

УДК 630.2; 556.5 (571.51)

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ВОДОСБОРА БАССЕЙНА
ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКИ ШУ

¹Ж.С.Мустафаев¹ д.т.н., профессор, А.Т.Козыкеева² д.т.н., доцент, С.Д.Даулетбай³

¹АО «Институт географии и водной безопасности», г. Алматы, Казахстан

E-mail: ingeo@mail

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Казахстан

E-mail: info@kaznau.kz

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

E-mail: into@tarsu.kz

Анализ изменения гидрологических показателей водосбора бассейна трансграничной реки Шу в пространственно-временном аспекте, на основе информационно-аналитических материалов гидрологических постов Кочкарка, Орто-Токай, Милянфан, Тасотколь, Фурмановский гидроузел и Уланбель за длительный период наблюдений, охватывающих 1931...2020 гг., показывает наличие их постоянных колебаний по годам под влиянием природных и антропогенных факторов. Гидрологический режим водосбора бассейна трансграничной реки Шу в пространственно-временном масштабе с положительным или отрицательным трендами среднегодового расхода воды определяется общим характером природных факторов и меняется в связи с усилением антропогенной деятельности на речные системы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что на горных и предгорных географических зонах влияние природных и антропогенных факторов менее выражено, чем в предгорно-равнинных и пустынных зонах водосбора бассейна трансграничной реки Шу.

Ключевые слова: гидрологический режим, природный и антропогенный фактор, изменчивость, среднегодовой расход воды, речной бассейн, линейный тренд.

Поступила: 12.09.2022

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-105-2-32-46

ВВЕДЕНИЕ

В природной системе формирования и функционирования водосборной территории речных бассейнов, выполняющих экологические, экономические и социальные функции, имеют особую ценность и значимость для жизнедеятельности, так как они являются пространственным базисом народонаселения и производственной деятельности человека. При этом для оценки среднесуточного стока с водосбора речных бассейнов, как компонентов природной системы, являющихся прикладной функцией многолетних величин годовых атмосферных

осадков и среднегодовых температур воздуха в пространственно-временном масштабе, характеризующих процессы влаго и теплообмена и подчиняющихся закону сохранения энергии, которое свойственно для конкретной географической зоны, необходимо выявить роль климатических и антропогенных факторов, как функцию отклика средообразующей деятельности речных бассейнов. Цель исследования – оценка изменчивости гидрологического режима бассейна реки Шу в пространственно-временном масштабе для выявления вклада природного и антропогенного факторов в их средообразующей деятельности.

Объект исследования – водосбор бассейна трансграничной реки Шу, формирующийся из ледников Терской-Алатоо и Кыргызского хребта на территории Кыргызской Республики и зоны маганизирования, где расположены пески Мойынкума Республики Казахстан. Площадь водосборной территории бассейна реки Шу составляет 62500 км² и длина 1067 км, которая охватывает горную, предгорную, равнинную и пустынную географические зоны, можно рассматривать как природно-техногенную модель водосбора речного бассейна, для изучения динамики природной и антропогенной деятельности на формирование гидрологического профиля бассейна (Кирейчева Л.В., Козыкеева А.Т., Даулетбай С.Д., 2016; Мустафаев Ж.С., Козы-кеева А.Т., Камалиев А.М., 2019).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Для выявления особенностей формирования гидрологического режима трансграничной реки Шу в пространственно-временном аспекте, на основе информационно-аналитических материалов «Ресурсы поверхностных вод...» и «Государственный водный кадастр.....» и «Основные гидрологические характеристики...» СССР и «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши...» Кыргызской Республики и Республики Казахстан, создана база исследования, охватывающая 1931...2020 гг., которая включает ряды наблюдений с различными гидрологическими и климатическими обстановками (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1969, 1977, 1979; Государственный водный кадастр, 1987, 1997, 2005, 2015).

Проблемы оценки изменчивости гидрологического режима речных бассейнов в условиях изменчивости климата, под влиянием природных факторов и антропогенной деятельности, требуют необходимости многофакторного аналитического исследования.

Для долгосрочного прогнозирования

воздействия на формирование водных ресурсов с целью обеспечения водной безопасности региона использована методология научного познания и, широко применяемые в научных исследованиях, статистический и системный анализы (Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Камалиев А.М., 2019; Mustafayev Zh.S., Ryskulbekova L.M., 2022).

При оценке изменчивости гидрологического режима бассейна трансграничной реки Шу для восстановления пропусков рядов наблюдений и обработки временных рядов для определения их статистического параметра, построения трендов среднегодового расхода воды и коэффициента линейных трендов использованы электронные таблицы 2000 в программе Microsoft Excel.

Результаты исследования. Для выявления региональных и локальных особенностей гидрологического режима территории водосбора бассейна реки Шу проанализирована в пространственном и временном аспекте динамика стока на шести гидрологических постах на основе геоморфологической схематизации природной системы (Кирейчева Л.В., Козыкеева А.Т., Даулетбай С.Д., 2016):

- с. Кочкорка, расположенного в горном классе ландшафтов (элювиальная фация) – в зоне формирования стока;
- с. Орто-Токой, расположенного в предгорном классе ландшафтов (трансэлювиальная фация) – в зоне трансформации стока;
- с. Милянфан, расположенного в предгорном равнинном классе ландшафтов (трансак-кумулятивная фация) – в зоне ослабления скорости трансформации и появления признаков аккумуляции стока;
- с.Тасотколь и Фурмановский гидроузлы, расположенных в равнинном классе ландшафтов (супераквимальная фация) – в зоне аккумуляции стока.
- с. Уланбель, расположенного равнинном классе ландшафтов (субаквимальная фация) – в зоне аккумуляции стока, примыкающих к водотоку.

При формировании базы данных по гидрологическому режиму водосбора бассейна трансграничной реки Шу для восстановления пропусков наблюдений за среднегодовыми расходами воды, на основе регрессионного метода по данным индикаторов, имеющих естественный режим за весь период наблюдений, то есть

по гидрологическому посту с. Орто-Токой Кыргызской Республики и гидрологическому посту с. Тасотколь Республики Казахстан, получены регрессионные гидрологические модели, характеризующие зависимости среднегодовых расходов между гидрологическими постами (таблица 1).

Таблица 1

Регрессионные гидрологические модели, характеризующие зависимости среднегодовых расходов между гидрологическими постами водосбора бассейна трансграничной реки Шу

| Исследуемый пункт (река и гидрологический пост) | Характеристика периода | Уравнение регрессии | Годы совместных наблюдений | Коэффициент регрессии |
|---|------------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| р. Шу – с. Орто-Токой (пункт -аналог) | | | | |
| Шу - с. Кочкарка | естественный | $Q_i = 0,866 \cdot Q_{ai} + 3,49$ | 1931...1963 | 0,87 |
| | технический | $Q_i = 0,778 \cdot Q_{ai} + 6,77$ | 1995...2020 | 0,83 |
| Шу - с. Милянфан | естественный | $Q_i = 1,073 \cdot Q_{ai} - 5,39$ | 1931...1963 | 0,85 |
| | технический | $Q_i = 0,820 \cdot Q_{ai} - 0,71$ | 1995...2020 | 0,98 |
| Шу - с. Тасотколь | естественный | $Q_i = 2,238 \cdot Q_{ai} + 2,31$ | 1931...1963 | 0,84 |
| | технический | $Q_i = 2,484 \cdot Q_{ai} - 2,90$ | 1995...2020 | 0,75 |
| р. Шу – с. Тасотколь (пункт -аналог) | | | | |
| Шу - с. Фурмановка | естественный | $Q_i = 1,058 \cdot Q_{ai} - 7,59$ | 1931...1963 | 0,93 |
| | технический | $Q_i = 1,196 \cdot Q_{ai} - 22,44$ | 1995...2020 | 0,86 |
| Шу – с. Уланбель | естественный | $Q_i = 0,659 \cdot Q_{ai} - 6,26$ | 1931...1963 | 0,91 |
| | технический | $Q_i = 1,127 \cdot Q_{ai} - 41,12$ | 1995...2020 | 0,85 |

Оценка тенденции в многолетнем ходе среднегодового расхода воды реки Шу проводилась по всем гидрологическим постам в пространственно-временном масштабе (рисунки 1...6) на основе построения графиков, характеризующих тренды среднегодового расхода рек и коэффициентов линейных трендов, которые осуществлены при обработке временных рядов этих величин в программе Microsoft Excel. Анализ графиков линейных трендов среднегодового расхода воды водосбора

бассейна реки Шу по гидрологическому посту Кочкарка, расположенного в горном классе ландшафтов (элювиальная фация) в зоне формирования стока показывает (рисунок 1), что рост среднегодового расхода воды за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 2,59 м³/с за 80 лет и совпадает с тенденциями годовых атмосферных осадков метеорологической станции Тюя-Ашу (Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Камалиев А.М., 2019).

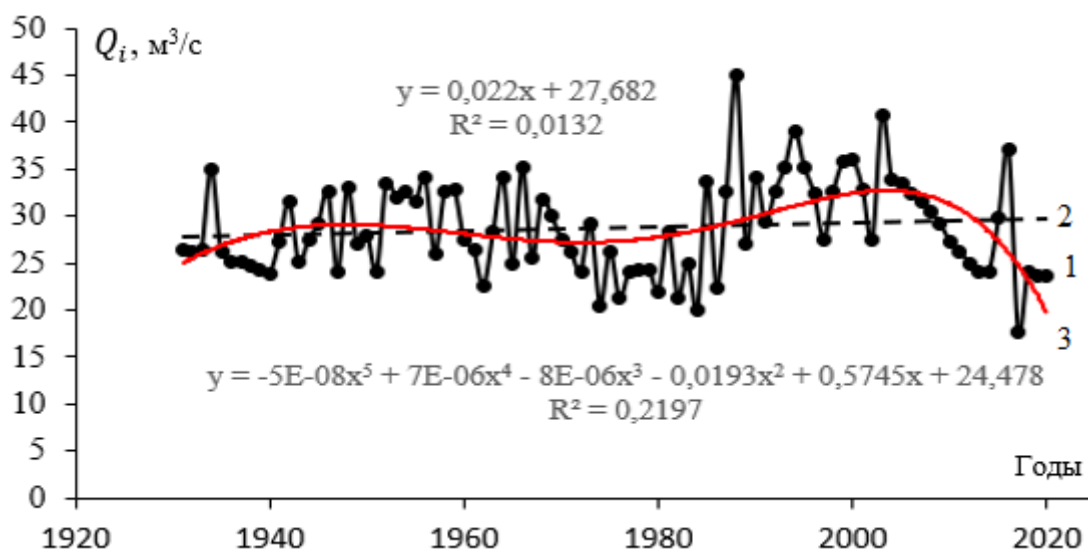


Рис.1. Хронологический график изменения расхода воды в реке Шу в створе с. Кочкарка за период 1931...2020 гг. Шу-Таласского водохозяйственного бассейна (ордината – среднегодовой расход воды, м³/с; абсцисса - годы) (черная линия -исходный ряд; черная штриховая линия - линейный тренд; красная линия- полиномиальный тренд 5-го порядка).

Таким образом, гидрологический режим водосбора бассейна реки Шу определяется общим характером увлажнения в горном классе ландшафтов (элювиальная фация) в зоне формирования стока, являющийся следствием климатических трендов, который перекрывает влияние всех других факторов. Изменение среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Орто-Токой (рисунок 2), расположенного в предгорном классе ландшафтов (трансэлювиальная фация) в зоне трансформации стока за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 1,22 м³/с за 90 лет, что объясняется совместным влиянием климатических факторов и антропогенной деятельности, связанной со строительством и эксплуатацией Орто-Токойского водохранилища.

Природные процессы и, в том числе гидрологические, являются многофакторными и многоциклическими, требующими изучения их в пространственно-временном масштабе, характеризующиеся определенными природно-климатическими условиями, выраженными фазой циклических колебаний среднегодового

расхода воды водосбора бассейна реки Шу в конкретный отрезок времени.

С математической точки зрения любой временной ряд, то есть многолетний ход изменения среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу можно представить в виде циклической составляющей, которая представляет собой волновой колебательный процесс, описываемый синусоидой – строгой математической функцией, в виде полиномиальной функции пятой степени, характеризующей полный цикл колебания стока реки, который состоит из двух маловодных и двух многоводных фаз и составляет 360°.

Фазовые углы колебания среднегодового расхода воды водосбора речных бассейнов от 0° до 90° и от 270° до 360° соответствует подъему водности рек, а фазовые углы от 90° до 270° – ее спаду (рисунки 1 и 2).

При этом следует отметить, что водность в горном классе ландшафтов (элювиальная фация) в зоне формирования стока и в предгорном классе ландшафтов (трансэлювиальная фация)

в зоне трансформации стока водосбора гармоникой, являющейся в основном бассейна реки Шу описывается одной следствием климатических факторов.

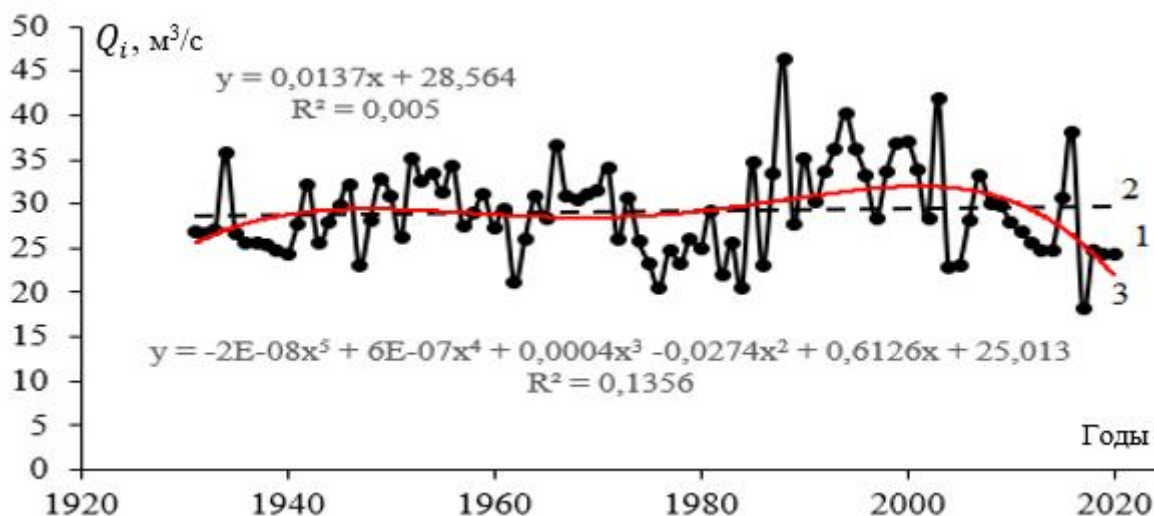


Рис.2. Хронологический график изменения расхода воды в реке Шу в створе с.Орто-Токой за период 1931...2020 гг. Шу-Таласского водохозяйственного бассейна (ордината – среднегодовой расход воды, м³/с; абсцисса - годы) (чёрная линия -исходный ряд; чёрная штриховая линия - линейный тренд; красная линия- полиномиальный тренд 5-го порядка).

Динамика изменения среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Миляфан, расположенного в предгорном равнинном классе ландшафтов (трансаккумулятивная фация) в зоне ослабления скорости трансформации и появления признаков аккумуляции стока показывает, что за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 1,95 м³/с за 90 лет, что объясняется совместным влиянием природных факторов и антропогенной деятельности, связанной с использованием водных ресурсов для отраслей экономики Кыргызской Республики и Республики Казахстан (рисунок 3).

Ритмические многолетние колебания среднегодового расхода воды в зоне предгорного равнинного класса ландшафтов (трансаккумулятивная фация) водосбора бассейна реки Шу зависят от природных факторов, то есть наличием русловых фильтрационных потерь и антропогенной деятельности человека, которые и определяют особенности формирования речного стока, и характеризуются достаточно высокой амплитудой и равномерной синусоидой колебаний. Период колебания синусоиды равен частному

делению длины исходного ряда на ее порядковый номер, то есть в условиях водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Миляфан, расположенного в зоне предгорного равнинного класса ландшафтов (трансаккумулятивная фация) длина исходного ряда составляет 90 лет, тогда как функция ведущей гармоники ($P = 90/3 = 30$ года).

Изменение среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Тасотколь, расположенного в начале равнинного класса ландшафтов (супераккумулятивная фация) в зоне аккумуляции стока за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 15,39 м³/с за 90 лет, что объясняется совместным влиянием природных факторов и антропогенной деятельности, связанной с эксплуатационным режимом работы Тасоткольского водохранилища (рисунок 4).

При этом, следует отметить, что ритмические многолетние колебания среднегодового расхода воды в зоне равнинного класса ландшафтов в конце супераккумулятивной фации и в начале субаккумулятивной фации в зоне аккумуляции стока, водосбора бассейна реки Шу зависит

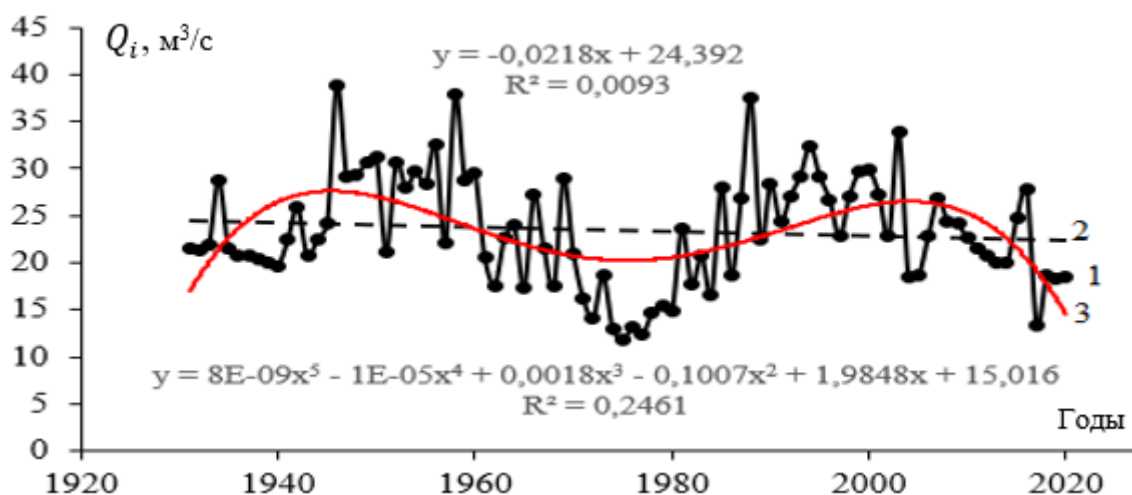


Рис.3. Хронологический график изменения расхода воды в реке Шу в створе с. Милянфан за период 1931...2020 гг. Шу-Таласского водохозяйственного бассейна (ордината – среднегодовой расход воды, м³/с; абсцисса - годы) (черная линия -исходный ряд; черная штриховая линия - линейный тренд; красная линия- полиномиальный тренд 5-го порядка).

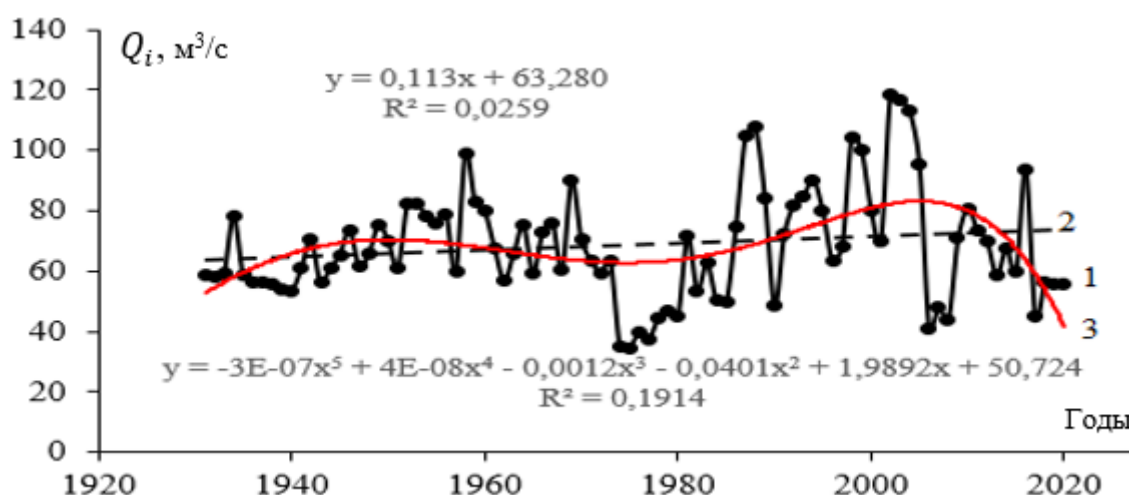


Рис.4. Хронологический график изменения расхода воды в реке Шу в створе с. Тасотколь за период 1931..2020 гг. Шу-Таласского водохозяйственного бассейна (ордината – среднегодовой расход воды, м³/с; абсцисса - годы) (черная линия -исходный ряд; черная штриховая линия - линейный тренд; красная линия- полиномиальный тренд 5-го порядка).

от экологических факторов и антропогенной деятельности человека, и характеризуются высокой амплитудой колебаний.

Изменение среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Фурмановский гидроузел, расположенного в начале равнинного класса ландшафтов (супераквильная фация) в зоне аккумуляции стока показывает, что за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 2,57 м³/с за 90 лет, что объясняется совместным влиянием природных факто-

ров и антропогенной деятельности, связанной с эксплуатационным режимом работы Тасоткольского водохранилища (рисунок 5).

Изменение среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Уланбель, расположенного в равнинном классе ландшафтов (субаквильная фация) в зоне аккумуляции стока, примыкающей к водотоку, показывает, что за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 7,58 м³/с за 90 лет,

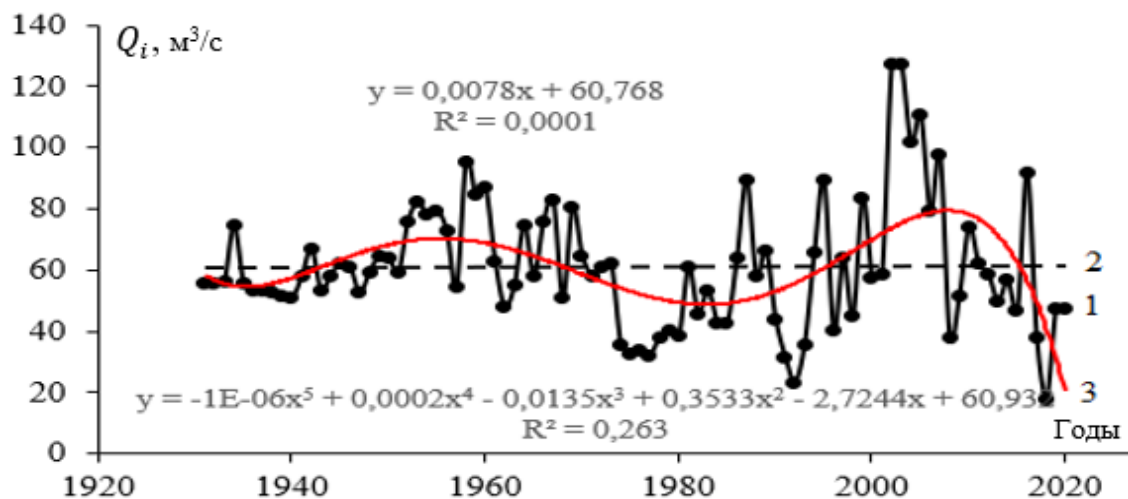


Рис.5. Хронологический график изменения расхода воды в реке Шу в створе Фурмановский гидроузел за период 1931...2020 гг. Шу-Таласского водохозяйственного бассейна (ордината – среднегодовой расход воды, м³/с; абсцисса - годы) (черная линия -исходный ряд; черная штриховая линия - линейный тренд; красная линия- полиномиальный тренд 5-го порядка).

что объясняется совместным влиянием природных факторов и антропогенной деятельности, связанной с эксплуатационным режимом работы Тасоткольского водохранилища (рисунок 5).

Изменение среднегодового расхода воды водосбора бассейна реки Шу по гидрологическому посту Уланбель, расположенного в равнинном классе ландшафтов (субаквиальная фация) в зоне аккумуляции стока, примыкающей к водотоку, показывает, что за исследуемый период (1931...2020 гг.) составляет 7,58 м³/с за 90 лет, что объясняется совместным влиянием экологических факторов и антропогенной деятельности, направленной на решение социальных, экологических и экономических проблем в низовьях рек, которые определяют вид ритма колебания стока во временном масштабе (рисунок 6). При этом следует отметить, что некоторое увеличение среднегодового расхода воды по гидрологическому посту Тасотколь, Фурмановский гидроузел и Уланбель связано с эксплуатационным режимом Тасоткольского водохранилища и ГЭС.

При этом, наиболее характерной чертой многолетнего режима среднегодового расхода воды реки Шу в пространственно-временном масштабе яв-

ляется цикличность.

Величина и знак тренда во многом зависят от продолжительности ряда наблюдений, используемого для анализа, и в большей степени определяется характером фазы водности в конце ряда. В случае завершения ряданоговодной фазой наиболее часто тренд имеет положительный знак, а в случае завершения маловодной фазой - отрицательный.

Оценка показала, что за примерно вековой период в колебаниях среднегодового расхода воды реки Шу выделяется три цикла. Эти циклы относятся к внутривековым и имеют продолжительность от 25 до 30 лет, хотя дата окончания последнего цикла и, соответственно, его продолжительность из-за некоторой неопределенности могут быть впоследствии уточнены.

Линейные тренды в большинстве случаев не являются единственной моделью, которая позволяет аппроксимировать многолетние тенденции изменений среднегодовых расходов воды речных бассейнов. Эти изменения имеют сложный характер, включают, как правило, циклы различной продолжительности. При этом линейный (квазилинейный) тренд можно рассматривать как часть сверх векового цикла.

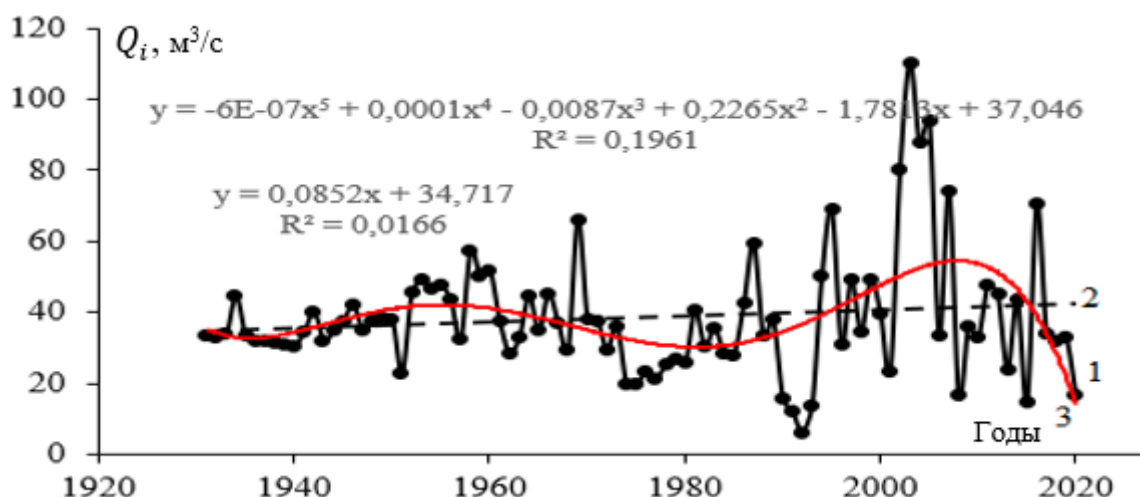


Рис.6. Хронологический график изменения расхода воды в реке Шу в створе с.Уланбель за период 1931...2020 гг. Шу-Таласского водохозяйственного бассейна (ордината – среднегодовой рас-ход воды, м³/с; абсцисса - годы) (черная линия -исходный ряд; черная штриховая линия - линейный тренд; красная линия- полиномиальный тренд 5-го порядка).

С целью оценки вклада в общую дисперсию колебаний среднегодового расхода воды речных бассейнов различных составляющих из их ряда были выделены линейный тренд и ряд максимальных среднегодовых расходов воды реки Шу. Ряд аномалий был получен путем вычисления отклонения годовичных значений исходного ряда от соответствующих этим годам значений линейного тренда, где оценка достоверности и надежности выполнена с помощью коэффициента детерминации R^2 . Доля дисперсии ряда среднегодового расхода воды реки Шу в пространственно-временном масштабе, объясняемая линейным трендом, на порядок больше доли дисперсии, объясняемой полиномиальным трендом 5-го порядка (рисунки 1...6). Это указывает на то,

что вклад долговременных тенденций в наблюдающихся изменениях среднегодового расхода воды реки Шу значительно больше, чем вклад циклических составляющих.

На основе статистического анализа тенденции изменений гидрологического режима основных рек в пространственно-временном масштабе с использованием линейных трендов по программе Microsoft Excel получены системы линейных уравнений для долгосрочного прогнозирования среднегодового расхода воды по водохозяйственным бассейнам Республики Казахстан:

$$Q_i = \alpha \cdot N_i + b, \tag{1}$$

где Q_i – среднегодовой расход воды, м³/с; N_i - совместный период наблюдений, лет (таблица 2).

Таблица 2

Регрессионные гидрологические модели изменения среднегодовых расходов воды в пространственно-временном масштабе на водосборных территориях бассейна трансграничной реки Шу

| Гидрологический пост (река) | Уравнение линейных трендов | Период наблюдений, годы | Изменение показателей (м³/с) |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| с. Кочкарка | $Q_i = 0,0022 \cdot N_i + 27,68$ | 1931...2020 | 0,20 |
| с. Орто-Токой | $Q_i = 0,0137 \cdot N_i + 28,56$ | 1931...2020 | 1,22 |
| с. Милянфан | $Q_i = -0,0219 \cdot N_i + 24,33$ | 1931...2020 | -1,95 |
| с. Тасотколь | $Q_i = 0,1729 \cdot N_i + 61,73$ | 1931...2020 | 15,4 |
| с. Фурмановка | $Q_i = 0,0289 \cdot N_i + 60,14$ | 1931...2020 | 2,57 |
| с. Уланбель | $Q_i = 0,0852 \cdot N_i + 34,72$ | 1931...2020 | 7,58 |

Результат, проведенного комплексного изучения пространственно-временной изменчивости среднегодовых расходов воды на водосборных территориях бассейна трансграничной реки Шу в условиях глобального изменения климата и антропогенной деятельности показал, что в пределах с. Кочкарка, расположенного в горном классе ландшафтов (элювиальная фация) - в зоне формирования стока и с. Орто-Токой, расположенного в предгорном классе ландшафтов (трансэлювиальная фация) – в зоне трансформации стока наблюдается положительной тренд, у с. Милянфан, расположенного в предгорном равнинном классе ландшафтов (трансаккумулятивная фация) в зоне ослабления скорости трансформации и появления признаков аккумуляции стока – отрицательный тренд. При этом в пределах гидрологических постов Тасотколь и Фурмановский гидроузел, расположенных в равнинном классе ландшафтов (супераккумулятивная фация) в зоне аккумуляции стока и Уланбель, расположенного в равнинном классе ландшафтов (субаккумулятивная фация) в зоне аккумуляции стока, примыкающего к водотоку наблюдается положительный тренд.

Таким образом, практическая значимость изучения пространственно-временной изменчивости среднегодового расхода воды на водосборных территориях бассейна трансграничной реки Шу в условиях антропогенной деятельности заключается в возможности и целесообразности использования полученной закономерности при обосновании водоохранных и водохозяйственных мероприятий, обеспечивающих водную безопасность региона.

Для выявления региональных и локальных особенностей гидрологического режима речных бассейнов в пространственно-временном масштабе разработана методика определения количественного соотношения между природными и антропогенными факторами при их совместном воздействии на водосбор речных бассейнов, включающая авторскую версию гипотезы стационарности рассматриваемого случайного процесса, который колеблется под влиянием природных и антропогенных факторов (Mustafayev Zh.S., Ryskulbekova L.M., 2022):

– отклонения среднегодового значения гидрологических характеристик (среднегодовой расход воды) общих временных рядов ($\Delta Q_{\text{общ}}$):

$$\Delta Q_{\text{общ}} = Q_{\text{общ}}^{\text{max}} - Q_{\text{общ}}^{\text{min}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{общ}}^{\text{max}}$ – максимальный среднегодовой расход воды реки по многолетнему ряду; $Q_{\text{общ}}^{\text{min}}$ – минимальный среднегодовой расход воды реки по многолетнему ряду.

– отклонения среднегодового значения гидрологических характеристик (среднегодовой расход воды) природных временных рядов ($\Delta Q_{\text{пр}}$):

$$\Delta Q_{\text{пр}} = Q_{\text{пр}}^{\text{max}} - Q_{\text{пр}}^{\text{min}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{пр}}^{\text{max}}$ – максимальный среднегодовой расход воды реки по природному временному ряду; $Q_{\text{пр}}^{\text{min}}$ – минимальный среднегодовой расход воды реки по природному временному ряду.

– отклонения среднегодового значения гидрологических характеристик (среднегодовой расход воды) антропогенных временных рядов ($\Delta Q_{\text{антр}}$):

$$\Delta Q_{\text{антр}} = Q_{\text{антр}}^{\text{max}} - Q_{\text{антр}}^{\text{min}}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{антр}}^{\text{max}}$ – максимальный среднегодовой расход воды реки по антропогенному временному ряду; $Q_{\text{антр}}^{\text{min}}$ – минимальный среднегодовой расход воды реки по антропогенному временному ряду. – тенденция изменения гидрологических характеристик под влиянием природных факторов

($\Delta Q_{\text{пр}}^m$):

$$\Delta Q_{\text{пр}}^m = (\Delta Q_{\text{пр}} / \Delta Q_{\text{общ}}) \cdot 100; \quad (5)$$

– тенденция изменения гидрологических характеристик под влиянием антропогенных факторов ($\Delta Q_{\text{антр}}^m$):

$$\Delta Q_{\text{антр}}^m = (\Delta Q_{\text{антр}} / \Delta Q_{\text{общ}}) \cdot 100 \quad (6)$$

Оценка антропогенного воздействия на формирование гидрологического стока водосбора бассейна реки Шу в пространственно-временном масштабе в начале антропогенных изменений естественного режима стока производилась графическим способом – путем построения интегральной кривой среднегодового расхода воды реки: $\sum_{Q_i = f(t)}$ (где $\sum Q_i$ – нарастающая сумма среднегодового расхода воды от начала наблюдений; Q_i – среднегодовой расход воды реки в период наблюдений), на основе статистической однородности мно-

голетних рядов (Шикломанов И.А., 1976).

На основе многолетних данных по среднегодовому расходу воды на водосборе бассейна реки Шу в пространственно-временном масштабе с использованием программы Microsoft Excel построена интегральная кривая для зоны формирования стока и верховьях по гидрологическим постам Кочкарка, Орто-Токай и Милянфин, расположенных на территории Кыргызской Республики (рисунок 7).

В зоны формирования гидрологического стока по данным гидрологического поста Кочкарка и ниже Орто-Токайского водохранилища в створе гидрологического поста Орто-Токай явного нарушения естественного гидрологического режима не наблюдается, то есть с 1970 по 2000 гг. происходили некоторые изменения, которые в явном виде не характеризуют нарушение естественного режима естественного среднегодового расхода воды. В створе гидрологического поста Милянфин, расположенного ниже водозаборных гидротехнических сооружений с 1970 г. наблюдается нарушение естественного гидрологического режима реки Шу.

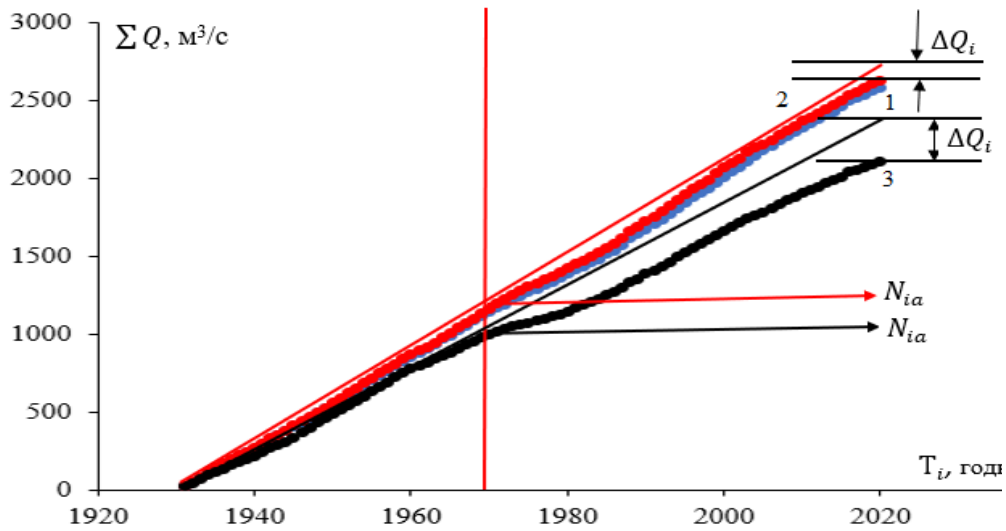


Рис. 7. График нарастающей интегральной кривой среднегодового расхода воды реки Шу на гидрологических постах Кочкарка (1), Орто-Токай (2) и Милянфин (3) на территории Кыргызской Республики (где $\sum Q_i$ – нарастающая сумма среднегодового расхода воды от начала наблюдений; ΔQ_i – объем суммарного уменьшения в результате антропогенной деятельности; N_{ia} – число лет с нарушенным режимом; T_i – продолжительность наблюдений, год).

В целом, нарушение естественного гидрологического режима реки в среднем течении и низовьях Шу в пределах территории Республики Казахстан наблю-

дается с 1970 года после строительства водозаборных гидротехнических сооружений в среднем течении на территории Кыргызской Республики и Тасоткольского

водохранилища на границе между Кыргызской Республики и Республикой Казахстан (рисунок 8).

При этом следует отметить, что период нарушения естественного гидрологического режима реки Шу на гидрологических постах Тасотколь, Фурмановский гидроузел и Уланбель имеет место с 1970 по 2005 гг., в дальнейшем формируется антропогенный гидрологический режим, который зависит от эксплуатационного режима Тасоткольского водохранилища (рисунок 8).

На основе выявленного общего статистического однородного периода, в пределах которого водный режим водосбора бассейна реки Шу является естественным или условно-естественным, и по предложенной мето-

дике и алгоритму определены последствия влияния природных и антропогенных факторов на среднегодовые расходы воды в исследуемых гидрологических створах Кочкарка, Орто-Токай, Милянфин, Тасотколь, Фурмановский гидроузел и Уланбель (таблицы 3 и 4). Как видно из таблиц 3 и 4, формирование гидрологического режима (среднегодового расхода воды) водосбора бассейна реки Шу в створе гидрологического поста Кочкарка в пределах природных временных интервалов, то есть 1931...1970 гг. на 45,7 % зависит от климатических факторов, а в антропогенных временных интервалах, охватывающих 1971...2020 гг. на 100 % зависит от хозяйственной деятельности человека.

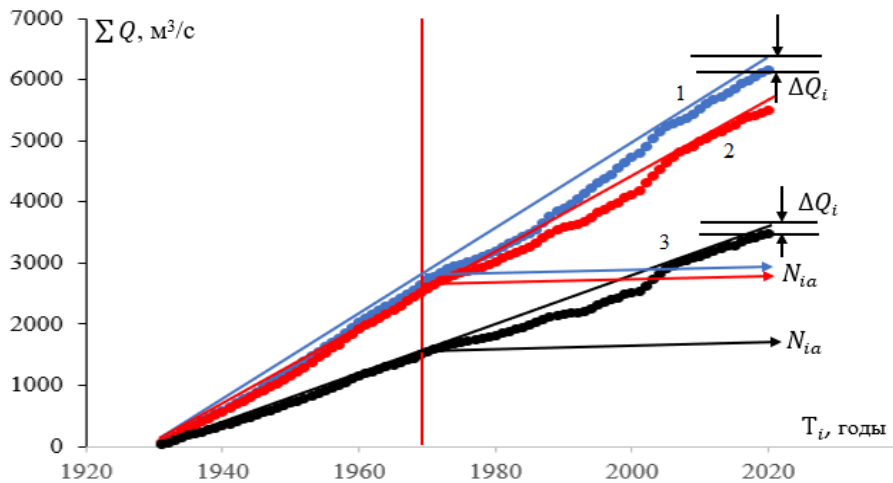


Рис.8. График нарастающей интегральной кривой среднегодового расхода воды реки Шу на гидрологических постах Тасотколь (1), Фурмановский гидроузел (2) и Уланбель (3) на территории Республики Казахстан (где ΣQ_i – нарастающая сумма среднегодового расхода воды от начала наблюдений; ΔQ_i – объем суммарного уменьшения стока в результате антропогенной деятельности; N_{ia} – число лет с нарушенным режимом; T_i – продолжительность наблюдений, год).

Таблица 3

Определение максимальных и минимальных значений гидрологических характеристик общих, однородных природных и антропогенных временных интервалов ($\text{м}^3/\text{с}$) на водосборе бассейна реки Шу

| Гидрологический пост | Статистический однородный период гидрологического режима | | | | | |
|----------------------|--|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | общий (1931...2020 гг) | | природный (1931...1970 гг) | | антропогенный (1971...2020гг) | |
| | $Q_{\text{общ}}^{\text{max}}$ | $Q_{\text{общ}}^{\text{min}}$ | $Q_{\text{пр}}^{\text{max}}$ | $Q_{\text{пр}}^{\text{min}}$ | $Q_{\text{антр}}^{\text{max}}$ | $Q_{\text{антр}}^{\text{min}}$ |
| Кочкарка | 45,0 | 17,7 | 35,0 | 22,5 | 45,0 | 17,7 |
| Орто-Токай | 46,3 | 18,2 | 35,7 | 21,1 | 46,3 | 18,2 |
| Милянфин | 39,8 | 11,8 | 38,9 | 17,4 | 37,4 | 11,8 |
| Тасотколь | 118,5 | 34,6 | 99,0 | 53,2 | 118,5 | 34,6 |
| Фурмановка | 127,1 | 23,3 | 95,6 | 50,7 | 127,1 | 23,3 |
| Уланбель | 110,3 | 6,3 | 57,2 | 23,1 | 110,3 | 6,3 |

В створе гидрологического поста Орто-Токай формирование гидрологического режима (среднегодового расхода воды) в пределах природных временных интервалах, то есть 1931...1970 годов 52,0 % зависит от климатических факторов, а в антропогенных временных интервалах, охватывающих 1971...2020 годы, 100,0 % зависит от хозяй-

ственной деятельности человека и в створе гидрологического поста Миянфин в 1931...1970 годах 76,8 % зависит от природной деятельности и в период 1971...2020 годов 91,4 % от антропогенной деятельности человека, что связано с увеличением объемов водопотребления в отраслях экономики Чуйской области Кыргызской Республики.

Таблица 4

Оценка влияния природных факторов и антропогенной деятельности гидрологического режима (m^3/c) водосбора бассейна реки Шу в пространственно-временном масштабе

| Гидрологический пост | Отклонение среднегодового расхода воды ($\Delta Q_{общ}$) | Статистический однородный период гидрологического режима | | | |
|----------------------|---|--|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | | природный (1928...1970 гг) | | антропогенный (1971...2017) | |
| | | $\Delta Q_{пр}, m^3/c$ | $\Delta Q_{пр}^m, \%$ | $\Delta Q_{антр}, m^3/c$ | $\Delta Q_{антр}^m, \%$ |
| Кочкарка | 27,3 | 12,5 | 45,7 | 27,3 | 100 |
| Орто-Токай | 28,1 | 14,6 | 52,0 | 28,1 | 100 |
| Миянфин | 28,0 | 21,5 | 76,8 | 25,6 | 91,4 |
| Тасотколь | 83,9 | 45,8 | 54,5 | 83,9 | 100 |
| Фурмановка | 103,8 | 44,9 | 43,3 | 103,8 | 100 |
| Уланбель | 104,0 | 34,1 | 32,8 | 104,0 | 100 |

В районе гидрологического поста Тасотколь, который расположен на границе Кыргызской Республики и Республики Казахстан, формирование гидрологического режима (среднегодового расхода воды) водосбора бассейна реки Шу в пределах природных временных интервалах, то есть 1931...1970 гг. на 54,5 % зависит от климатических факторов, а в антропогенных временных интервалах, охватывающих 1971...2020 гг. на 100 % зависит от хозяйственной деятельности человека и обусловлено разнонаправленным воздействием природного и антропогенного факторов.

В створе гидрологического поста Фурмановский гидроузел формирование гидрологического режима (среднегодового расхода воды) водосбора бассейна реки Шу в пределах природных временных интервалах, то есть 1931...1970 гг. на 43,3 % зависит от климатических факторов, а в антропогенных временных интервалах, охватывающих 1971...2020 гг., на 100 % зависит от хозяйственной деятельности человека, и показывает, что в различных физико-географических зонах отличается их количе-

ственное соотношение между последствиями природно-техногенного воздействия, что связано с регулированием и управлением гидрологическим режимом малых рек, формирующих порядка 30 % водных ресурсов на территории Республики Казахстан.

В зоне магазинирования гидрологического стока водосбора бассейна реки Шу в створе гидрологического поста Уланбель формирование (среднегодового расхода воды) в пределах природных временных интервалах, то есть 1931...1970 гг., на 32,8 % зависит от климатических факторов, а в антропогенных временных интервалах, охватывающих 1971...2020 гг., на 100 % зависит от хозяйственной деятельности человека, и показывает, что в антропогенный период величина среднегодового расхода воды полностью зависит от эксплуатационного режима работы Тасоткольского водохранилища.

Выводы. По результатам проведенных исследований, направленных для выявления влияния климатических и антропогенных факторов на формирование гидрологического режима (среднегодового расхода воды) водосбора

бассейна реки Шу можно констатировать, что тенденции изменения гидрологического режима исследуемой территории зависят не только от климатических изменений, но и в значительной степени определяются интенсивностью хозяйственной деятельности человека в пространственно-временном масштабе на речных водосборах.

Таким образом, на основе установленной особенности формирования гидрологического режима (среднегодового расхода воды) водосбора бассейна реки Шу в современных меняющихся природно-антропогенных условиях, можно проводить оценку влияния климатических и антропогенных факторов, с целью обеспечения водной безопасности жизнедеятельности человека и сохранения условий функционирования речных экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирейчева Л.В., Козыкеева А.Т., Даулетбай С.Д. Комплексное обустройство реки Шу.– Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2016. – 149 с.
2. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Камалиев А.М. Климатический профиль водосборного бассейна реки Шу // Гидрометеорология и экология. – 2019. – №2. – С. 38-49.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1951-1963 гг). Бассейны озера Иссык-Куль и рек Чу, Талас, Тарим.– Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Т.14. – Средняя Азия. – Вып. 2. – 80 с.
4. 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.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 гг). Бассейны озера Иссык-Куль и рек Чу, Талас, Тарим. – Л.: Гидрометеиздат, 1979.–Т.14–Средняя Азия.–Вып.2.–С.90-93.
6. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши.- Л.: Гидрометеиздат, 1987. – Т.V–Казахская ССР. – вып. 3. – С. 72-73.
7. Государственный водный кадастр. Ос-

новные гидрологические характеристики (за 1985-1990 гг. и весь период наблюдений). - Алматы: Казгидромет, 1997. – Т.V – Казахская ССР. – Вып. 3. – С. 73-75.

8. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейны рек Сырдарьи, Шу и Талас. – Алматы: Казгидромет. – Вып. 3. – 2005. – 98 с.
9. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейны рек Шу и Талас. – Алматы: Казгидромет.– Вып. 8. – 2015. – 82 с.
10. *Mustafayev Zh.S., Ryskulbekova L.M.* Spatial-time change in the climatic parameters of the drainage of the river basin Ili //Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2022. – Volume 1. – No 341. – P. 102-109.
11. *Шикломанов И.А.* Влияние хозяйственной деятельности на водные ресурсы и гидрологический режим. – Обнинск, 1976. – 110 с.

REFERENCES

1. Kirejcheva L.V., Kozykeeva A.T., Dauletbay S.D. Kompleksnoe obustrojstvo reki Shu (Mono-grafija). – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2016. – 149 p.
2. *Mustafayev Zh.S., Kozykeeva A.T., Kamaliev A.M.* Klimaticheskij profil' vodosbornogo bassejna reki Shu // *Gidrometeorologija i jekologija*, 2019. – №2. – pp. 38-49.
3. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki (za 1951-1963 gg). Bassejny ozero Issyk-Kul' i rek Chu, Talas, Tarim. – L.: Gidrometeoizdat, 1969. – T.14 – Srednjaja Azija. – v. 2. – 80 p.
4. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki (za 1963-1970 gg). Bassejny ozero Issyk-Kul' i rek Chu, Talas, Tarim. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. – p. 86-91.
5. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki (za 1971-1975 gg). Bassejny ozero Issyk-Kul' i rek Chu, Talas, Tarim. – L.: Gidrometeoizdat, 1979. –T.14 – Srednjaja Azija. – v. 2. – p. 90-93.
6. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. – L.: Gidrometeoizdat, 1987. – T.V-Kazahskaja SSR. – v. 3. – p. 72-73.

7. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki (za 1985-1990 g i ves' period nabljudenij). – Almaty: Kazgidromet, 1997. – T.V – Kazahskaja SSR. – v. 3. – p. 73-75.
8. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. Bassejny rek Syrdar'i, Shu i Talas // V. 3. – Almaty, 2005. – 98 p.
9. Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. Bassejny rek Shu i Talas // V. 8. – Almaty, 2015. – 82 p.
10. Mustafayev Zh.S., Ryskulbekova L.M. Spatial-time change in the climatic parameters of the drainage of the river basin Ili // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2022. – V. 1. – No 341. – p. 102-109.
11. Shiklomanov I.A. Vlijanie hozjajstvennoj dejatel'nosti na vodnye resursy i gidrologicheskij rezhim. – Obninsk, 1976. – 110 p.

ШЕКАРА АРАЛЫҚ ШУ ӨЗЕНІНІҢ СУЖИНАУ АЛАБЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ПІШІНІ

Ж.С.Мустафаев¹ т.ғ.д., профессор, Ә.Т Козыкеева² т.ғ.д., доцент, С.Д.Даулетбай³

¹*«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы қ., Қазақстан,
E-mail: ingeo@mail*

²*Қазақ Ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан,
E-mail: info@kaznau.kz*

³*М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан,
E-mail: into@tarsu.k*

Шекара аралық Шу өзенінің сужинау алабының гидрологиялық көрсеткіштерінің кеңістік-уақыт масштабында өзгеруін талдау Кочарка, Орто-Токай, Милянфан, Ташөткел, Фурманов гидроторабының және Ұланбел гидрологиялық бекеттерінің 1931...2020 жылдарды қамтитын ұзақ мерзімдік ақпараттық-талдау мәліметтерінің негізінде жүргізілді және табиғи мен техногендік дәлелдемелердің әсерінен жыл сайын олардың тұрақты түрде ауытқуының байқалатындығын көрсетеді. Шекара аралық Шу өзенінің сужинау алабының гидрологиялық режимінің кеңістік-уақыт масштабында өзгеруі орташа жылдық су ағынының өтімінің оң немес теріс трендті, табиғи дәлелдемелердің жалпы сипатамасыарқылы анықталады және өзен жүйесіндегі техногендік қызметтердің қарқынына байланысты өзгеріп отырады. Алынған нәтижелер көрсеткендей, шекара аралық Шу өзенінің сужинау алабында табиғи және техногендік дәлелдемелердің әсері тау етегіндегі жазықтық аймақтарға қарағанда шөлейтаймақтарда азырақ байқалады.

Түйінді сөздер: гидрологиялық режим, табиғи және антропогендік дәлелдер, өзгергіштік, ор-таша жылдық су аағынының өтімі, өзен алабы, сызықтық тренд.

HYDROLOGICAL PROFILE OF THE DRAINAGE COLLECTION OF THE TRANS- BOUNDARY SHU RIVER BASIN

Zh.S. Mustafayev¹ doctor of technical sciences, professor, A.T. Kozykeyeva² doctor of technical sciences, S.D. Dauletbay³

¹*Institute of Geography and water security, Almaty, Kazakhstan, E-mail: ingeo@mail*

²*Kazakh National Agrarian research University, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: info@kaznau.kz*

³*M.Kh.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan, E-mail: into@tarsu.kz*

An analysis of changes in the hydrological indicators of the catchment area of the transboundary Shu River basin in the spatio-temporal aspect, based on information and analytical materials from the hydrological posts of Kochkarka, Orto-Tokai, Milyanfan, Tashotkol, the Furmanovs hydroelectric complex and Ulanbel in a long period of observations covering 1931...2020, shows the presence of their constant fluctuations over the years under the influence of natural and anthropogenic factors. The hydrological regime of the catchment area of the transboundary Shu River basin on a spatio-temporal scale with a positive or negative trend in the average annual water discharge is determined by the general nature of natural factors and changes due to increased anthropogenic activity on river systems. The results obtained indicate that the influence of natural and anthropogenic factors are less pronounced in the mountainous and foothill geographic zones than in the foothill-plain and desert zones of the catchment area of the transboundary river Shu.

Key words: hydrological regime, natural and anthropogenic factors, variability, average annual water discharge, river basin, linear trend.