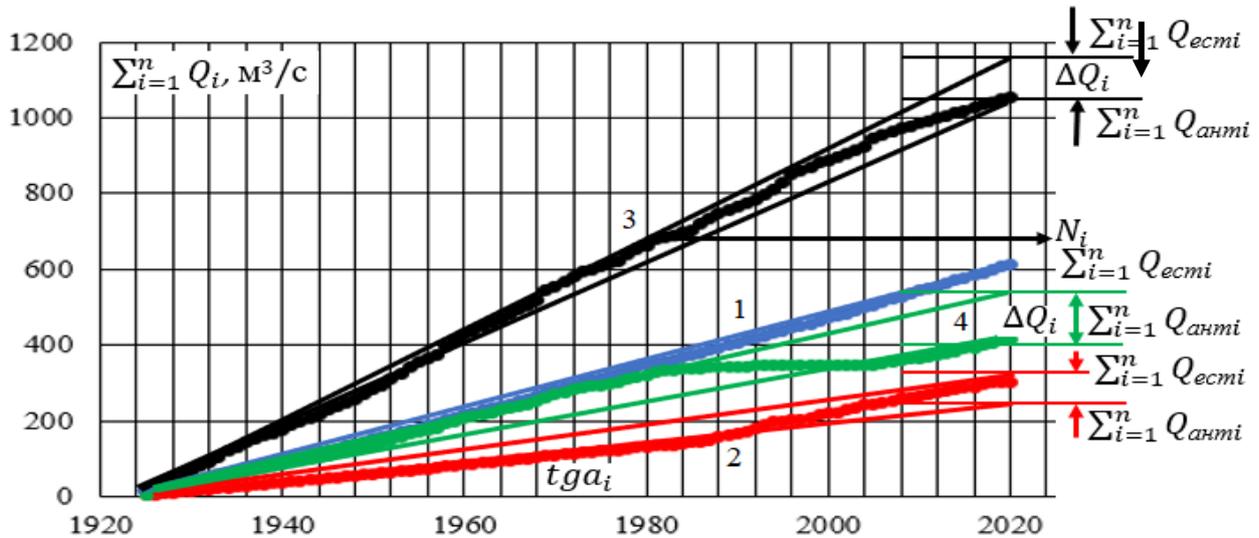


Рисунок 7. График суммарной интегральной кривой среднегодового расхода воды реки Куркуреу-Суу в гидрологических постах Чон-Кургак (1) и Маймак (2) в пределах Кыргызской Республики, реки Асса в гидрологическом посту Маймак (3) и реки Терс в гидрологическом посту Нурлыкент (4) на территории Республики Казахстан

В свою очередь тангенс угла наклона линий (tga_i), соединяющий две точки на суммарной интегральной кривой, равен среднегодовому расходу воды реки ($\Delta Q_{срi}$) на выбранном интервале времени (N_i) и тангенс угла наклона, касательный к суммарной интегральной кривой, равен расходу (ΔQ_i) данного момента времени, характеризующий их математический смысл, то есть $\lim(\Delta Q_i/\Delta N_i) = d\Delta Q_i/d\Delta N_i = tga$. При этом физический смысл тангенса угла наклона линий (tga_i), представляет не только статистический признак формирования временного ряда гидрологического стока, но и является индикатором физического процессов на территории водосбора речного бассейна, демонстрируя влияние природных и антропогенных факторов.

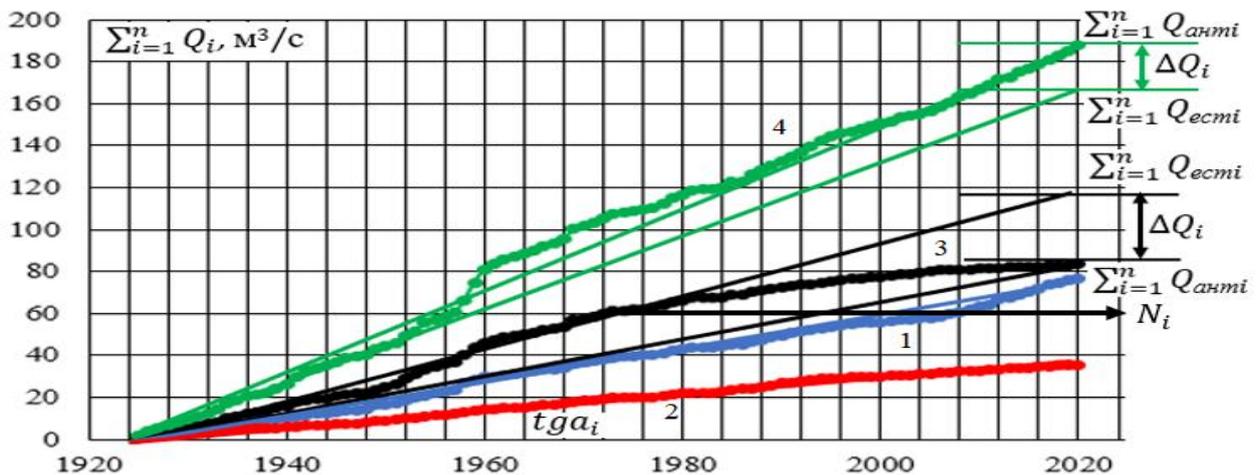


Рисунок 8. График суммарной интегральной кривой среднегодового расхода воды реки Тамды в гидрологическом посту Каратау (1), реки Беркуты в гидрологическом посту Карл Маркс (2), реки Коктал в гидрологическом посту Карашат (3) и реки Шабакты в гидрологическом посту Карашабакты (4)

Анализ суммарных интегральных кривых среднегодового расхода воды рек в водосборной территории бассейна Асса-Талас показал (рис. 5–8), что временный ряд среднегодового расхода воды рек за рассматриваемый период (1925–2020) можно разбить на две квазиоднородные совокупности с проломной точкой, характеризующей переход от природной на антропогенные деятельность речных бассейнов:

- бассейна реки Талас, только в створе гидрологического поста Караой суммарная интегральная кривая среднегодового расхода воды представляет собой идеальную прямую (рис. 5), что говорит о стабильности среднегодового расхода воды за период наблюдений, в гидрологических постах Кировское, Покровка, Жасоркент, Трудовой пахарь, Жиенбет и Учарал, расположенных ниже Кировское водохранилища, многолетнего регулирования наблюдается с 1975 года нарушения однородности среднегодового расхода воды рек от начало рассматриваемого периода (рис. 5, 6);

- бассейна реки Асса, суммарная интегральная кривая среднегодового расхода воды реки Куркуреу-Суу в гидрологических постах Чон-Кургак и Маймак, а также в реках Тамды и Беркуты представляет собой относительно прямую линию (рис. 7, 8), что характеризует стабильность формирования гидрологического стока, а по реке Асса (гидрологический пост Маймак), Терс, Коктал и Шабакты наблюдается с 1975 г. нарушения однородности среднегодового расхода воды рек от начало рассматриваемого периода, что связано со строительством водохранилища Терс-Ащибулак на реке Терс и Ынтылы и реке Шабакты сезонного регулирования.

Оценка изменений водности рек на территории водосбора бассейна Асса-Талас и синхронности или асинхронности ее многолетних колебаний выполнена на основе нормирования разностных интегральных кривых модульных коэффициентов среднегодового расхода воды с использованием методов разностно-интегральных кривых (рис. 9, 10):

- изучения многолетних колебаний среднегодового расхода воды бассейна реки Талас за рассматриваемый период (1925–2020) по гидрологическим постам с применением рассмотренных выше приемов показали об отсутствии общей закономерности, то есть во всех гидрологических постах кроме Кировское с 1925 до 1975 гг. наблюдается многоводный цикл, а после этого начинается до настоящего времени маловодный цикл, но с различиями в сроках наступления фаз и амплитуды циклических колебаний;

- исследования многолетних колебаний среднегодового расхода воды бассейна реки Куркуреу-Суу в гидрологических постах Чон-Кургак и Маймак, а также в реках Асса, Терс, Тамды, Беркуты, Коктал и Шабакты показали, что за рассматриваемый период наблюдается в определенной степени строгая периодичность в колебаниях гидрологического стока, то есть в общих чертах с 1925 до 1975 г. проходит многоводный цикл, а с 1976 г. до настоящего времени ярко выраженный маловодный цикл.

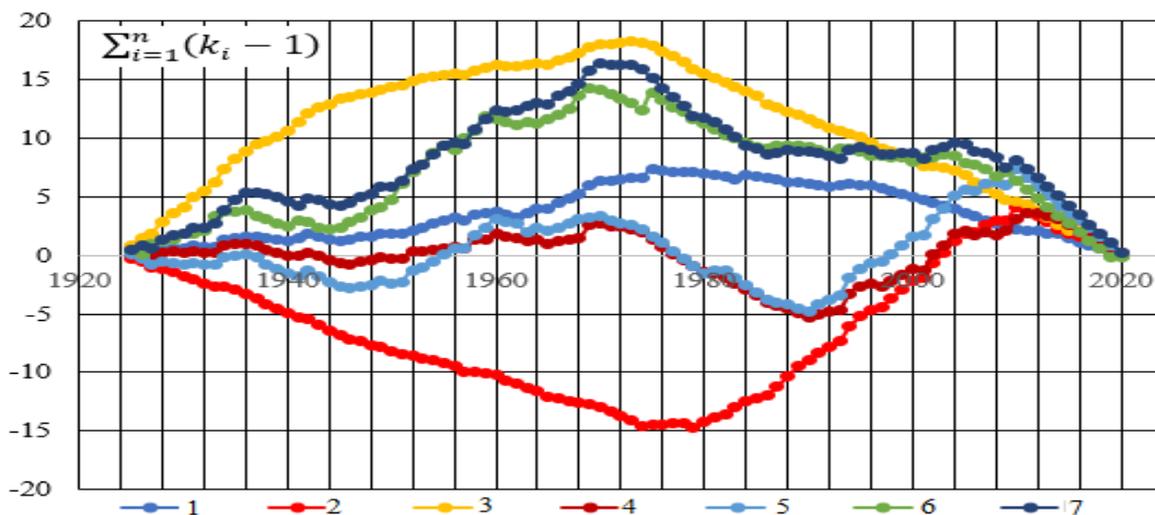


Рисунок 9. Разностно-интегральная кривая среднегодового расхода воды реки Талас по гидрологическим постам Караой (1), Кировское (2), Покровка (3), Жасоркент (4), Трудовой пахарь (5), Жиенбет (6) и Учарал (7) за 1925–2020 гг. и оценки водности (репрезентивности)

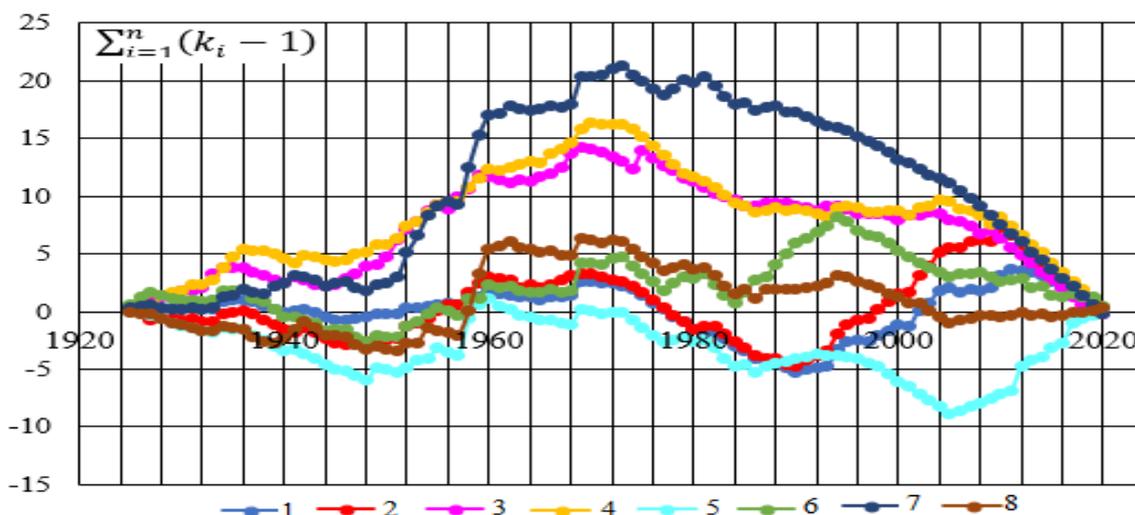


Рисунок 10. Разностно-интегральная кривая среднегодового расхода воды реки Куркуреу-Суу по гидрологическим постам Чон-Кургак (1) и Маймак (2), реки Терс (3), Асса (4), Тамды (5), Беркуты (6), Коктал (7) и Шабакты (8) за 1925–2020 гг. и оценки водности (репрезентивности)

Таким образом, сопоставление синхронности или асинхронности колебаний водности рек на территории водосбора бассейна Асса-Талас и анализ ее на основе построения разностно-интегральных кривых среднегодового расхода воды с использованием программы Microsoft Excel позволяют выделить на графиках многоводный цикл рассматривающих как группу последовательных значений среднегодового расхода воды, превышающих среднее арифметическое значение (норму), а маловодный цикл — группу пониженных значений.

Для установления закономерностей колебания среднегодового расхода воды рек на территории водосбора бассейна Асса-Талас были применены кривые обеспеченности, характеризующие вероятность превышения рассматриваемого ее значения в многолетнем ряду и параметризацию их статистических характеристик, выполненных на основе коэффициентов вариации (C_v) и асимметрии (C_s) [10] (рис. 11, 12):

$$C_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2 / (n - 1)};$$

$$C_s = [n \cdot \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3] / [(n - 1)(n - 2) \cdot C_v^3].$$

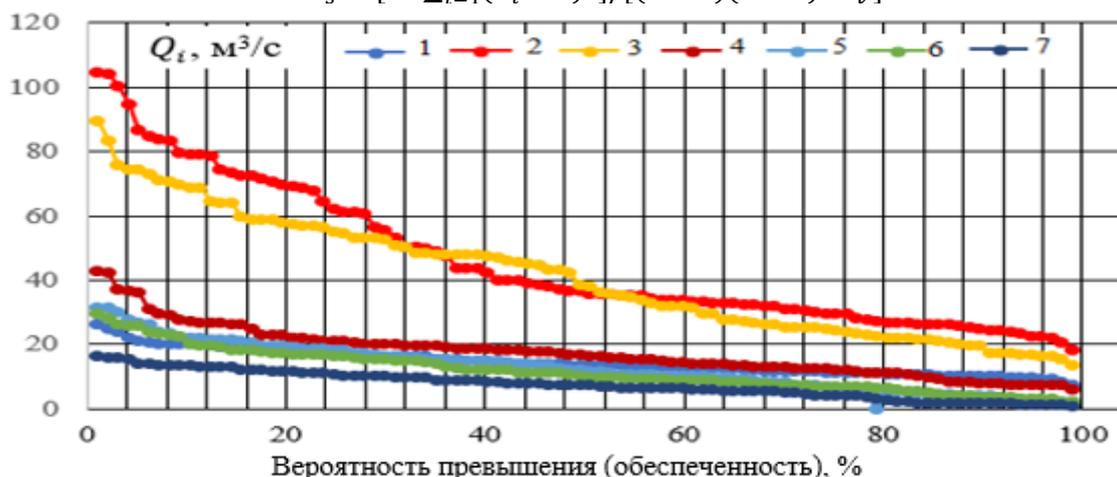


Рисунок 11. Эмпирическая кривая обеспеченности среднегодового расхода воды реки Талас по гидрологическим постам Караой (1), Кировское (2), Покровка (3), Жасоркенет (4), Трудовой пахарь (5), Жиенбет (6) и Учарал (7)

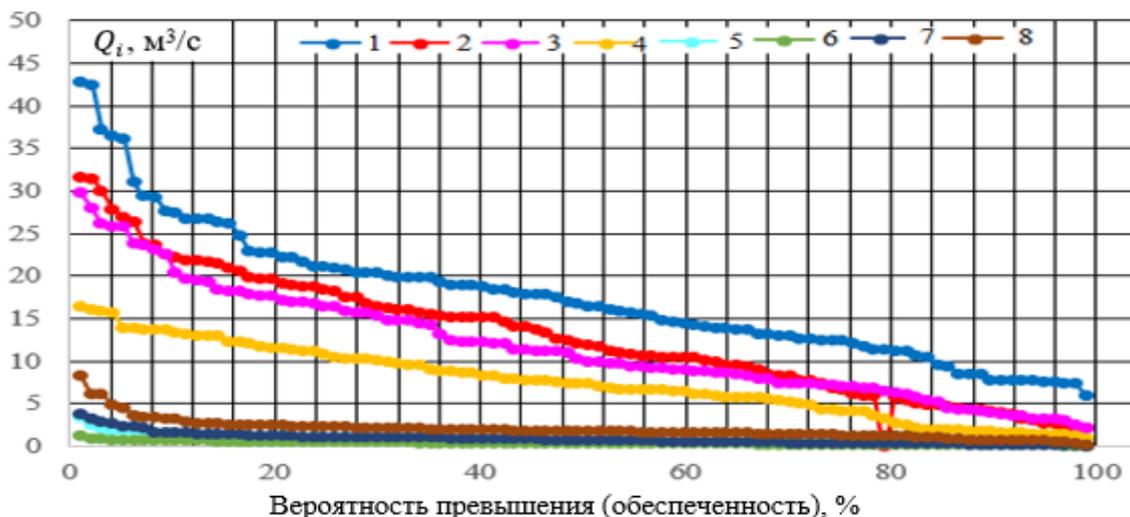


Рисунок 12. Эмпирическая кривая обеспеченности среднегодового расхода воды реки Куркуреу-Суу по гидрологическим постам Чон-Кургак (1) и Маймак (2) и рек Асса (3), Терс (4), Тамды (5), Беркуты (6), Коктал (7) и Шабакты (8)

Функция распределения среднегодового расхода воды реки Талас по гидрологическим постам Караой, Кировское, Покровка, Жасоркенет, Трудовой пахарь, Жиенбет и Учарал представляет собой преобразование случайной измеренной характеристики в новую (рис. 11), распределенную по известному вероятностному закону, описывающееся экспоненциальными или полиномиальными уравнением пятого порядка, отличающиеся по набору переменных.

Функция распределения среднегодового расхода воды реки Куркуреу-Суу по гидрологическим постам Чон-Кургак и Маймак и рек Асса, Терс, Тамды, Беркуты, Коктал и Шабакты, подчиняющегося вероятностному закону, описывающемуся экспоненциальными или полиномиальными уравнениями пятого порядка, отличающемуся только количественными значениями переменных, можно предположить, что является расположением их в одном географическом регионе и при этом не имеющее принципиальных природных особенностей.

При этом для оценки сходимости эмпирических оценок к соответствующему пределу использованы многолетние наблюдения среднегодового расхода воды рек на территории водосбора бассейна Асса-Талас, имеющие интервал наблюдений 96 лет с последовательно вычислением значения коэффициентов вариации и асимметрии, значения среднегодового расхода воды рек 5, 25, 50, 75 и 95 % обеспеченности (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Статистические характеристики средних годовых расходов воды рек в водосборе бассейна Асса-Талас

Гидрологический пункт	Коэффициент		Расход воды (м³/с) различной обеспеченности, %				
	C_v	C_s	5	25	50	75	95
Река Талас							
Караой	0,267	0,756	21,20	16,90	13,50	11,30	9,80
Кировское	0,476	0,979	86,80	61,40	35,90	29,50	22,70
Покровка	0,454	0,459	74,30	55,10	38,20	24,50	16,70
Жасоркенет	0,443	1,070	36,10	21,10	16,50	12,40	7,50
Трудовой пахарь	0,560	0,505	27,00	18,50	11,90	6,60	2,60
Жиенбет	0,549	0,735	25,90	16,50	10,20	7,10	3,30
Учарал	0,556	0,197	13,90	10,90	7,30	4,20	1,40
река Куркуреу-Суу							
Чон-Кургак	0,154	0,208	8,10	7,00	6,20	5,70	4,90
Маймак	0,517	1,800	7,10	3,63	2,38	2,21	1,90
река Асса							
Маймак	0,364	1,142	18,93	12,76	10,29	7,64	5,94

река Терс							
Нурлыкент	0,596	0,120	8,41	5,90	4,57	2,32	0,07
река Тамды							
Каратау	0,630	2,200	1,77	1,03	0,69	0,48	0,29
река Беркуты							
Карл-Маркс	0,591	0,941	0,75	0,52	0,36	0,22	0,08
Река Коктал							
Карашат	0,794	1,821	2,38	1,08	0,74	0,37	0,16
Карашабакты							
Карашабакты	0,623	2,489	4,48	2,36	1,76	1,31	0,66

Физический смысл коэффициента вариации (C_v) среднегодового расхода воды (Q_i) той или иной реки характеризует степень их изменчивости, то есть чем больше C_v , тем больше изменчивость Q_i и, как правило, возрастает от более влажных к менее влажным районам. Эта природная закономерность четко проявляется в водосборной территории бассейна реки Асса-Талас, где источниками питания в зонах формирования стока реки Талас в створах Карой и Куркуреу-Суу в створах Чон-Кургак являются ледники и атмосферные осадки горной системы Таласским-Ала-Тоо, коэффициента вариации (C_v) среднегодового расхода воды (Q_i) соответственно составляют 0,267 и 0,154.

Коэффициент вариации (C_v) среднегодового расхода воды (Q_i) в зоне регулирования и использования водных ресурсов реки Талас, по данным гидрологических постов Кировское, Покровка, Жасоркенет, Трудовой пахарь, Жиенбет и Учарал, расположенных в среднем течении (предгорной зоне) и зоне магазинирования (южной пустынной зоне) поверхностного стока количественное значение соответственно в пространственном масштабе увеличивается и составляет 0,476, 0,454, 0,443, 0,560, 0,546 и 0,556 (табл. 3).

В водосборной территории реки Куркуреу-Суу по гидрологическим постам Маймак и рек Асса (Маймак), Терс (Нурлыкент), Тамды (Каратау), Беркуты (Карла Маркса), Коктал (Карашат) и Шабакты (Карашабакты), расположенных в предгорной зоне хребта Таласского-Ала-Тоо и склонах Каратау, где поверхностные стоки формируются за счет атмосферных осадков, таянием снежного покрова и грунтовых вод и зонам магазинирования является пески Мойынкум, коэффициент вариации (C_v) среднегодового расхода воды (Q_i) соответственно составляет 0,517; 0,596; 0,630; 0,591; 0,796 и 0,628 (табл. 3).

Асимметричность кривой распределения среднегодового расхода воды (Q_i) характеризуется коэффициентом асимметрии (C_s) и показывают центр распределения его насколько смещены относительно моды (величина признака временного ряда, которые наиболее часто встречается в данной совокупности) и медианы (значения признака, которые находятся на середину временного ряда) в сторону высокого значения среднегодового расхода воды (Q_i) той или иной реки, то есть их количественное значение в пространственном масштабе на территории водосбора бассейна реки Асса-Талас, включающих реки Талас, Куркуреу-Суу, Асса, Терс, Тамды, Беркуты, Коктал и Шабакты изменяются от 0,197 до 2,489 и в определенной степени показывают о наличии прямо пропорциональной зависимости между коэффициентом асимметрии (C_s) и коэффициентом вариации (C_v) (табл. 3).

При этом интегральная кривая распределения среднегодового расхода воды (Q_i) той или иной реки на территории водосбора бассейна Асса-Талас показывает (рис. 11 и 12), что высокий среднегодовой расход воды (Q_i) наблюдается в пределах от 1,0 до 25,0 % обеспеченности, а затем их количественное значение резко снижается, что характерно рекам, где источниками питания являются атмосферные осадки, таяние снежного покрова и грунтовые воды.

Заключение

Изучение для пространственно-временной оценки многолетних колебаний годового стока рек на территории водосбора бассейна Асса-Талас, с использованием методов гидрологической аналогии, линейных трендов, суммарных, разностных и обычных интегральных кривых, базирующихся на математической статистике дало возможность выявить пространственно-временные закономерности изменения среднегодового расхода воды в условиях техноприродной трансформации водных ресурсов водотока:

- тенденция изменения среднегодового расхода воды бассейна реки Талас за рассматриваемый период (1925–2020) отрицательный, где изменения гидрологического режима реки происходит симметрично и последовательно-пропорционально в пространственно-временном масштабе;
- тенденция изменения среднегодового расхода воды бассейна реки Куркуреу-Суу-Асса, за рассматриваемый период (1925–2020), только, кроме гидрологического поста Чон-Кургак, расположенного в зоне формирования стока реки Куркуреу-Суу отрицательный, где источниками питания поверхностного стока являются атмосферные осадки, снежные покровы и грунтовые воды;
- анализ суммарных интегральных кривых среднегодового расхода воды рек в водосборной территории бассейна Асса-Талас показал, что временный ряд среднегодового расхода воды рек за рассматриваемый период (1925–2020) можно разбить на две квазиоднородные совокупности с проломной точкой, характеризующих переход от природных на антропогенные деятельности речных бассейнов, что связано с введением в эксплуатацию Кировского и Терс-Ащыбулакского водохранилищ, многолетнего и сезонного регулирования поверхностного стока;
- оценка изменений водности рек на территории водосбора бассейна Асса-Талас и синхронности или асинхронности ее многолетних колебаний, выполненных на основе нормирования разностных интегральных кривых модульных коэффициентов среднегодового расхода воды с использованием методов разностно-интегральных кривых показала, что во всех гидрологических постах с 1925 по 1975 гг. наблюдается многоводный цикл, а после этого начинается до настоящего времени маловодный цикл, но с различиями всроках наступления фаз и амплитуда циклических колебаний;
- при оценке сходимости эмпирических оценок к соответствующему пределу использованы многолетние наблюдения среднегодового расхода воды рек на территории водосбора бассейна Асса-Талас, имеющих интервал наблюдений 96 лет с последовательно вычислением значения коэффициентов вариации и асимметрии, значения среднегодового расхода воды рек 5, 25, 50, 75 и 95 % обеспеченности, показали, что количественное значение коэффициента вариации увеличивается от горной зоны в сторону южной пустыни, где расположены зоны magazинирования поверхностного стока;
- интегральные кривые распределения среднегодового расхода воды (Q_i) той или иной реки на территории водосбора бассейна Асса-Талас показали, что высокий среднегодовой расход воды (Q_i) наблюдается в пределах от 1,0 до 25,0 % обеспеченности, а затем их количественное значение резко снижается, что характерно рекам, где источниками питания являются атмосферные осадки, таяние снежного покрова и грунтовые воды.

Список литературы

- 1 Мустафаев Ж.С. Обоснование экологических услуг речных бассейнов на примере реки Талас / Ж.С. Мустафаев, Н.А. Турсынбаев, Л.В. Кирейчева. — LAP LAMBERN Academic Publishing, 2022. — 140 с.
- 2 Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1951–1963 гг.) Бассейны озера Иссык-Куль и рек Чу, Талас, Тарим. — Т. 14. Средняя Азия. — Вып. 2. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 80 с.
- 3 Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963–1970 гг.) Бассейны озера Иссык-Куль и рек Чу, Талас, Тарим. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — С. 86–91.
- 4 Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1971–1975 гг.) Бассейны озера Иссык-Куль и рек Чу, Талас, Тарим. — Т.14. Средняя Азия. — Вып. 2. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — С. 90–93.
- 5 Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. — Т. 5. Казахская ССР. — Вып. 3. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — С. 72, 73.
- 6 Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики (за 1985–1990 гг. и весь период наблюдений).. — Т. 5. Казахская ССР. — Вып. 3. — Алматы: Казгидромет, 1997. — С. 73–75.
- 7 Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейны рек Сырдарья, Шу и Талас. — Вып. 3. — Алматы, 2005. — 98 с.
- 8 Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейны рек Шу и Талас. — Алматы, 2015. — Вып. 8. — 82 с.
- 9 Определение расчетных гидрологических характеристик. — СПб.; М., 2004. — 75 с.
- 10 Волчек А.А. Гидрологические расчеты / А.А. Волчек, С.П. Попух, А.А. Волчек. — Минск: Белорус. гос. ун-т, 2019. — 316 с.
- 11 Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток / И.А. Шикломанов. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 333 с.

Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, К.Б. Абдешев, Н.А. Турсынбаев

Асы-Талас су жинау алабының аймағындағы өзендердің техногендік жүргілерді ескергендегі гидрологиялық пішіні

Көпжылдық ақпараттық-талдамалық материалдар негізінде «Қазгидромет» РМК гидрологиялық бекеттері 1925-2020 жылдардағы математикалық статистикаға негізделген гидрологиялық ұқсастық әдісін, сызықтық трендтерді, жиынтық, айырмалық және кәдімгі интегралдық қисықтарды пайдалана отырып, Асы-Талас бассейнінің су жинау аумағындағы өзеннің жылдық ағынының көпжылдық ауытқуларын кеңістіктік-уақыттық бағалауды зерделеу үшін зерттеу базасын құрды. Зерттеулер көрсеткендей, қарастырылып отырған кезеңде, яғни 1925-2020 жылдар аралығында Асы-Талас бассейнінің су жинау аймағындағы өзендердің орташа жылдық су ағынының өзгеру тенденциясы теріс, мұнда өзеннің гидрологиялық режимінің өзгеруі кеңістіктік-уақыттық масштабта симметриялы және дәйекті-пропорционалды түрде жүреді, табиғи белсенділіктен антропогендік белсенділікке көшуді сипаттайтын екі квазибіртекті кезең бар. Асы-Талас бассейнінің су жинау аумағындағы өзендер суының өзгеруін және оның көпжылдық тербелістерінің синхрондылығын немесе бейсинхрондылығын бағалауда 1925 жылдан 1975 жылға дейінгі барлық гидрологиялық бекеттерде көп су циклі байқалған, содан кейін осы уақытқа дейін аз су циклі басталады, бірақ фазалардың басталу уақыты мен циклдік тербелістердің амплитудасының айырмашылықтарына дифференциалды интегралды қисықтар әдісін қолдана отырып, орташа жылдық су ағынының модульдік коэффициенттерінің дифференциалды интегралдық қисықтарын нормалау негізінде орындалды. Сонымен қатар, вариация коэффициентінің сандық мәні таулы аймақтан оңтүстік шөлге қарай артады, жерүсті ағынының және судың орташа жылдық шығынының жинақтау аймақтары орналасқан жерде барлық қарастырылып отырған өзендерде 1,0-ден 25,0%-ға дейін қамтамасыз ету байқалады, содан кейін олардың сандық мәні күрт төмендейді, бұл атмосфералық жауын-шашын, қар жамылғысының еруі және жерасты сулары қоректену көзі болып табылатын өзендерге тән.

Кілт сөздер: гидрологиялық пішін, орташа жылдық су ағынының өтімі, сызықтық тренд, жиынтық, айырымдылық және жай интегралдық қисықтар, көрсеткіш, вариация, асимметрия.

Zh.S. Mustafayev, A.T. Kozykeyeva, K.B. Abdeshev, N.A. Tursynbaev

Hydrological profile of the river in the drainage territory of the Assa-Talas basin in considering technological processes

Based on long-term information and analytical materials, the hydrological posts of the RSE “Kazhydromet” for 1925-2020 created a research base to study the spatial and temporal assessment of long-term fluctuations in the annual river flow in the catchment area of the Assa-Talas basin, using the method of hydrological analogy, linear trends, total, difference and ordinary integral curves, based on mathematical statistics. Studies have shown that the trend of changes in the average annual flow of river water in the catchment area of the Assa-Talas basin for the period under consideration 1925-2020 is negative, where changes in the hydrological regime of the river occur symmetrically and sequentially proportionally in the spatio-temporal scale, there are two quasi-homogeneous periods characterizing the transition from natural activities to anthropogenic. An assessment of changes in the water content of rivers in the catchment area of the Assa-Talas basin and the synchronism or asynchrony of its long-term fluctuations, performed on the basis of normalizing the difference integral curves of the modulus coefficients of the average annual water discharge using the method of difference-integral curves, showed that in all hydrological stations from 1925 to 1975 a high-water cycle is observed, and after that, a low-water cycle begins to the present, but with differences in the timing of the onset of phases and the amplitude of cyclic oscillations. At the same time, the quantitative value of the coefficient of variation increases from the mountainous zone towards the southern desert, where the zones of surface runoff are located and the high average annual water flow in all the rivers under consideration is observed in the range from 1.0 to 25.0% of the supply, and then their quantitative value decreases sharply, which is typical for rivers, where atmospheric precipitation, melting snow cover and groundwater are sources of food.

Keywords: hydrological profile, average annual water discharge, linear trend, total, difference and ordinary integral curves, coefficient, variation, asymmetry.

References

- 1 Mustafayev, Zh.S., Tursynbaev, N.A. & Kireicheva, L.V. (2022). Obosnovanie ekologicheskikh uslug rechnykh basseinov na primere reki Talas [Justification of ecological services of river basins using the example of the Talas River]. LAP LAMBERN Academic Publishing [in Russian].

- 2 (1969). Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1951–1963 gg.) Basseiny ozera Issyk-Kul i rek Chu, Talas, Tarim. T. 14. Srednaia Aziia [Surface water resources of the USSR. Main hydrological characteristics (for 1951-1963) Basins of lake Issyk-Kul and rivers Chu, Talas, Tarim. Vol. 14. Middle Asia]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 2, 80 [in Russian].
- 3 (1977). Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1963–1970 gg.) Basseiny ozera Issyk-Kul i rek Chu, Talas, Tarim [Main hydrological characteristics (for 1963-1970) basins of lake Issyk-Kul and rivers Chu, Talas, Tarim]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 86–91 [in Russian].
- 4 (1979). Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1971–1975 gg.) Basseiny ozera Issyk-Kul i rek Chu, Talas, Tarim. T.14. Srednaia Aziia [Surface water resources of the USSR. The main hydrological characteristics (for 1971-1975) of the basins of Lake Issyk-Kul and the rivers Chu, Talas, Tarim. Vol. 14. Central Asia]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 2, 90–93 [in Russian].
- 5 (1987). Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. Vol. 5. Kazakhskaya SSR [State Water Cadastre. Long-term data on land surface water regime and resources. Vol. V. Kazakh SSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 3, 72, 73 [in Russian].
- 6 (1997). Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1985–1990 gg. i ves period nabludenii). [State Water Cadastre. Main hydrological characteristics (for 1985-1990 and the entire observation period)]. Vol. V. Kazakhskaya SSR. Almaty: Kazgidromet, 3, 73–75 [in Russian].
- 7 (2005). Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. Basseiny rek Syrdari, Shu i Talas [State Water Cadastre. Long-term data on the regime and resources of land surface water. Syr Darya, Shu and Talas river basins]. Almaty, 3, 98 [in Russian].
- 8 (2015). Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. Basseiny rek Shu i Talas [State Water Cadastre. Annual data on land surface water regime and resources. Shu and Talas river basins]. Almaty, 8, 82 [in Russian].
- 9 (2004). Opredelenie raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Determination of calculated hydrological characteristics]. Saint Petersburg–Moscow [in Russian].
- 10 Volchek, A.A., Popukh, S.P. & Volchek, A.A. (2019). Gidrologicheskie raschety [Hydrological calculations]. Minsk: Belorusskii gosudarstvennyi universitet [in Russian].
- 11 Shiklomanov, I.A. (1989). Vliianie khoziaistvennoi deiatelnosti na rechnoi stok [Impact of economic activities on river flow]. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].