ГИДРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ

HYDROLOGY AND CLIMATOLOGY

УДК 556.5 + 57.087 https://doi.org/10.5281/zenodo.20785084

Мягков С.В., Страхова Н.Ю.

Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкент, Узбекистан

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕК УЗБЕКИСТАНА: АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ ТЕНДЕНЦИЙ ПО ДАННЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Аннотация. *В работе выполнен анализ многолетних изменений стока рек различных гидрологических районов Узбекистана до водохозяйственного воздействия с целью выявления региональных особенностей реакции речного стока на современные климатические изменения. Рассмотрены бассейны рек северо-восточной части Узбекистана (Пскем, Наувалисай, Угам, Ахангаран), склонов Ферганской долины (Чадак, Гава, Сох, Кугарт, Чангет, Зергер), а также бассейнов рек Санзар и Кашкадарьи (Яккабагдарья, Кичикурядарья, Урядарья). Для сопоставления гидрографов рек с различными диапазонами расходов воды выполнена нормализация рядов наблюдений. Проведен анализ синхронности колебаний стока рек за период вегетации (апрель-сентябрь) и построены полиномиальные линии трендов. Установлено наличие устойчивого снижения водности большинства исследуемых рек, связанного с изменением климатических условий, уменьшением снегонакопления и сокращением вклада ледникового питания.*

Ключевые слова: *климатические изменения, речной сток, гидрограф, нормализация, водные ресурсы, ледниковое питание, снеговое питание*.

Myagkov S.V., Strakhova N.N.

Hydrometeorological Research Institute, Tashkent, Uzbekistan

CLIMATE RELATED CHANGES UZBEKISTAN'S RIVER RUNOFF: ANALYSIS OF LONG-TERM TRENDS BASED ON HYDROLOGICAL OBSERVATIONS

Abstract. *This paper analyzes long-term changes in river runoff in various hydrological regions of Uzbekistan prior to water management interventions to identify regional characteristics of river runoff response to current climate change. The study examines river basins in northeastern Uzbekistan (Pskem, Nauvalisay, Ugam, and Akhangaran), the slopes of the Fergana Valley (Chadak, Gava, Sokh, Kugart, Changet, and Zerger), and the Sanzar and Kashkadarya river basins (Yakkabagdarya, Kichikuryadarya, and Uryadarya). To compare river hydrographs with different discharge ranges, observation series were normalized. The synchronicity of river runoff fluctuations during the growing season (April–September) was analyzed, and polynomial trend lines were constructed. A steady decline in water flow in most of the studied rivers was established, associated with changing climate conditions, reduced snow accumulation, and a reduced contribution from glaciers.*

Key words: *climate change, river runoff, hydrograph, normalization, water resources, glacier feed, snow feed.*

Введение и постановка проблемы. Изменение климата является одним из основных факторов трансформации гидрологического режима рек Центральной Азии. Рост температуры воздуха, изменение режима атмосферных осадков, сокращение площади ледников и изменение процессов снегонакопления оказывают

непосредственное влияние на формирование речного стока.

Для территории Узбекистана проблема особенно актуальна вследствие высокой зависимости водохозяйственного комплекса от поверхностных вод горных бассейнов. Изучение многолетней динамики расходов воды позволяет выявить закономерности климатического воздействия и оценить устойчивость водных ресурсов.

Современные исследования показывают - изменение климата становится одним из ключевых факторов трансформации водных ресурсов во всем мире. Для региона характерно сочетание роста температуры воздуха, изменения режима атмосферных осадков, сокращения площади оледенения и изменения сезонности формирования речного стока.

Согласно региональным оценкам, водные ресурсы Центральной Азии формируются преимущественно в горных районах Тянь-Шаня и Памира, а основная часть водопотребления приходится на сельское хозяйство — более 90 % общего водозабора. На фоне роста потребления воды изменение климата усиливает сезонную и межгодовую изменчивость стока рек.

Современные гидроклиматические исследования показывают двойственный эффект сокращения ледников. На начальном этапе усиление таяния может приводить к временному увеличению речного стока, однако в долгосрочной перспективе после сокращения ледниковых запасов ожидается уменьшение водности рек снегово-ледникового питания. Подобные процессы рассматриваются как один из основных факторов изменения гидрологического режима бассейнов Центральной Азии.

Для территории Узбекистана и сопредельных бассейнов наиболее уязвимыми являются реки, формирующиеся в высокогорных районах Западного Тянь-Шаня и Гиссаро-Алая. Исследования последних лет указывают на увеличение испаряемости, изменение структуры осадков и снижение устойчивости снежного покрова, что отражается на объемах сезонного стока и водообеспеченности орошаемого земледелия.

Полученные в настоящем исследовании результаты в целом согласуются с современными научными представлениями. Выявленное снижение расходов воды в бассейнах Пскема, Угама, Ахангарана, Санзара и рек Кашкадарьинского региона подтверждает тенденцию к уменьшению вклада снегового и ледникового питания в формирование речного стока. Одновременно сохранение отдельных периодов повышения водности может объясняться межгодовой изменчивостью осадков и временным усилением процессов деградации ледников.

Таким образом, наблюдаемые изменения стока рек Узбекистана являются частью более широкого регионального процесса трансформации гидрологического режима Центральной Азии под воздействием изменения климата и требуют дальнейшего развития систем мониторинга и адаптации водохозяйственного управления.

Изученность вопроса. Проблема изменения речного стока под воздействием климатических факторов относится к числу наиболее актуальных направлений современной гидрологии и климатологии. Для территории Узбекистана её значение определяется высокой зависимостью водных ресурсов от трансграничного стока и чувствительностью горных водосборов к изменению температуры воздуха и режима атмосферных осадков [1;2;3;6].

Основы изучения закономерностей формирования речного стока в Центральной Азии были заложены в работах гидрологов, где исследовались особенности снегового, ледникового и смешанного питания рек, а также пространственная и временная изменчивость водности [4;7]. Было установлено, что формирование стока рек Узбекистана определяется сочетанием климатических факторов, орографических условий и высотной зональности [8].

В последующие десятилетия внимание исследователей было сосредоточено на изучении последствий глобального изменения климата для гидрологического режима рек. Согласно оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению

климата, повышение глобальной температуры приводит к изменению гидрологического цикла, трансформации сезонного распределения осадков и изменению характеристик поверхностного стока [6]. Особенно чувствительными оказываются бассейны рек с выраженным снеголедниковым питанием.

Для региона Центральной Азии значительный вклад в исследование климатических изменений водных ресурсов внесли работы, посвящённые анализу состояния ледников, снежного покрова и речного стока [9]. Авторы отмечают устойчивую тенденцию роста температуры воздуха в горных районах и изменение внутригодового распределения стока, что проявляется в смещении сроков половодья и изменении сезонной водности [20].

Исследования водных ресурсов бассейна Аральского моря показывают, что климатические изменения сопровождаются сложными гидрологическими последствиями — от временного увеличения стока вследствие ускоренного таяния ледников до его последующего сокращения при уменьшении ледниковых запасов [10]. Для Узбекистана данные процессы имеют особое значение вследствие высокой доли орошаемого земледелия в структуре водопользования [21].

Отдельное направление исследований связано с анализом многолетних гидрологических рядов наблюдений на реках Узбекистана. По данным национальных исследований, для ряда бассейнов (Пскем, Угам, Чаткал и др.) выявлены неоднозначные тенденции изменения среднегодового и сезонного стока, обусловленные различиями природно-климатических условий и антропогенным воздействием [11; 13].

Современный этап изучения проблемы характеризуется применением статистических методов выявления трендов, методов математической обработки временных рядов, геоинформационных технологий и климатического моделирования [5;12]. Однако для многих рек Узбекистана остаются недостаточно исследованными вопросы пространственной неоднородности изменений стока и долгосрочной адаптации водохозяйственных систем к изменяющимся климатическим условиям. Это определяет необходимость дальнейшего анализа многолетних гидрологических наблюдений и уточнения закономерностей изменения водных ресурсов.

На связь между климатом и водными ресурсами влияют многие антропогенные факторы – землепользование и изменение растительного покрова, регулирование водных ресурсов и системы забора воды, а также загрязнение воды. Изменение климата влияет на водный цикл через множество различных процессов [14;15;19].

Обратная связь и взаимодействие между этими процессами, которые не все полностью поняты или измеримы в соответствующих масштабах, делают количественную оценку и прогнозирование воздействий очень сложными.

Хотя гидрологические данные, собранные в прошлом, предоставляют ценную информацию о процессах и событиях, они не обязательно указывают на будущие гидрологические режимы. Более того, даже когда обнаруживаются гидрологические изменения, атрибуция причин, включая изменение климата, часто остается неопределенной [16;17].

В исследовании [18] утверждается, что оценка влияния изменения климата на водные ресурсы позволит учитывать возможные изменения гидрологических характеристик при планировании развития сельского хозяйства и других отраслей экономики, а также при разработке мер адаптации.

Анализ опубликованных исследований показывает, что, несмотря на значительный объём научных исследований, для рек Узбекистана сохраняется необходимость уточнения региональных закономерностей многолетних изменений стока, особенно для условий верховьев рек, где антропогенное влияние минимально и наиболее отчётливо проявляется климатическое влияние.

Цель и задачи работы. Целью работы является выявление особенностей многолетних изменений стока рек Узбекистана и определение региональных

закономерностей изменения водности в верховьях до водохозяйственной деятельности и антропогенного влияния в естественных условиях формирования стока, то есть в верховьях речных бассейнов, где влияние водохозяйственной деятельности и антропогенных факторов минимально либо отсутствует. Исследование направлено на установление характера гидрологических изменений в условиях современного изменения климата и оценку пространственно-временной неоднородности изменений водных ресурсов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи исследования:
- проведен анализ многолетних рядов гидрологических наблюдений за стоком рек Узбекистана в естественных условиях формирования стока;
- оценены пространственные и временные особенности изменения водности рек в различных гидрологических районах страны и выявлены основные тенденции и закономерности многолетних колебаний речного стока в верховьях речных бассейнов;
- определена степень региональной неоднородности изменений водных ресурсов по территориям с различным изменением водности и роль климатических факторов в трансформации гидрологического режима рек при минимальном антропогенном воздействии.

Объект исследования: речной сток рек, формирующийся в верховьях речных бассейнов в условиях минимального воздействия хозяйственной деятельности.

Предмет исследования: пространственно-временные закономерности многолетних изменений речного стока и водности рек под влиянием современных климатических изменений в естественных условиях формирования стока.

Материалы и методы исследования. Для повышения достоверности интерпретации многолетних изменений речного стока анализ проводился с учетом особенностей физико-географических условий исследуемых бассейнов. В выборку включены реки, относящиеся к различным типам питания — снеговому, снегово-ледниковому и смешанному, что позволило сопоставить характер гидрологического отклика на климатические изменения в различных природных условиях.

Исходными материалами послужили ряды наблюдений гидрологических постов за среднегодовыми расходами воды, охватывающие период 1991–2025 гг. При обработке данных использовались методы статистического анализа временных рядов, включающие нормирование значений, построение сглаженных полиномиальных зависимостей и визуальный анализ синхронности гидрографов.

Применение нормализованных значений позволило исключить влияние абсолютных различий водности между реками и сосредоточить внимание на динамике относительных изменений. Такой подход широко используется при исследовании региональных гидроклиматических процессов и позволяет выделять устойчивые тенденции независимо от площади бассейна и среднего расхода воды.

Для обеспечения сопоставимости гидрографов применялась процедура нормализации расходов воды по формуле:

$$Qnorm = 1 – (Qmax-Qi) / (Qmax-Qmin) \quad , \qquad (1)$$

где Qnorm – нормализованное значение расхода воды в створе, находящееся в пределах $0 \leq Qnorm \leq 1$, Qmax – максимальный расход воды за период наблюдений, Qmin – минимальный расход воды. Qi – расход воды за i-тый год.

Для оценки долговременных изменений использованы полиномиальные линии трендов. Дополнительно учитывались сведения о современных климатических тенденциях региона: изменении среднегодовой температуры воздуха, трансформации структуры атмосферных осадков и сокращении площади горного оледенения. В исследовании использованы многолетние данные гидрологических наблюдений по бассейнам рек различных природно-климатических зон.

Результаты исследования и их обсуждение. *Бассейны рек Пскем, Наувалисай, Угам.* Пскем (гидропост «Майдантал») – река на севере Ташкентской области Узбекистана. Длина реки — 70 км, а площадь бассейна 2540 км². Режим питания — снегово-ледниковый. Истоки реки Пскем находятся в ледниках Таласского Алатау на территории Казахстана и Узбекистана, где берут своё начало две реки Майдантал и Ойгаинг, от слияния которых и берет своё начало Пскем. Притоки Пскема — горные саи, водоносность которых зависит от времени года. В период активного таяния снегов на высотах свыше 2500 метров, уровень воды в притоках существенно возрастает, отмечаются селевые явления.

Река Наувалисай (гидропост «Наволисай») – длина реки составляет 17 км, площадь бассейна — 99,4 км². Средняя высота водосбора выше посёлка Сиджак равна 1650 м. Питание сая преимущественно снеговое, также дождевое. величина среднегодового расхода воды у посёлка Сиджак — 2,99 м³/с. На период с марта по июнь приходится 65—70 % стока. Наиболее высокий расход воды наблюдался в мае (6,32 м³/с). По данным наблюдений в течение 25 лет (1964—1968, 1971, 1973—2000) сток за июль-сентябрь составляет 36,8 % от стока с марта по май, коэффициент изменчивости стока равен 0,258.

Река Угам (гидропост «Ходжикент») – горная река в Казахстане и Узбекистане, наиболее крупный правый приток реки Чирчик. Длина Угама составляет 68,5 километра, площадь бассейна — 869 км². Питание реки преимущественно снеговое, частично дождевое. Среднегодовой расход воды составляет 20,9 м³/с. Половодье начинается в марте и длится до августа. Наиболее высокие суточные расходы воды наблюдались в апреле-августе, достигая 177 м³/с в многоводные и 54,5 м³/с в маловодные годы.

Реки характеризуются преимущественно снеговым и снегово-ледниковым питанием и относятся к бассейну реки Чирчик.

Сравнение нормированных гидрографов (рис. 1) показало высокую степень синхронности межгодовых колебаний стока в период 1991–2012 гг. Это свидетельствует о доминирующем влиянии общих климатических факторов на процессы формирования стока. После 2012 года наблюдается снижение трендов по всем исследуемым рекам. Особенно выраженное уменьшение отмечается для реки Пскем, что может быть связано со снижением вклада ледникового питания. Максимальные значения трендов приходятся на 1995–1999 гг., после чего наблюдается устойчивое снижение водности.

Выявлена высокая степень синхронизации гидрографов в период 1991–2012 гг. После 2012 года отмечено снижение трендов стока, наиболее выраженное для реки Пскем. Общее снижение стока по линии тренда оценивается примерно **в** 30 %**.**

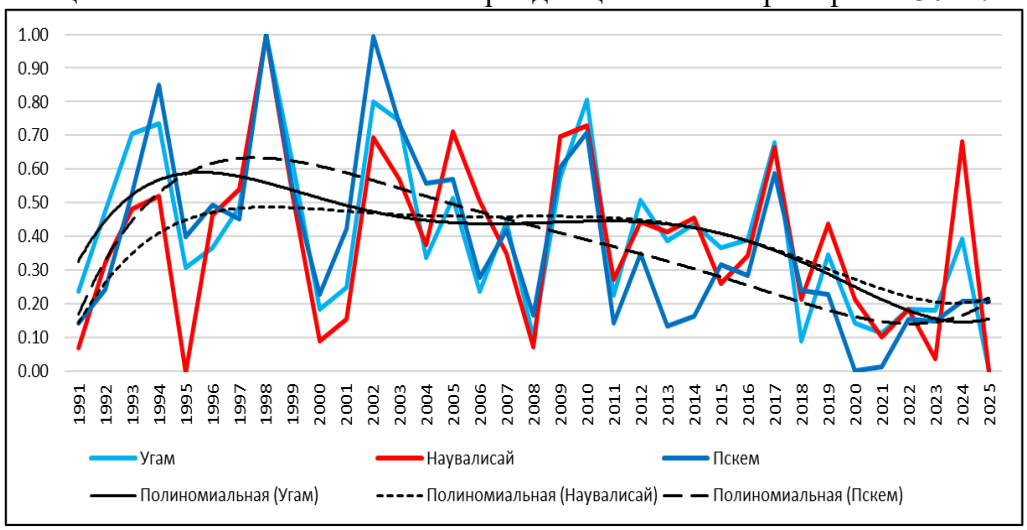


Рис. 1. Нормированные гидрографы стока рек Угам (гидропост «Ходжикент»), Наувалисай (гидропост «Наволисай»), Пскем (гидропост «Майдантал») и линии полиномиальных трендов

Бассейн реки Ахангаран. Ахангаран – река в Наманганской и Ташкентской областях Узбекистана, правый приток Сырдарьи. Ахангаран берёт начало под перевалом Бошрават (иное название — Джирдан) при слиянии Акташсай и Урталыксая, стекающих с южных склонов Чаткальского хребта. На некоторых картах началом реки Ахангаран считается место впадения левого притока Чайлисай, участок до этого места носит название Акташсай. Длина реки вместе с Акташсаем 236 км., а площадь бассейна 7710 км². Средний расход воды — 22,8 м³/с. Высота истока — 2710 м над уровнем моря. Высота устья — 260 м над уровнем моря.

Анализ гидрографа показал наличие двух выраженных максимумов линии тренда – в 1994 и 2018 годах (рис. 2). Несмотря на отдельные периоды роста водности, общая направленность изменений остается отрицательной.

Полиномиальная линия тренда показывает два максимума — 1994 и 2018 годы. За весь период наблюдений снижение величины стока составило около 55 %, что делает данный бассейн одним из наиболее чувствительных к климатическим изменениям.

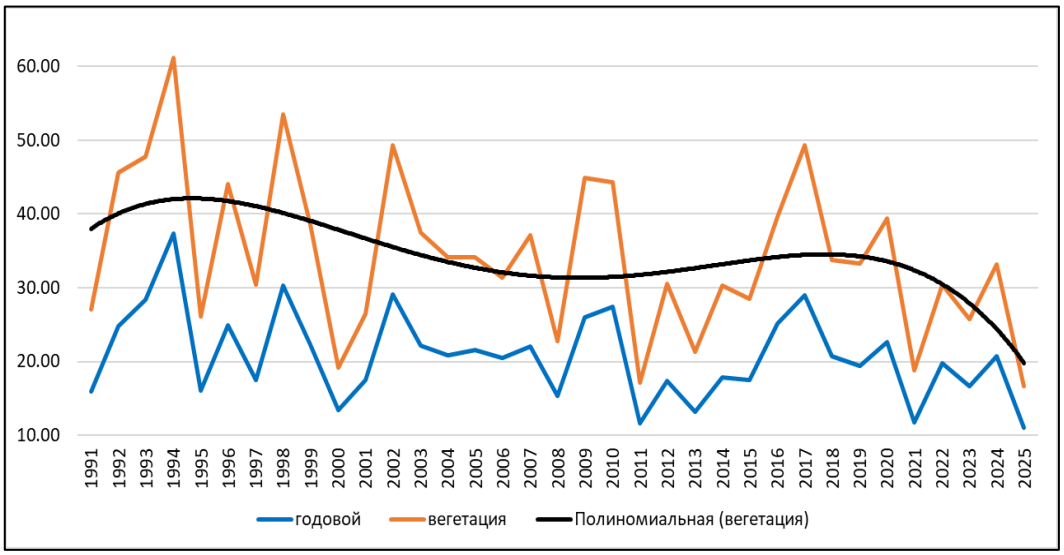


Рис. 2. Гидрограф реки Ахангаран (гидропост «Выше устья реки Ерташ») значения за вегетацию (апрель-сентябрь) и средние за год. Представлена полиномиальная линия тренда

Реки северного склона Ферганской долины. Река Чадак находится в Папском районе Наманганской области Узбекистана, левый приток Сырдарьи. Формируются в северо-западной части Ферганской долины, на юго-западном склоне Кураминского хребта. Не доносит своих вод до Сырдарьи, так как они разбираются для орошения и теряются в обширных конусах выноса. В прошлом река Ризаксай являлась правым притоком реки Чадак, сливаясь с ней ниже одноимённого посёлка, на высоте около 840 м. В настоящее время притоки Резаксай, Саваксай и Кудуксай не доходят до Чадака.

Питание снегово-ледниковое. Используется для орошения сельскохозяйственных угодий. Средние за вегетационный период расходы воды в пункте Джулайсай: норма 6,4 м³/с, наименьший 2,3 м³/с, наибольший 18,9 м³/с. Бассейн реки Чадак является лавиноопасной зоной.

Река Гава (Гавасай) — это река в Кыргызстане и Узбекистане, протекающая с южного склона Чаткальского хребта. Длина реки составляет 96 км, а площадь бассейна — 724 км². Река имеет снегово-ледниковое питание и широко используется для орошения, впадая в Северный Ферганский канал

При выходе из гор, ниже одноименного селения Гава, река разделяется на несколько рукавов и впадает в Северный Ферганский канал. Воды активно используются

для орошения сельскохозяйственных земель. Половодье приходится на весенние месяцы (март-май), летом река маловодна. Максимальный расход воды – 18,1 м^3/с, минимальный – 5,94 м^3/с, средний – 10,8 м^3/с.

На рис. 3 приведены нормированные гидрографы стока рек Чадак и Гава и полиномиальные линии тренда. Синхронизация стока видна на протяжении от 1991 года до 2020 года. В 2021 году наблюдается расхождение гидрографов и линий тренда. Гидрограф стока реки Чадак идет к повышению, гидрограф стока реки Гава идет к значительному снижению.

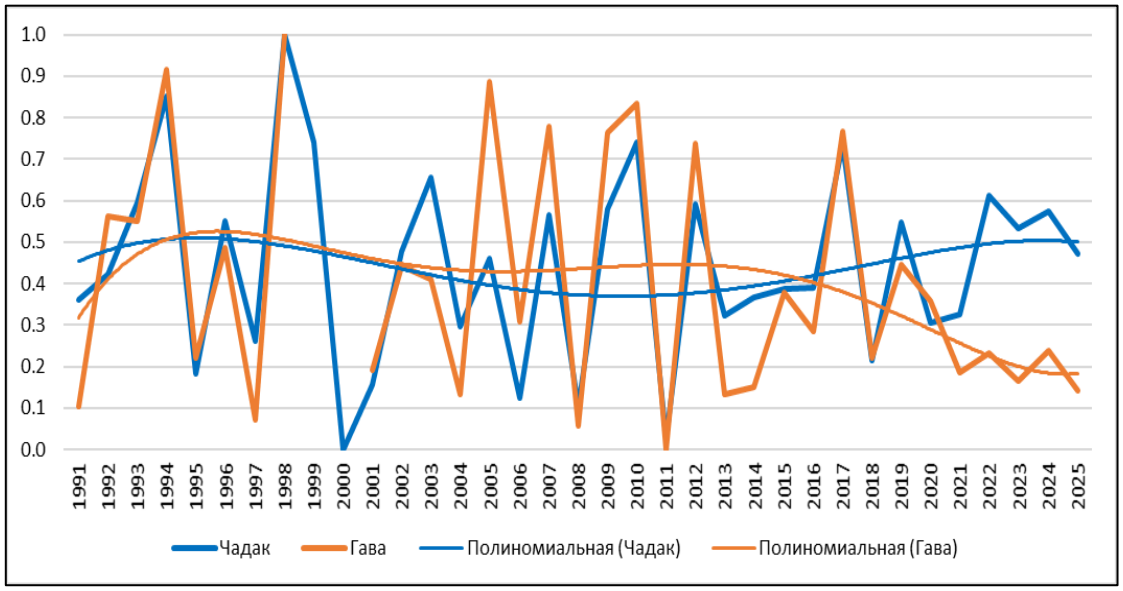


Рис. 3. Нормированные гидрографы рек Чадак (гидропост устье р. Джулайсай) и Гава (гидропост кишлак Гава). Приведены полиномиальные линии тренда.

Для рек Чадак и Гава выявлена выраженная синхронность гидрологических процессов в период 1991-2020 гг.

Для рек Чадак и Гава выявлена синхронность стока до 2020 года, после чего наблюдается расхождение трендов. После 2021 года тенденции начинают расходиться: для реки Чадак отмечается повышение водности; для реки Гава наблюдается существенное снижение расходов воды.

Подобное различие может быть связано с локальными особенностями распределения осадков и изменением условий питания бассейнов.

Бассейн реки Сох. Сох – река в Кыргызстане (Баткенская область) и Узбекистане (Ферганская область). Длина реки 124 км, площадь водосбора 3510 км².

Сох берёт начало у села Коргон на северных склонах Алайского хребта на высоте свыше 3000 м, образуется слиянием рек Ак-Терек и Ходжа-Ачкан. Течёт в основном на север. В среднем течении служит основным источником водоснабжения Сохского района (эксклав Узбекистана). В Ферганской долине полностью разбирается на орошение, теряясь в ирригационных веерах и конусах выноса. До реки Сырдарья не доходит с конца 1940-х годов. Средний расход воды у кишлака Сарыканда 42,1 м³/с. Питание смешанное, ледниково-снеговое, также подземное. Половодье наблюдается в период интенсивного таяния ледников с июня по сентябрь.

На рис. 4 приведен гидрограф реки Сох. Полиномиальный тренд имеет максимум в 2012 году и далее идет снижение тренда с минимумом в 2013 году и затем линия тренда повышается. В период с 1994 года идет повышение стока до 2013 года.

Река Сох демонстрирует иную динамику по сравнению с большинством исследованных водотоков. Полиномиальный тренд показывает рост стока с середины

1990-х годов до достижения максимума в 2012 году, после чего происходит кратковременное снижение и последующее восстановление.

Подобный характер изменений может быть обусловлен сохранением ледникового питания верхней части бассейна.

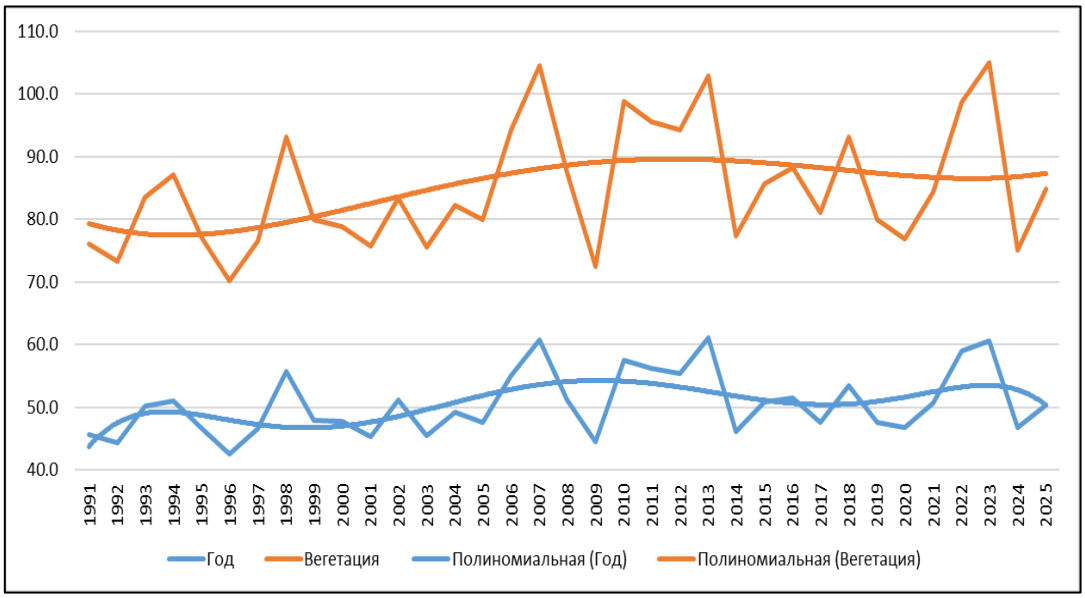


Рис. 4. Гидрограф реки Сох (гидропост Сарыканда) среднегодовые значения стока и средние за апрель-сентябрь (вегетация) и полиномиальные тренды.

Реки западных склонов Ферганского и Алайского хребтов. Кугарт – река в Сузакском районе Джалал-Абадской области Кыргызстана. Правый приток реки Карадарья. Длина 105 км, площадь водосборного бассейна 1370 км². Среднегодовой расход 18,3 м³/с. Питание снегово-дождевое. Берёт своё начало на юго-западных склонах Ферганского хребта. Крупнейшие притоки: Кызыл-Суу, Урум-Башы, Кара-Алма, Чангет. Половодье с апреля по август. Средний максимальный расход в мае 58,8 м³/с, минимальный в январе 5,43 м³/с. Материалы реки Кугарт по гидропосту «Кугарт — село Михайловка».

Река Чангет (гидропост «Чангет-Сай») находится в Джалал-Абадской области Киргизии, является левым притоком реки Кугарт. Берет начало на юго-западных склонах Ферганского хребта. В летний период или при обильных осадках уровень воды повышается, что может приводить к затоплению сельскохозяйственных угодий. Средняя высота водосбора реки Чангет 1640 м, общая площадь водосбора составляет 381 км^2. Средний многолетний расход воды 4,1 м^3/с.

Река Зергер (гидропост «Зергер — с. Зергер») протекает в Узгенском районе Ошской области Кыргызстана. Правый приток нижнего течения Яссы. Длина реки составляет 56 км или, по другим данным, 54 км (от слияния с Турпе-Суу – 33 км). Площадь водосборного бассейна — 365 км² или, по другим данным, 216 км²; средняя высота бассейна — 2020 м. Среднегодовой расход воды — 2,92 м³/с. Начинается на склонах Кокдонтау (Кулданбес) как Тоо-Камсо (Туякамов) и течёт на юг, вскоре поворачивая на юго-запад, меняет название на Талды-Суу (Талдысу, Актал) до слияния с Турпе-Суу. Устье Зергера находится в 20 км по правому берегу Яссы напротив села Озгерюш. Питается в основном за счет снега, атмосферных осадков и родниковых вод.

Для рек Кугарт, Чангет и Зергер отмечается высокая синхронность гидрографов. Однако линии трендов отличаются: тренды Кугарта и Чангета имеют тенденцию к росту в первой половине периода наблюдений; тренд Зергера демонстрирует снижение.

На рис. 5 приведены нормированные гидрографы рек западной части Ферганской долины. Заметна синхронность хода гидрографов до 2025 года. Однако линии

полиномиальных трендов несколько различаются. В период с 1991 года до 2009 года тренды рек Кугарт и Зергер имеют разную направленность. Тренды Кугарта и Чангета повышаются, а тренд Зергера понижается. После достижения максимумов (Чангет – 2002 г., Кугарт – 2014 г., Зергер – 2018 г.) все реки показывают переход к устойчивому уменьшению стока. К 2025 году зафиксировано общее снижение водности.

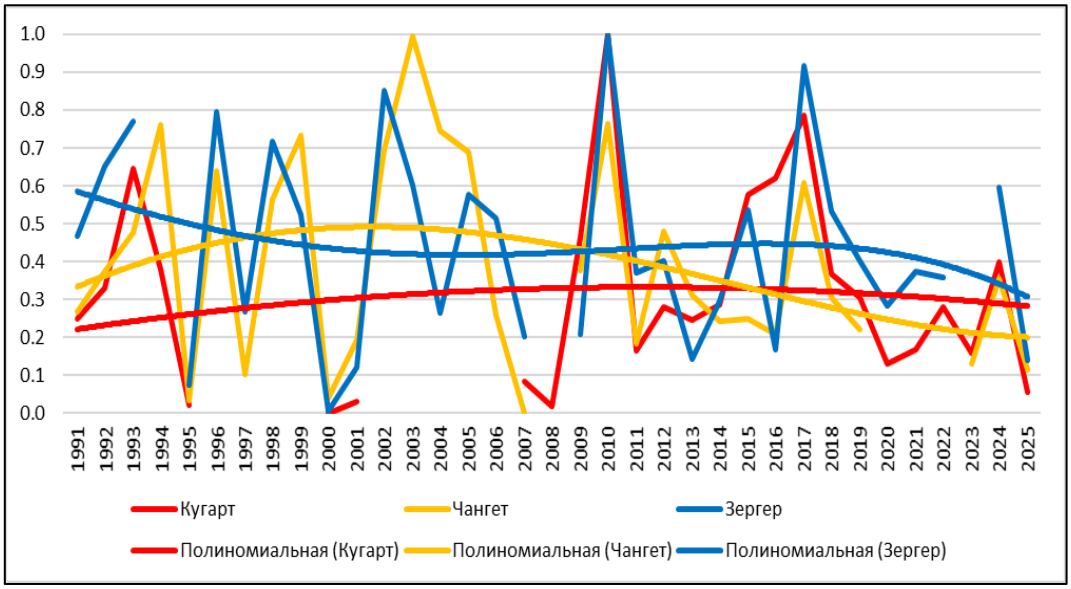


Рис.5. Нормированные гидрографы рек восточной части Ферганской долины и полиномиальные тренды.

Бассейн реки Санзар. Санзар – река в Джизакской области Узбекистана, крупнейшая река области, наряду с Зааминсу. Длина Санзара равна 198 км, площадь водосбора до начала ирригационного веера составляет 2530 км², на горную часть бассейна приходится 3220 км². Для реки своего размера Санзар («гидропост «Санзар») маловоден: среднемноголетний расход воды составляет 4 м³/с (в 158 км от устья — 2,12 м³/с). Половодье продолжается с марта по июнь (до начала июля), его пик приходится на май. Река берёт начало от слияния нескольких родников, стекающих с высот до 3400 метров на северном склоне Туркестанского хребта.

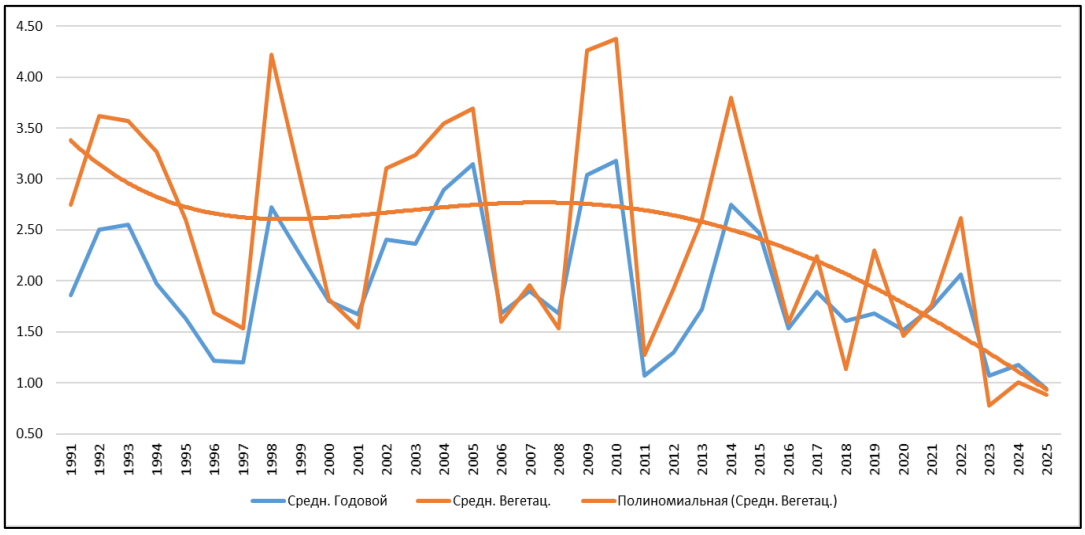


Рис.6. Гидрографы реки Санзар («гидропост «Санзар») средний годовой и средний за вегетацию и линия полиномиального тренда.

На рис. 6 приведены совмещенные гидрографы реки Санзар (створ – кишл. Кырк) за год и вегетационный период и линия полиномиального тренда. Анализ совмещенных гидрографов годового и вегетационного стока показал наличие максимума тренда в 2008 году. После указанного периода отмечается устойчивое снижение расходов воды. Для среднего вегетационного стока уменьшение составило около 37,5 %.

Реки бассейна Кашкадарьи. Яккабагдарья – река в Камашинском, Яккабагском и Шахрисабзском (концевой участок рукава Кызылсу) районах Кашкадарьинской области Узбекистана, относится к бассейну реки Кашкадарья. Вторая по полноводности река бассейна Кашкадарьи среди притоков всех порядков (после Акдарьи).

Длина Яккабагдарьи (гидропост «Татар») равна 99 км. Площадь бассейна составляет 1180 км², из которых 755 км² приходятся на водосборную площадь. Питание реки, в основном, снеговое и ледниковое. В верхнем течении река подпитывается также многочисленными впадающими ручьями родникового происхождения. Среднемноголетний расход воды, измеренный в кишлаке Татар (50 км от истока, площадь вышележащего водосбора — 514,0 км² при средней высоте 2730 м) составляет 6,11 м³/с. Для этой точки объём стока за год — 192,6 млн м³, средний модуль стока — 12,1 л/(с×км²), слой стока — 382 см/год, коэффициент изменчивости стока — 0,444 (за время наблюдений в 1930—2002 годах).

Яккабагдарье свойственно колебание расхода воды по годам. Среднегодовые показатели изменяются от 2,15 м³/с (маловодные годы) до 12,6 м³/с (многоводные годы). Половодье длится с марта по август, с мая по июль проходит основная часть стока, что вызвано снегово-ледниковым характером питания. Наибольшие суточные расходы наблюдаются в мае-июне (вплоть до 72,1 м³/с в многоводные годы и 17 м³/с — в маловодные), в конце мая наступает паводок. В июле-августе полноводность Яккабагдарьи уменьшается до 1—3 м³/с. Наименьшие расходы воды наблюдаются с декабря по март.

В районе населённого пункта Сувлисай ширина реки составляет 13 м, глубина — 70 см, скорость течения — 2,5 м/с, у населённого пункта Бешкапа ширина достигает 40 м при глубине 1,4 м, далее, в районе населённого пункта Чигатай, ширина равна 20 м при глубине 1,5 м, скорость течения близ этой точки равна 1,7 м/с. Ширина рукава Яккабагдарьи (Кзылсу) выше впадения — 18 м, глубина — 30 см, скорость течения — 0,4 м/с. Грунт дна во всех точках — каменистый. Река образуется от ледников на высоте 3949 м. Воды Яккабагдарьи используются на ирригационные нужды[9], по состоянию на середину 1970-х годов она обеспечивала орошение 22 тыс. га земель.

Кичикурядарья (также известна как Кичик-Урадарья) – горная река в Дехканабадском районе Кашкадарьинской области Узбекистана. Тип питания снегово-дождевой. Сток реки резко увеличивается в весенний период (март – май) из-за таяния сезонных снегов и выпадения интенсивных дождей. Вместе с рекой Каттаурядарья (Катта-Урадарья) является притоком, питающим Пачкамарское водохранилище. Это водохранилище имеет ключевое значение для орошения сельскохозяйственных земель в засушливом регионе. Относится к обширному бассейну реки Кашкадарья. Водные ресурсы реки активно разбираются через каналы (например, канал Гумбулак) для нужд местного орошаемого земледелия. Кичикурядарья (Кичик-Урадарья) обладает специфическим гидрологическим режимом, характерным для малых водотоков предгорий юго-западного отрога Гиссарского хребта. Наряду с рекой Катта-Урадарья она формирует основу водных ресурсов южной части Кашкадарьинского оазиса. Тип питания снегово-дождевой с выраженным преобладанием дождевого стока в весенний период. Доля подземного (родникового) питания невелика и поддерживает лишь минимальный сток в летне-осеннюю межень.

Режим стока крайне неравномерный внутри года. Около 60–70% годового объема стока проходит в период весеннего снеготаяния и ливней (с марта по май). Слияние Кичикурядарьи и Катта-Урадарьи образует реку Гузардарья, среднемноголетний расход

воды которой на входе в Пачкамарское водохранилище составляет около 4,87 м³/с. На саму Кичикурядарью приходится меньшая, более переменчивая доля общего стока. Водосбор реки сложен легкоразмываемыми породами. Годовой объем притока наносов (песок, ил, глина) в замыкающем створе формирует значительную долю из общих 0,284 млн м³ твердого стока, ежегодно поступающих в Пачкамарское водохранилище. Это приводит к заилению его «мертвого объема».

Урядарья (Катта-Урадарья) – река в Камашинском и Дехканабадском районах Кашкадарьинской области Узбекистана. Главные гидрологические характеристики реки: длина – 113 км, площадь водосборного бассейна – 1410 км², среднегодовой расход воды – 4,81 м³/с (зафиксирован у кишлака Базартепа). Тип питания – смешанный — преимущественно снеговое (за счет сезонных снегов на невысоких горах Гиссарского хребта) с примесью грунтового и дождевого питания. Режим стока – половодье наступает рано. Пик максимальных расходов приходится на апрель из-за активного таяния сезонных снегов в среднегорье. В этот же период на реке часто формируются сильные ливневые паводки и селевые потоки.

Исток: склоны Гиссарского хребта в районе перевала Харкуш на высоте около 3400 метров. Устье: сливаясь с рекой Кичик-Урадарья на высоте около 670 метров, образует реку Гузардарья. Сток регулируется Пачкамарским водохранилищем

На рис. 7 представлены нормированные расходы воды по рекам Кашкадарьи, составляющим сток реки Кашкадарьи и полиномиальные тренды. Сток рек имеет совпадение по своим значениям.

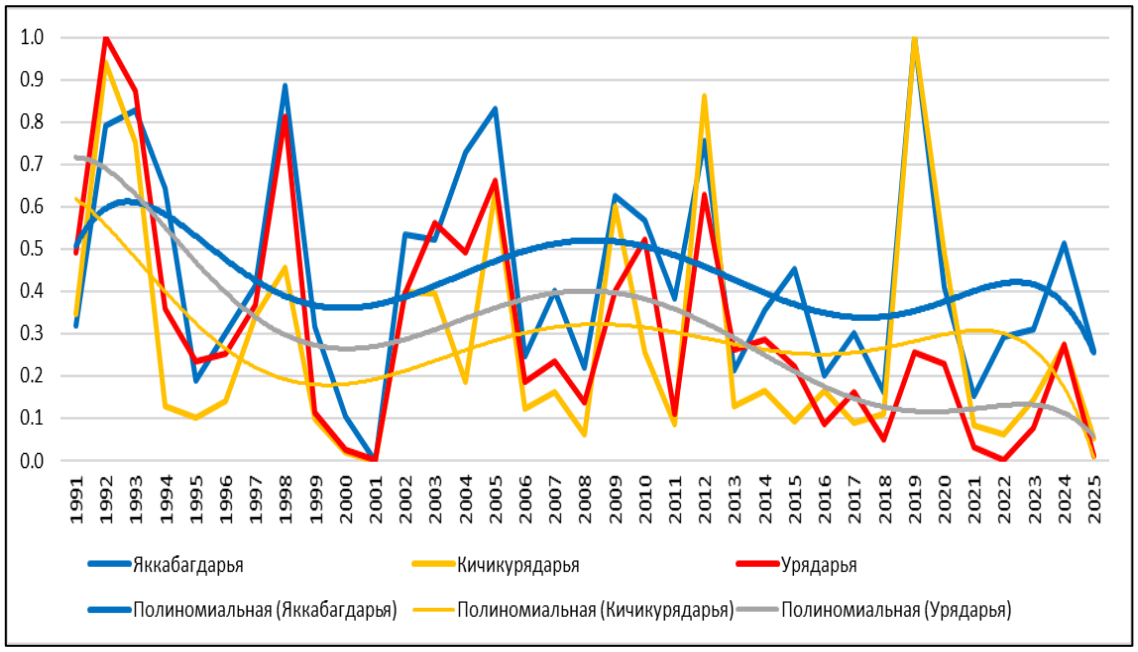


Рис. 7. Совмещенный гидрограф нормированных средних за апрель-сентябрь расходов воды рек Яккабагдарья (гидропост «Татар»), Кичикурядарья (гидропост «поселок Дехканабад»), Урядарья (гидропост «Базартепа») и полиномиальные тренды.

Полиномиальные тренды практически повторят друг друга. Общее направление тренда имеет понижающее направление, однако существуют максимумы (1992, 2009, 2022 годы) и минимумы (2000, 2017, 2025 годы). Общее понижение величины стока составляет 40%.

Для рек Яккабагдарья, Кичикурядарья и Урядарья установлена высокая согласованность межгодовых колебаний. Полиномиальные тренды демонстрируют общую нисходящую тенденцию при наличии локальных максимумов (1992, 2009, 2022

гг.**)** и минимумов **(**2000, 2017, 2025 гг.**)**. Совокупное снижение стока по полиномиальным трендам оценивается примерно в 40 %.

Полученные результаты позволяют рассматривать выявленные изменения не как локальное явление отдельных речных бассейнов, а как проявление региональной перестройки гидрологического режима рек.

Одним из ключевых механизмов трансформации водных ресурсов выступает изменение высотной структуры накопления осадков. Рост температуры приводит к увеличению доли жидких осадков в холодный период года и уменьшению продолжительности устойчивого снежного покрова. В результате снижается объем воды, аккумулируемой в зимний период и формирующей весенне-летний сток.

Дополнительным фактором является деградация ледниковых систем Западного Тянь-Шаня и Гиссаро-Алая. На ранних стадиях сокращения оледенения увеличение объёмов талых вод может временно поддерживать речной сток, однако после достижения критических значений площади ледников происходит переход к устойчивому уменьшению водности.

Полученные зависимости имеют важное прикладное значение для водохозяйственного планирования. Учитывая высокую долю орошаемого земледелия в структуре водопотребления Узбекистана, дальнейшее снижение стока может привести к усилению сезонного дефицита водных ресурсов и росту нагрузки на существующие системы регулирования.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии устойчивых изменений гидрологического режима большинства исследуемых рек. Наиболее вероятными факторами выступают: уменьшение запасов сезонного снежного покрова; сокращение ледникового питания; изменение сезонности атмосферных осадков; рост температуры воздуха; усиление испарения в теплый период года.

Синхронность гидрографов рек различных бассейнов подтверждает региональный характер климатического воздействия.

Перспективным направлением дальнейших исследований является интеграция данных гидрологических наблюдений с климатическими моделями и дистанционными методами оценки снежно-ледниковых ресурсов.

Выводы. Проведённое исследование подтвердило наличие устойчивых изменений водного режима рек Узбекистана в условиях современного изменения климата. Анализ многолетних рядов наблюдений показал преимущественное снижение водности для большинства исследованных бассейнов при сохранении межгодовой изменчивости.

Полученные результаты свидетельствуют о формировании региональной тенденции уменьшения стока, наиболее выраженной в бассейнах снегового и снегово-ледникового питания. Наиболее чувствительным оказался бассейн реки Ахангаран, тогда как отдельные высокогорные бассейны демонстрируют временный компенсирующий эффект за счёт деградации ледников.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования выявленных закономерностей для: совершенствования системы гидрологического мониторинга; оценки долгосрочной водообеспеченности регионов; разработки адаптационных мер в водном хозяйстве; уточнения сценариев изменения водных ресурсов Узбекистана.

Проведённый анализ показал, что большинство рек Узбекистана демонстрируют тенденцию к уменьшению стока за последние десятилетия. Для большинства бассейнов рек характерна синхронность многолетних колебаний расходов воды. Наиболее существенное снижение стока выявлено для реки Ахангаран – до 55 %**.** Для рек Пскем, Угам и Наувалисай снижение составило около 30 %. Для бассейна Кашкадарьи уменьшение оценивается в 40 %. Снижение водности связано преимущественно с изменением климатических условий и уменьшением снегово-ледникового питания. Для

бассейнов снегово-ледникового питания наблюдается высокая синхронность многолетних колебаний. Полученные результаты подтверждают региональный характер климатических изменений.

Сопоставление результатов между исследуемыми бассейнами показывает, что степень изменения стока существенно зависит от преобладающего источника формирования водных ресурсов. Наиболее устойчивыми к изменениям оказались бассейны с выраженным ледниковым компонентом питания, где сокращение снежного покрова частично компенсируется усилением таяния ледников. Такой эффект прослеживается в бассейне реки Сох, где до начала 2010-х годов наблюдалось сохранение повышенных значений стока.

В противоположность этому бассейны преимущественно снегового питания демонстрируют более быстрое снижение расходов воды. Подобная ситуация выявлена для рек Ахангаран, Санзар и ряда притоков Кашкадарьи, где уменьшение объемов весеннего снеготаяния сопровождается снижением общего годового стока.

Следует отметить, что временное увеличение расходов в отдельные годы не противоречит общей тенденции снижения водности. Подобные колебания обусловлены естественной межгодовой изменчивостью осадков и периодическими экстремальными гидрометеорологическими событиями.

Полученные выводы могут быть использованы как научная основа для дальнейшего моделирования гидрологических процессов и формирования стратегии адаптации к климатическим изменениям.

Использованная литература:

1. Айзен В., Айзен Э., Кузьмичонок В. Ледники и гидрологические изменения в Тянь-Шане: моделирование и прогнозирование // Environmental Research Letters. 2007. 2(4)045019. DOI:10.1088/1748-9326/2/4/045019

2. Вода и изменение климата (2020). ISBN 978-92-3-100371-4. ЮНЕСКО, 236 с. Эл. доступ: www.unesco.org/water/wwap

3. Водные ресурсы Республики Узбекистан / под ред. Ш.Р. Хасанова. Ташкент: НИГМИ, 2008. 184 с.

4. Гавриленко Н.Н., Мягков С.В., Мягков С.С., Гофуров Т.К. Оценка ледникового стока в бассейне реки Сох графо-статистическим методом // Известия Географического общества Узбекистана. 2020. Т. 58. С. 225-231.

5. Кузьменко Я.В., Лисецкий Ф.Н., Пичура В.И. Оценка и прогнозирование стока малых рек в условиях антропогенного воздействия и изменения климата // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. Электронный доступ: https://science-education.ru/ru/article/view?id=7640

6. Межправительственная группа экспертов по изменению климата Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, 2021. 321 с. https://doi.org/10.1017/9781009157896

7. Мягков С.В., Мягков С.С., Хабибуллаев Ш.Х. Сток горных рек как индикатор изменения климата // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2022. № 3-4. С. 73-81.

8. Научно-информационный центр Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии. Водные ресурсы Центральной Азии и их использование. Ташкент, 2015. 76 с.

9. Ражаббоев Н. Понимание воздействия изменения климата на доступность водных ресурсов в Центральной Азии // Общество и инновации. 2024. С. 349–355.

10. Сагдеев Н.З., Акрамов И. Отдельные результаты мониторинга гидрологических постов Ферганской долины // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2024. № 1-2. С. 94-106.

11. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на природные ресурсы Республики Узбекистан. Ташкент: ВОРИС-НАШРИЁТ, 2007. 252 с.

12. Шиварёва С.П., Долгих С.А. Влияние изменения климата на водные ресурсы бассейнов озера Балхаш и Аральского моря // Гидрометеорология и экология. 2009. №3. С. 36-63.

13. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1965. 691 с.

14. Aizen V.B., Aizen E.M., Melack J.M. (1997), Climate, snow cover, glaciers and runoff in Central Asia, *Water Resources Research*, Vol. 33(6), pp. 1113–1129.

15. Arnell N. (1999), *Climate change and global water resources. Global Environmental Change*, Washington, pp. 31-49.

16. Bliss A., Hock R. and Radić V. (2014), Global response to glacier runoff to twenty-first century climate change, *J. Geophys. Res*., 119(4), 717–730. DOI: 10.1002/2013jf002931.

17. Dukhovny V.A., de Schutter J. (2011), *Water in Central Asia: Past, Present, Future*, London, 432 p.

18. Ibatullin S., Yasinskiy V., Mironenkov A. (2009), *The Impact of Climate Change on Water Resources in Central Asia*, Almaty, 44p.

19. Kundzewicz Z.W., Krysanova V. (2010), Climate change and streamflow in the Central Asian region, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 55(6), pp. 1085–1097.

20. Sorg A., Bolch T., Stoffel M., Solomina O., & Beniston M. (2012). Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia), *Nature Climate Change*, 2(10), 725-731.

21. Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Merz B. et al. (2013), What do we know about past changes in the water cycle of Central Asian headwaters? *Global and Planetary Change*, Vol. 110, pp. 4–25.

References:

1. Aizen V., Aizen E. and Kuzmichonok V. (2007), Glaciers and hydrological changes in the Tien Shan: modeling and forecasting, *Environmental Research Letters,* 2(4)045019. DOI:10.1088/1748-9326/2/4/045019 (In Russ.).

2. *Water and Climate Change* (2020). ISBN 978-92-3-100371-4. UNESCO, 236 p. www.unesco.org/water/wwap (In Russ.).

3. *Water resources of the Republic of Uzbekistan* (2008), Edited by Sh.R. Khasanov, Tashkent,184 p. (In Russ.).

4. Gavrilenko N.N., Myagkov S.V., Myagkov S.S., Gofurov T.K. (2020), Assessment of glacier runoff in the Sokh River basin using a grapho-statistical method, *Bulletin of the Geographical Society of Uzbekistan*. Vol. 58, pp. 225-231. (In Russ.).

5. Kuzmenko Ya.V., Lisetsky F.N., Pichura V.I. (2012), Assessment and forecasting of small river runoff under anthropogenic impact and climate change, *Modern problems of science and education,* No. 6. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=7640 (In Russ.).

6. *Intergovernmental Panel on Climate Change Climate Change 2021: The Physical Science Basis* (2021), *Cambridge University Press,* 321 p. https://doi.org/10.1017/9781009157896 (In Russ.).

7. Myagkov S.V., Myagkov S.S., Khabibullaev Sh.Kh. (2022), Mountain River Runoff as an Indicator of Climate Change. *Central Asian Journal of Geographical Research,* No. 3-4, pp. 73-81. (In Russ.).

8. *Scientific Information Center of the Interstate Coordination Water Commission of Central Asia. Water Resources of Central Asia and Their Use* (2015), Tashkent, 76 p. (In Russ.).

9. Rajabboev N. (2024) Understanding the Impact of Climate Change on Water Resource Availability in Central Asia, *Society and Innovation*, pp. 349-355. (In Russ.).

10. Sagdeev N.Z., Akramov I., (2024), Selected Results of Monitoring Hydrological Posts in the Fergana Valley, *Central Asian Journal of Geographical Research*, No. 1-2, pp. 94-106. (In Russ.).

11. Chub V.E. (2007), *Climate Change and Its Impact on Natural Resources of the Republic of Uzbekistan*, Tashkent, 252 p. (in Russ.).

12. Shivareva S.P., Dolgikh S.A. (2009) The Impact of Climate Change on Water Resources of Lake Balkhash and the Aral Sea Basins, *Hydrometeorology and Ecology,* No. 3, pp. 36-63. (In Russ.).

13. Shults V.L. (1965), *Rivers of Middle Asia*, Leningrad, 691 p. (In Russ.).

14. Aizen V.B., Aizen E.M., Melack J.M. (1997), Climate, snow cover, glaciers and runoff in Central Asia, *Water Resources Research*, Vol. 33(6), pp. 1113–1129.

15. Arnell N. (1999), *Climate change and global water resources. Global Environmental Change*, Washington, pp. 31-49.

16. Bliss A., Hock R. and Radić V. (2014), Global response to glacier runoff to twenty-first century climate change, *J. Geophys. Res*., 119(4), 717–730. DOI: 10.1002/2013jf002931.

17. Dukhovny V.A., de Schutter J. (2011), *Water in Central Asia: Past, Present, Future*, London, 432 p.

18. Ibatullin S., Yasinskiy V., Mironenkov A. (2009), *The Impact of Climate Change on Water Resources in Central Asia*, Almaty, 44p.

19. Kundzewicz Z.W., Krysanova V. (2010), Climate change and streamflow in the Central Asian region, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 55(6), pp. 1085–1097.

20. Sorg A., Bolch T., Stoffel M., Solomina O., & Beniston M. (2012). Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia), *Nature Climate Change*, 2(10), 725-731.

21. Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Merz B. et al. (2013), What do we know about past changes in the water cycle of Central Asian headwaters? *Global and Planetary Change*, Vol. 110, pp. 4–25.

Сведения об авторах:

Мягков Сергей Владимирович – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), доктор технических наук, профессор. E-mail: sergik1961@yahoo.com

Страхова Наталья Юрьевна – Научно-исследовательский гидрометеорологический институт (Ташкент, Узбекистан), базовый (PhD) докторант

Information about the authors:

Sergey Myagkov – Research Hydrometeorological Institute (Tashkent, Uzbekistan), Doctor in Technical Sciences, Professor. E-mail: sergik1961@yahoo.com

Natalia Strakhova – Research Hydrometeorological Institute (Tashkent, Uzbekistan), basic (PhD) doctoral student

Для цитирования:

Мягков С.В., Страхова Н.Ю. Климатические изменения стока рек Узбекистана: анализ многолетних тенденций по данным гидрологических наблюдений // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2026. № 1-2. С. 82-96.

For citation:

Myagkov S.V., Strakhova N.N. (2026), Climate related changes Uzbekistan's river runoff: analysis of long-term trends based on hydrological observations, *Central Asian Journal of Geographical Researches*, No. 1-2, pp.82-96. (In Russ.).