

Статья поступила в редакцию: 14.09.2026

Статья принята к публикации: 18.09.2026

Статья опубликована: 28.09.2026

УДК 551.5+551.6+556.5

**Влияние изменения климата на метеорологические тенденции в бассейне
реки Чирчик: анализ за 2008–2024 гг.**

Рузиев Дилмурод

докторант кафедры гидравлики и гидроинформатики

Национальный исследовательский университет Ташкентский институт инженеров

ирригации и механизации сельского хозяйства

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: ruzievdilmurod98@gmail.com

Матказиев Дилшод

ио доц.

Ташкентский архитектурно-строительный университет

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: dilshod.matkaziyeu@gmail.com

Юлдашева Саодат

магистр Национальный исследовательский университет Ташкентский институт

инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

Республика Узбекистан, г. Ташкент

E-mail: saodatyuldosheva2@gmail.com

Библиографическое описание: Рузиев Д., Матказиев Д., Юлдашева С. Влияние изменения климата на метеорологические тенденции в бассейне реки Чирчик: анализ за 2008–2024 гг. // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 9(150). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23421>

Impact of climate change on meteorological trends in the Chirchik river basin: an analysis of 2008–2024

Ruziev Dilmurod

Doctoral student

*Department of Hydraulics and Hydroinformatics, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural
Mechanization Engineers National Research University
Uzbekistan, Tashkent*

Matkaziye Dilshod

*Acting Associate Professor of Tashkent University of Architecture and Civil Engineering
Uzbekistan, Tashkent*

Yuldasheva Saodat

*MSc of Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers National
Research University
Uzbekistan, Tashkent*

Аннотация

В исследовании оценены изменения основных метеорологических показателей, наблюдавшиеся в бассейне реки Чирчик в 2008–2024 гг. Цель исследования заключалась в выявлении динамики температуры воздуха, температуры поверхности суши, осадков и скорости ветра в верхней, средней и нижней частях бассейна, а также в оценке их значения для управления водными ресурсами. В анализе использовались данные наблюдений метеорологических станций Чарвак, Ташкент и Чиназ, а также данные температуры поверхности суши, полученные со спутников MODIS. Наборы данных прошли контроль качества, после чего месячные значения были агрегированы в среднегодовые или годовые суммарные показатели. Тренды определялись методом линейной регрессии, а темпы изменений оценивались в пересчете на десятилетие. Результаты показали тенденцию к повышению температуры воздуха на всех станциях. Темп потепления на станциях Ташкент и Чиназ составил примерно 0,7–1,0 °C за десятилетие, тогда как на станции Чарвак он находился в пределах 0,3–0,5 °C за десятилетие. Данные MODIS указали на повышение температуры поверхности суши, особенно на урбанизированных территориях и сухих поверхностях. Осадки характеризовались высокой межгодовой изменчивостью, однако устойчивого и статистически значимого общего тренда выявлено не было. Скорость ветра также изменялась преимущественно в пределах естественной изменчивости. Полученные результаты свидетельствуют об усилении процесса потепления в бассейне в последние годы при сохранении нестабильного режима осадков. Эти изменения необходимо учитывать при планировании потерь на испарение, потребности в оросительной воде и сезонного водораспределения.

Abstract

This study assessed the long-term changes in the main meteorological indicators observed in the Chirchik River Basin during 2008–2024. The objective of the study was to identify the dynamics of air temperature, land surface temperature, precipitation, and wind speed in the upper, middle, and lower parts of the basin and to evaluate their significance for water resources management. The analysis used observational data from the Charvak, Tashkent, and Chinaz

meteorological stations, as well as land surface temperature data obtained from the MODIS satellite. The datasets were subjected to quality control, and the monthly values were converted into annual mean or cumulative indicators. Trends were identified using linear regression, and the rates of change were evaluated on a decadal basis. The results showed an increasing air temperature trend at all stations. The warming rate was approximately 0.7–1.0 °C per decade at the Tashkent and Chinaz stations, while it ranged from 0.3 to 0.5 °C per decade at Charvak. MODIS data indicated an increase in land surface temperature, particularly in urbanized areas and over dry surfaces. Precipitation exhibited high interannual variability; however, no stable and statistically significant overall trend was identified. Wind speed also varied mainly within the range of natural fluctuations. The findings indicate that the warming process in the basin has intensified in recent years, while the precipitation regime remains unstable. These changes should be considered in the planning of evaporation losses, irrigation water demand, and seasonal water allocation.

Ключевые слова: бассейн реки Чирчик, изменение климата, метеорологические тенденции, температура воздуха, температура поверхности суши, осадки, скорость ветра, водные ресурсы.

Keywords: Chirchik River Basin, climate change, meteorological trends, air temperature, land surface temperature, precipitation, wind speed, water resources.

Введение

Изменение климата оказывает существенное влияние на температуру воздуха, осадки, испарение, состояние снежного покрова и ледников, а также на формирование речного стока. Для аридных регионов, где водные ресурсы ограничены и сельское хозяйство зависит от орошения, эти процессы имеют особое значение. Климат Центральной Азии отличается резко континентальным и засушливым характером, а речной сток во многом формируется за счет снегового и ледникового питания. Повышение температуры может приводить к более раннему снеготаянию, сокращению снежного покрова и снижению летнего стока, что осложняет эксплуатацию водохранилищ, распределение оросительной воды и работу гидроэнергетических систем [2,7,11]. Одновременно возрастает испарение, снижается влажность почвы и увеличивается потребность сельскохозяйственных культур в воде [6,13]. Бассейн реки Чирчик является важным водохозяйственным районом северо-востока Узбекистана. Его водные ресурсы используются для коммунальных, промышленных, энергетических и сельскохозяйственных нужд. Значительные различия в высоте, рельефе и земном покрове обуславливают пространственную неоднородность климатических условий в верхней, средней и нижней частях бассейна [5,8]. В урбанизированных районах дополнительное влияние оказывает эффект городского острова тепла [9,10], поэтому совместное использование наземных наблюдений и спутниковых данных MODIS позволяет более полно оценивать температурные изменения [10]. Исследования по Центральной Азии и Узбекистану подтверждают общую тенденцию к потеплению, тогда как осадки характеризуются высокой межгодовой и пространственной изменчивостью [3,4,9]. Вместе с тем комплексные исследования, объединяющие данные метеостанций и дистанционного зондирования для различных зон бассейна Чирчика, остаются ограниченными.

Цель исследования — выявить тенденции температуры воздуха и поверхности суши, осадков и скорости ветра в верхней, средней и нижней частях бассейна реки Чирчик за 2008–2024 гг. и оценить их значение для управления водными ресурсами. Для анализа использованы данные метеостанций Чарвак, Ташкент и Чиназ, спутниковые данные MODIS и метод линейной регрессии.

Материалы и методы

Район исследования. В качестве района исследования выбран бассейн реки Чирчик. Бассейн расположен на северо-востоке Узбекистана, преимущественно в пределах Ташкентской области, и занимает площадь около 14 900 км² (рисунок 1). Река Чирчик образуется при слиянии рек Пskem и Чаткал, берущих начало в горах Западного Тянь-Шаня. Ее сток регулируется Чарвакским водохранилищем, ниже которого река проходит по Ташкентско-Чирчикской долине и в нижнем течении впадает в Сырдарью.

Рельеф бассейна резко изменяется от высокогорных участков к низменным равнинам. В верхней части бассейна абсолютные отметки превышают 3000 м, а в нижних районах вблизи Чиназа снижаются примерно до 250–300 м. Вследствие этого горная часть бассейна характеризуется сравнительно холодным и влажным климатом, тогда как низменные районы отличаются жаркими и засушливыми условиями. Годовое количество осадков в высокогорьях может достигать 1200–1600 мм, в средней части бассейна составляет примерно 450–500 мм, а в нижней — 300–350 мм. Основная часть осадков выпадает в зимний и весенний периоды.



Рисунок 1. Расположение бассейна реки Чирчик и его гидрографическая сеть

Таблица 1.

Региональные характеристики метеорологических станций, использованных в исследовании

Станция	Положение в бассейне	Ландшафтные условия	Роль в анализе
Чарвак	Верхняя часть	Горная территория и окрестности водохранилища	Характеризует холодную и относительно влажную верхнюю зону бассейна

Станция	Положение в бассейне	Ландшафтные условия	Роль в анализе
Ташкент	Средняя часть	Урбанизированная долина	Позволяет оценить эффект городского острова тепла и условия средней части бассейна
Чиназ	Нижняя часть	Засушливая равнина	Характеризует жаркие и засушливые условия низменной части бассейна

Источники и подготовка данных. В исследовании использованы данные метеорологических наблюдений температуры воздуха, осадков и скорости ветра за период 2008–2024 гг. Станции Чарвак, Ташкент и Чиназ были выбраны потому, что они представляют различные высотные и ландшафтные зоны бассейна. Температура поверхности суши оценивалась по спутниковому продукту MODIS MOD11A2, а данные реанализа ERA5 использовались в качестве дополнительного источника для пространственного сопоставления и проверки результатов.

На первом этапе проверялись полнота и логическая согласованность наборов данных. Пропущенные, дублирующиеся и физически неправдоподобные значения выявлялись и исключались из соответствующих рядов. Поскольку данные станции Чарвак за 2014–2015 гг. были недостаточно полными, эти годы исключили из анализа трендов. При проверке данных особое внимание уделялось недопущению искусственного изменения общей структуры рядов наблюдений.

Методы статистического и пространственного анализа. Месячные наблюдения агрегировались в среднегодовые значения температуры воздуха и скорости ветра, а для осадков — в годовые суммы. Средняя, минимальная и максимальная температуры воздуха анализировались отдельно. Изображения MODIS фильтровались по облачности и пикселям низкого качества, после чего формировались слои среднегодовой температуры поверхности суши.

Временные изменения каждого метеорологического показателя оценивали с использованием простой модели линейной регрессии:

$$Y_t = a + bt + \varepsilon_t \quad (1)$$

где Y_t — значение метеорологического показателя в году t ; a — свободный член регрессии; b — годовой коэффициент тренда; ε_t — случайная ошибка. Скорость изменения за десятилетие рассчитывали как $10b$. Статистическую значимость коэффициента тренда оценивали с помощью t -критерия. Для каждого ряда рассчитывали угловой коэффициент тренда (b) и его стандартную ошибку (SE), коэффициент детерминации (R^2) и уровень значимости (p) по t -критерию Стьюдента; тренд считался статистически значимым при $p < 0,05$. Полные результаты регрессионного анализа (уравнения, R^2 , SE и p) обобщены в таблице 2, а линии тренда с уравнениями регрессии приведены на соответствующих рисунках. Для выявления пространственных различий результаты станций сопоставлялись с учетом высоты местности и ландшафтных условий. Графики были построены в MS Excel, OriginLab и Python, а карты подготовлены в ArcGIS Pro.

Поскольку период анализа ограничен 17 годами, результаты интерпретировались не как климатические нормы длительного или векового масштаба, а как современные тенденции, наблюдавшиеся в 2008–2024 гг. Такой подход позволяет с необходимой осторожностью оценивать влияние отдельных экстремальных лет на рассчитанные тренды.

Результаты

Многолетние изменения температуры воздуха. В 2008–2024 гг. на всех трех метеорологических станциях наблюдался положительный тренд среднегодовой температуры воздуха. Темп изменения был выше в нижней и урбанизированной частях бассейна и сравнительно ниже в горной верхней части. По результатам регрессионного анализа темп потепления на станциях Ташкент и Чиназ составил примерно 0,7–1,0 °C за десятилетие, а на станции Чарвак — 0,3–0,5 °C за десятилетие.

Таблица 2.

Результаты линейной регрессии среднегодовой температуры воздуха по метеорологическим станциям за 2008–2024 гг.

Станция	Уравнение тренда	b, °C/год	Темп, °C/10 лет	R ²	SE, °C/год	p
Ташкент	$T = 15,01 + 0,088 \cdot t$	0,088	0,88	0,37	0,029	0,009
Чиназ	$T = 14,46 + 0,070 \cdot t$	0,070	0,70	0,29	0,028	0,025
Чарвак	$T = 9,06 + 0,042 \cdot t$	0,042	0,42	0,10	0,036	0,260

Примечание: t — порядковый номер года (t = 1 для 2008 г.); b — угловой коэффициент тренда; SE — стандартная ошибка коэффициента; R² — коэффициент детерминации; p — уровень значимости по t-критерию Стьюдента.

Согласно результатам регрессионного анализа, тренд среднегодовой температуры воздуха положителен на всех станциях. На станциях Ташкент и Чиназ он статистически значим ($p < 0,05$) и соответствует потеплению 0,88 и 0,70 °C за десятилетие при коэффициентах детерминации $R^2 = 0,37$ и $0,29$ соответственно. На станции Чарвак тренд выражен слабее (0,42 °C за десятилетие, $R^2 = 0,10$) и статистически не значим ($p \approx 0,26$), что согласуется с менее выраженным потеплением в горной части бассейна и большой межгодовой изменчивостью. Уравнения регрессии, коэффициенты детерминации и уровни значимости приведены в таблице 2, а динамика среднегодовой температуры с линиями тренда и уравнениями показана на рисунке 2.

На станции Ташкент среднегодовая температура воздуха увеличилась примерно с 15,0 °C в 2008 г. до 16,0 °C в 2024 г., а на станции Чиназ — с 14,3 до 15,5 °C. На станции Чарвак годовые значения в основном изменялись в пределах 8,3–10,7 °C, при этом общий тренд потепления был менее выраженным, чем на равнинных станциях (рисунок 2). В связи со значительными колебаниями отдельных годовых значений регрессионный тренд является более надежным показателем, чем простое сопоставление начального и конечного годов периода наблюдений.

Изменения минимальных температур также указывают на постепенное смягчение зимних условий. В начале периода наблюдений минимальная температура в Чиназе опускалась до –24,5 °C, тогда как в последние годы она, как правило, не снижалась ниже –18

°С. В Ташкенте минимальные температуры также повысились примерно с -17 до -9 °С. Максимальные температуры оставались относительно стабильными и в основном находились в пределах $40\text{--}42$ °С в Ташкенте и Чиназе и $30\text{--}33$ °С в Чарваке. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наблюдаемое потепление сильнее проявлялось в холодный период года и в динамике минимальных температур.

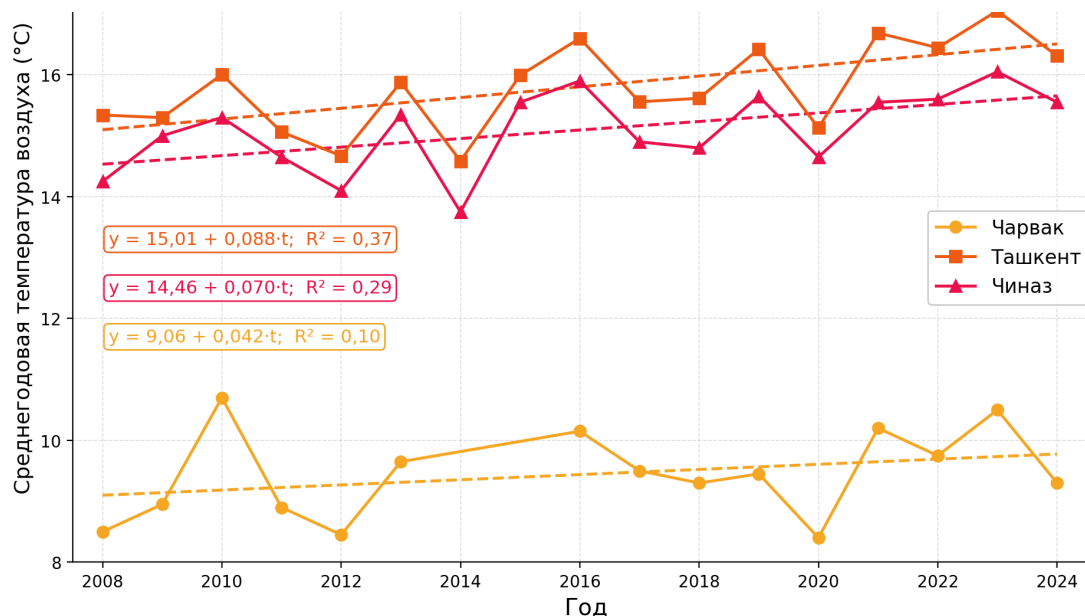


Рисунок 2. Динамика среднегодовой температуры воздуха на станциях Чарвак, Ташкент и Чиназ в 2008–2024 гг

Изменения температуры поверхности суши. Спутниковые данные MODIS показали, что температура поверхности суши изменялась в том же общем направлении, что и температура воздуха. В летний период температура поверхности суши обычно составляла $30\text{--}35$ °С на орошаемых территориях и участках, покрытых растительностью, и около $25\text{--}30$ °С на горных склонах и в лесных районах. В то же время на сухих почвах, в районах плотной застройки и на асфальтированных поверхностях температура достигала $50\text{--}60$ °С.

В городе Ташкенте и прилегающих урбанизированных районах поверхность земли в вечерние и ночные часы остывала медленнее. Такая особенность может быть связана с увеличением доли теплоаккумулирующих поверхностей и сокращением зеленых зон в пределах города. Однако для определения конкретного вклада урбанизации необходимы дополнительные сведения об изменениях земного покрова, плотности застройки и антропогенных источниках тепла.

Межгодовая изменчивость осадков. Осадки характеризовались значительно большей межгодовой изменчивостью по сравнению с температурой воздуха. В большинстве лет годовое количество осадков составляло примерно $500\text{--}1600$ мм на станции Чарвак, $300\text{--}580$ мм в Ташкенте и $200\text{--}400$ мм в Чиназе. В 2020 г. на станции Чиназ было зарегистрировано около 995 мм осадков, что выделяет этот год как аномально влажный в рассматриваемом ряду наблюдений (рисунок 3).

Относительно влажные условия в горной части бассейна наблюдались в 2018–2019 гг., тогда как 2021 г. был сравнительно засушливым на всех трех станциях. Несмотря на то что отдельные расчеты указывали на слабую положительную тенденцию на станции Чарвак,

устойчивого и статистически значимого тренда в масштабах всего бассейна не выявлено из-за высокой изменчивости ряда осадков и сравнительно короткого периода наблюдений. Сезонное распределение осадков в целом оставалось неизменным, при этом наибольшая их доля приходилась на зимний и весенний периоды.

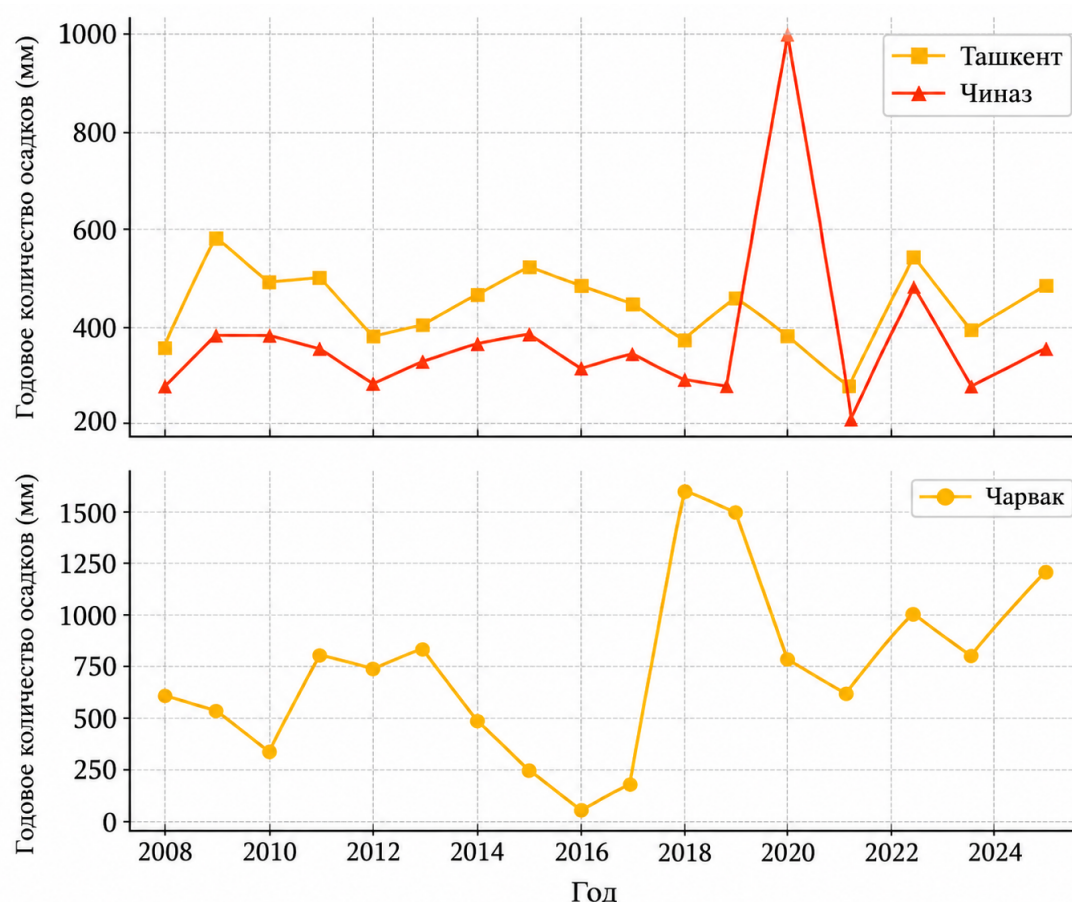


Рисунок 3. Годовое количество осадков на станциях Чарвак, Ташкент и Чиназ в 2008–2024 гг.

Тенденции скорости ветра

Анализ скорости ветра не выявил четкого однонаправленного многолетнего тренда. На станции Чарвак годовые значения изменялись в более широком диапазоне, чем на других станциях, что связано с влиянием рельефа и локальной атмосферной циркуляции. В отдельные годы годовые значения скорости ветра превышали 12 м/с, тогда как в другие годы снижались примерно до 5–6 м/с.

На станции Ташкент после относительно высоких значений в 2008–2009 гг. скорость ветра в основном изменялась в пределах 4–6 м/с. На станции Чиназ годовые значения преимущественно составляли 5–7 м/с. Снижение скорости ветра, наблюдавшееся в отдельные годы в Ташкенте, может быть связано с увеличением плотности застройки и шероховатости подстилающей поверхности. Однако для подтверждения этой зависимости требуется отдельный анализ морфологии городской застройки и преобладающих направлений ветра.

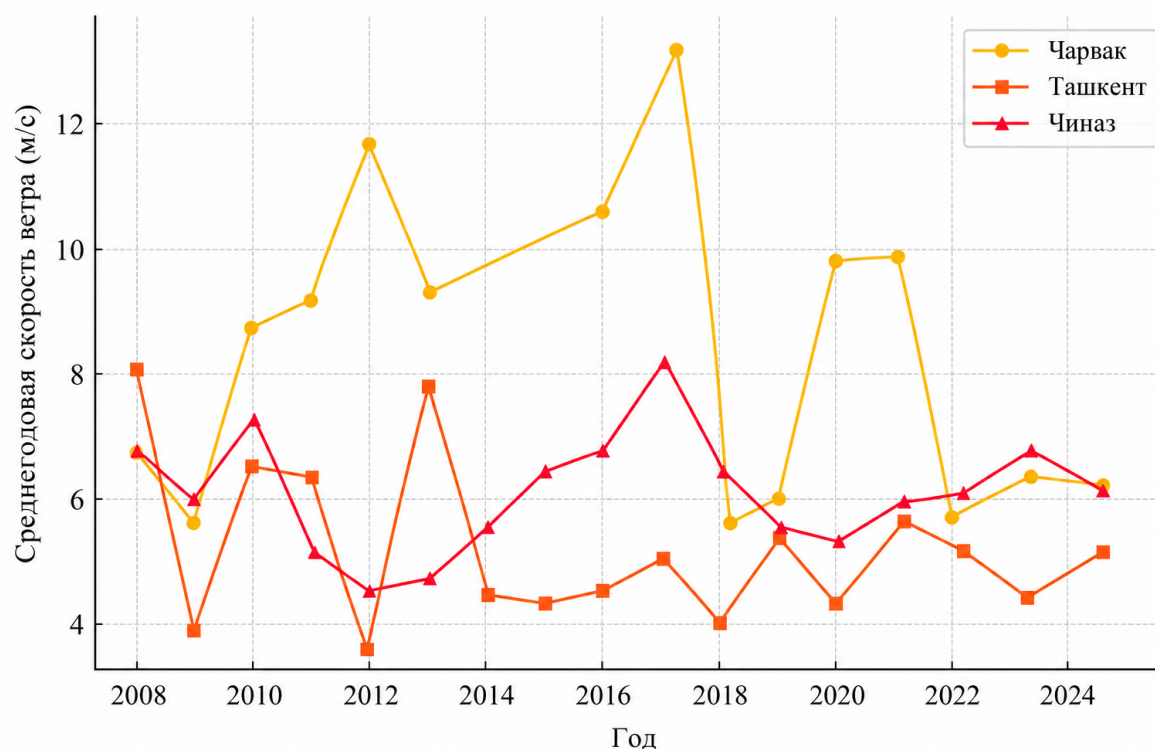


Рисунок 4. Динамика среднегодовой скорости ветра на станциях Чарвак, Ташкент и Чиназ в 2008–2024 гг.

Обсуждение

Результаты исследования показывают, что в бассейне реки Чирчик в 2008–2024 гг. наблюдалась тенденция к потеплению. Более выраженные тренды, зарегистрированные на равнинных станциях Ташкент и Чиназ по сравнению с горной станцией Чарвак, могут быть обусловлены совокупным влиянием высоты местности, характера земного покрова, урбанизации и локальной атмосферной циркуляции. В частности, одновременное повышение температуры воздуха и температуры поверхности суши по данным MODIS в Ташкенте указывает на возможное проявление эффекта городского острова тепла. Однако в настоящем исследовании вклад данного фактора отдельно не оценивался. Более быстрое повышение минимальных температур по сравнению с максимальными может свидетельствовать об ослаблении холодных зимних периодов. В горных бассейнах такие изменения способны влиять на сроки накопления и таяния снежного покрова и, следовательно, изменять начало весеннего стока. Вместе с тем речной сток, запасы снега и площадь ледников в данном исследовании непосредственно не анализировались. Поэтому влияние метеорологических изменений на режим стока реки Чирчик на данном этапе следует рассматривать как потенциальный гидрологический механизм, требующий подтверждения дополнительными наблюдениями.

Повышение температуры поверхности суши может усиливать испарение и эвапотранспирацию, ускорять иссушение почвы и увеличивать потери воды из водохранилищ и оросительных систем. В сельскохозяйственном производстве рост температуры влияет на водопотребность сельскохозяйственных культур, продолжительность вегетационного периода и урожайность. Поэтому при планировании распределения воды

необходимо учитывать не только многолетние средние значения, но и сценарии жарких и засушливых лет. Отсутствие устойчивого тренда в ряду осадков не означает отсутствия климатического риска. Напротив, резкий переход от влажных условий, наблюдавшихся в 2018–2020 гг., к засухе 2021 г. свидетельствует о высокой межгодовой неопределенности при управлении водными ресурсами. Во влажные годы особое значение приобретают противопаводковая защита и безопасная эксплуатация водохранилищ, тогда как в засушливые годы основными проблемами становятся дефицит оросительной воды и поддержание экологических попусков.

К основным ограничениям исследования относятся сравнительно короткий период наблюдений, отсутствие данных по отдельным годам на станции Чарвак, использование только трех метеорологических станций и отсутствие прямого анализа гидрологических показателей. Данные MODIS также содержат неопределенности, связанные с облачностью, размером пикселя и неоднородностью типов земного покрова. В дальнейших исследованиях целесообразно увеличить период наблюдений как минимум до 30 лет, применять непараметрические методы, включая тест Манна–Кендалла и оценку наклона Сена, а также совместно анализировать речной сток, снежный покров, испарение и изменения земного покрова.

Заключение

Данные за 2008–2024 гг. показали повышение температуры воздуха во всех исследованных частях бассейна реки Чирчик. Темп потепления на станциях Ташкент и Чиназ составил примерно 0,7–1,0 °C за десятилетие, тогда как на станции Чарвак — около 0,3–0,5 °C за десятилетие. Помимо высотных различий, более выраженному потеплению в равнинных районах могли способствовать урбанизация и особенности земного покрова.

Наблюдения MODIS показали, что температура поверхности суши была выше на урбанизированных и сухих территориях и имела тенденцию к повышению во времени. Такие изменения важны для оценки потерь на испарение, условий увлажнения почвы и потребности в оросительной воде. Осадки характеризовались высокой межгодовой изменчивостью. Хотя отдельные влажные и засушливые годы отчетливо выделялись, устойчивого и статистически значимого общего тренда в пределах бассейна не выявлено. Аналогично, для скорости ветра не установлено устойчивого долгосрочного изменения определенной направленности.

В целом основным метеорологическим сигналом, выявленным в бассейне реки Чирчик, является повышение температуры воздуха и поверхности суши. В сочетании с нестабильностью режима осадков этот процесс требует гибкого планирования управления водными ресурсами, использования сезонных прогнозов и разработки специальных сценариев управления для экстремальных лет. Для определения прямого влияния метеорологических тенденций на речной сток необходимы комплексные исследования с привлечением многолетних гидрологических наблюдений.

Список литературы

1. Didovets, I. Attribution of current trends in streamflow to climate change for 12 Central Asian catchments / I. Didovets, V. Krysanova, A. Nurbatsina [et al.] // *Climatic Change*. – 2024. – Т. 177. – DOI: 10.1007/s10584-023-03673-3.
2. Didovets, I. Central Asian rivers under climate change: Impacts assessment in eight representative catchments / I. Didovets, A. Lobanova, V. Krysanova [et al.] // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. – 2021. – Т. 34. – Art. 100779. – DOI: 10.1016/j.ejrh.2021.100779.
3. Fallah, B.H. Climate change impacts on Central Asia: Trends, extremes and future projections / B.H. Fallah, I. Didovets, M. Rostami [et al.] // *International Journal of Climatology*. – 2024. – Т. 34, № 10. – P. 3191–3213. – DOI: 10.1002/joc.8519.
4. Fallah, B.H. Anthropogenic influence on extreme temperature and precipitation in Central Asia / B.H. Fallah, E. Russo, C. Menz [et al.] // *Scientific Reports*. – 2023. – Т. 13. – Art. 6854. – DOI: 10.1038/s41598-023-33921-6.
5. Gafforov, K. Sh. The assessment of climate change on rainfall-runoff erosivity in the Chirchik–Akhangaran Basin, Uzbekistan / K. Sh. Gafforov, A. Bao, S. Rakhimov [et al.] // *Sustainability*. – 2020. – Т. 12, № 8. – Art. 3369. – DOI: 10.3390/su12083369.
6. Hanasaki, N. A global water scarcity assessment under Shared Socio-economic Pathways – Part 2: Water availability and scarcity / N. Hanasaki, S. Fujimori, T. Yamamoto [et al.] // *Hydrology and Earth System Sciences*. – 2013. – Т. 17. – P. 2393–2413. – DOI: 10.5194/hess-17-2393-2013.
7. Hou, M. Hydrological response to twenty-first century climate change in the Amu Darya Basin, Central Asia / M. Hou, L. Cuo, H. Xu // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. – 2025. – Т. 54. – Art. 102606. – DOI: 10.1016/j.ejrh.2025.102606.
8. Khamidov, S. Assessment of temperature and precipitation trends in Kashkadarya, Uzbekistan / S. Khamidov, Z. Li, M. Nasirova [et al.] // *E3S Web of Conferences*. – 2023. – Т. 365. – Art. 01005. – DOI: 10.1051/e3sconf/202336501005.
9. Kholmatjanov, B.M. Analysis of temperature change in Uzbekistan and the regional atmospheric circulation of Middle Asia during 1961–2016 / B.M. Kholmatjanov, Y.V. Petrov, T. Khujanazarov [et al.] // *Climate*. – 2020. – Т. 8, № 9. – Art. 101. – DOI: 10.3390/cli8090101.
10. Mohammad, P. The impact of the land cover dynamics on surface urban heat island variations in semi-arid cities: A case study in Ahmedabad City, India, using multi-sensor/source data / P. Mohammad, A. Goswami, S. Bonafoni // *Sensors*. – 2019. – Т. 19, № 17. – Art. 3701. – DOI: 10.3390/s19173701.
11. Ososkova, T. Water resources of Central Asia and adaptation measures for climate change / T. Ososkova, N. Gorelkin, V. Chub // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2000. – Т. 61. – P. 161–166. – DOI: 10.1023/A:1006394808699.
12. Peng, S. Assessment of climate change trends over the Loess Plateau in China from 1901 to 2100 / S. Peng, C. Gang, Y. Cao [et al.] // *International Journal of Climatology*. – 2018. – Т. 38. – P. 2250–2264. – DOI: 10.1002/joc.5331.

-
13. Sommer, R. Impact of climate change on wheat productivity in Central Asia / R. Sommer, M. Glazirina, T. Yuldashev [et al.] // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2013. – Т. 178. – P. 78–99. – DOI: 10.1016/j.agee.2013.06.011.
 14. Wu, T. The Beijing Climate Center Climate System Model (BCC-CSM): The main progress from CMIP5 to CMIP6 / T. Wu, Y. Lu, Y. Fang [et al.] // Geoscientific Model Development. – 2019. – Т. 12, № 4. – P. 1573–1600. – DOI: 10.5194/gmd-12-1573-2019.