

УДК (УДК) 551.583.13

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ ТРЕНДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ  
КАФИРНИГАН В ТАДЖИКИСТАНЕANALYSIS OF THE LONG-TERM TEMPERATURE TRENDS IN THE KOFARNIHON  
RIVER BASIN IN TAJIKISTANГулахмадов Н.А., Янинг Чен  
Gulahmadov N.A. Yaning ChenСиньцзянский институт экологии и географии Китайской академии наук (Урумчи, Китай)  
Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences (Urumqi, China)

**Аннотация.** В данном исследовании тренд и магнитудные изменения месячной и годовой температуры определялись путем применения непараметрического теста Манна-Кендалла, модифицированного теста Манна-Кендалла и метод оценивания наклона Сена в бассейне реки Кафирниган. Также тест Петтита использовался для анализа изменений в периоды 1951–2012 и 1979–2012 гг. В ходе исследования было выявлено, что сезонный тренд температуры зимой уменьшался, а весной значительно возрастал. Тенденция среднегодовой температуры на всех шести климатических станциях демонстрировала тенденцию к увеличению в период 1951–2012 гг. Десятилетний тренд температуры на всех станциях варьировался от 0,36 °C/декаду на станции Исамбай до –0,18 °C/декаду на станции Анзоб. Точки резкого изменения температуры воздуха произошли примерно в 1970-х годах в низкогорных районах, а в высокогорных районах - примерно в 2000-х годах.

**Ключевые слова:** температура, тренды, склон, изменение климата, бассейн реки Кафирниган.

**Дата принятия к публикации:** 15.06.2023  
**Дата публикации:** 25.06.2023

**Сведения об авторах:**

**Гулахмадов Некруз Абдуджабборович** – докторант, Государственная ключевая лаборатория экологии пустынь и оазисов, Синьцзянский институт экологии и географии Китайской академии наук (Урумчи),

*e-mail:* nekruz.abdujabborovich@inbox.ru

ORCID 0000-0001-7061-1809

**Чен Янинг** – профессор, Государственная ключевая лаборатория экологии пустынь и оазисов, Синьцзянский институт экологии и географии, Китайская академия наук, Урумчи 830011, Китай,

*e-mail:* chenyn@ms.xjb.ac.cn

ORCID 0000-0001-6742-1641

**Abstract.** In this study, the trend and magnitudinal changes of monthly and annual temperature was determined by applying the non-parametric Mann-Kendall, modified Mann-Kendall, and Sen's slope tests in the Kofarnihon River Basin. Also, Pettitt's test was used to analyze the changes during the 1951–2012 and 1979–2012 time periods. The study revealed that the seasonal temperature trend decreased in winter and significantly increased in spring. The mean annual temperature trend at all six climate stations exhibited an increasing trend during 1951–2012-time period. The decadal temperature trend at all stations varied from 0.36 °C/decade at Isambay station and –0.18 °C/decade at Anzob station. Abrupt change points in air temperature occurred around the 1970s in the low altitude areas and in the high altitude areas occurred around 2000.

**Keywords:** temperature, trends, slope, climate change, Kofarnihon River Basin.

**Date of acceptance for publication:** 15.06.2023  
**Date of publication:** 25.06.2023

**Authors' information:**

**Nekruz Gulahmadov** – Ph.D. student, State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China, *e-mail:* nekruz.abdujabborovich@inbox.ru

ORCID 0000-0001-7061-1809

**Yaning Chen** – Professor, State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China, *e-mail:* chenyn@ms.xjb.ac.cn

ORCID 0000-0001-6742-1641

### Благодарности

*Исследование выполнено при поддержке Национального фонда естественных наук Китая (проект U1903208)*

### Acknowledgements

*The study was supported by the grant of the National Natural Science Foundation of China (project No. U1903208)*

## 1. Введение

Горный бассейн реки Кафарниган (КРБ) в Центральной Азии имеет сильный локальный контраст из-за горного рельефа и считается наиболее уязвимой территорией в Центральной Азии к гидроклиматическим изменениям [1, 2]. Средняя глобальная температура во второй половине XX века повысилась на 0,6 °C [3]. Согласно пятому оценочному докладу (ДО5) Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), глобальный десятилетний тренд температуры суши увеличился за пять общих периодов (1880–2012 гг., 1901–1950 гг., 1951–2012 гг. и 1979–2012 гг.) [4-7]. В Северном полушарии снижение тренда глобального потепления наблюдается преимущественно зимой [8]. По данным Giese et al. [9] и Christensen et al. [10] в Центральной Азии средняя температура увеличилась с 1,2 до 2,1 °C и с 1 до 2 °C в течение 20 века. С 1950-х годов Центрально азиатский регион сталкивается с проблемой глобального потепления, превышающей средний показатель. Годовая температура в горном районе Центральной Азии имела тенденцию к повышению в период 1961–2005 гг. [11]. Манниг и др. [12] сообщили о том, что в горном регионе Центральной Азии с использованием региональной модели высокого разрешения (РЕМО) в период 1971-2000 годов был получен самый крупный климатический сигнал о температуре зимой. Яо и др. [13] подтвердили, что тренд годовой температуры сильно увеличился (0,14 °C/десятилетие) в бассейне реки Сырдарья в Центральной Азии. Тенденция среднегодовой температуры увеличилась (0,3 °C) в течение 1990-х годов в западном регионе Центральной Азии [13,14]. Аалто и др. [15] сообщили, что в Таджикистане среднегодовая температура повысилась с 1930-х годов, а средняя скорость из-

менения составляет около 0,1 °C за десятилетие [12].

Критерий Манна-Кендалла (МК) и модифицированный критерий Манна-Кендалла (ММК) [16, 17] широко используются и считаются общепринятым эффективным методом для оценки наличия статистически значимых трендов в климатических и гидрологических данных [18-21]. Для определения величины тренда и количественной оценки значимости трендов во временном ряду температуры использовался непараметрический метод теста наклона Сена (SST) [22,23]. Для обнаружения резкого тренда во временном ряду использовался тест Петтити [24] — широко используемый метод [25,26]. В этом исследовании мы приняли тесты МК, ММК, SST и Петтити. Целью настоящего исследования является исследование трендов температуры за многолетний и краткосрочный периоды (1951–2012 гг. и 1979–2012 гг.) относительно годовой и месячной температуры в бассейне реки Кафирниган.

## 2. Материалы и методы

### 2.1. Область исследования

Бассейн реки Кафирниган расположен в Центральной Азии, между 37° и 39° северной широты и 68° и 70° восточной долготы. Это один из северо-западных притоков Амударьи и трансграничная река между Таджикистаном и Узбекистаном. Климат Таджикистана определяется его географическим положением в пределах континента Евразия на границе субтропического и умеренного поясов. Для него характерны высокая интенсивность солнечной радиации, засушливость, низкая облачность, большая продолжительность солнечного сияния, резкие колебания суточных и сезонных температур, значительная запыленность воздуха. Но эти осо-

бенности по-разному проявляются в отдельных районах в силу особенностей орографического строения и разнообразия высот земной поверхности. В холодное время года над Таджикистаном и Средней Азией обычно располагается полярный фронт. Погодные условия формируются под влиянием холодного сухого воздуха, приходящего в виде циклонов с Атлантического океана. Климат бассейна реки Кафирниган континентальный с преобладанием западных ветров, с очень высокой локальной контрастностью из-за географического рельефа. Бассейн реки Кафирниган занимает на большинстве территорий горный климат, для которого характерны умеренные зимы в гористой расчлененной местности, холодные зимы в горных районах и летние сезоны с относительно большими годовыми колебаниями температуры. Расположение бассейна реки Кафирниган показано на рис. 1.

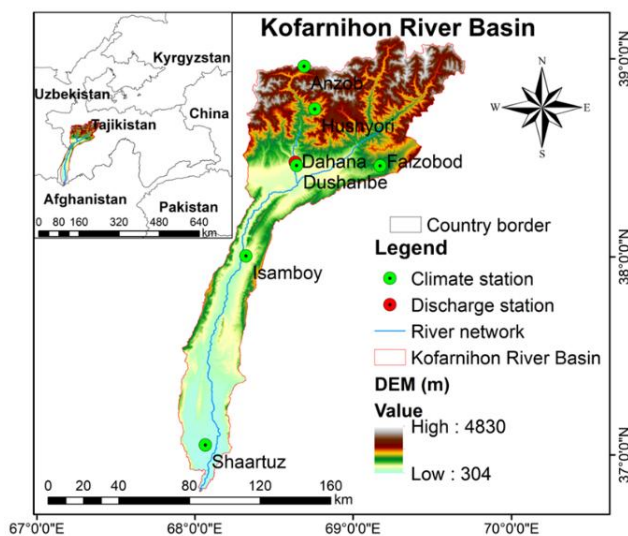


Рис. 1. Географическое положение и распределение метеостанций и гидрологических станций в районе исследования.

## 2.2. Данные и материалы

В этом исследовании мы использовали месячную температуру от шести метеостанций в бассейне реки Кафирниган в Центральной Азии (Таблица 1). Ежемесячные данные температуры были предоставлены Агентством по гидрометеорологии Комитета

по охране окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан. Для демаркации границы водосбора и речной сети в бассейне реки Кафирниган использовалось пространственное разрешение цифровой модели рельефа 30 м с веб-сайта топографической миссии Shuttle Radar [27]. Тип землепользования бассейна реки Кафирниган в масштабе сетки 300×300 м был рассчитан по данным спектрометра визуализации среднего разрешения Envisat [28]. Типы растительного покрова бассейна: водоем (0,01%), лес (0,82%), городская территория (1,55%), снег и лед (1,94%), травянистый покров (4,75%), голая земля (10,27%), кустарники (11,29%), пастбища (33,76%) и сельскохозяйственные угодья (35,62%). Для бассейна реки Кафирниган тип почвы был определен по версии 1.2 Согласованной Всемирной Базы данных (HWSD) почв в масштабе 1:5 000 000. HWSD находится в свободном доступе на веб-сайте Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций [29].

Таблица 1

Расположение исследуемой климатической станции с координатами и среднемесячными температуры воздуха (Т) для каждого сезона за период 1951–2012 гг.

№ ВМО	Климатическая станция	Широта (°N)	Долгота (°E)	Высота (m)	Т (°C)				Р (mm)			
					Зим.	Вес.	Лет.	Ос.	Зим.	Вес.	Лет.	Ос.
38719	Анзоб	39.50	68.52	3373	-1.8	(-11.5, -3.1, 8.4, -0.8)	308	(131, 31, 67, 79)				
38833	Хушер	38.53	68.50	1361	11.3	(0.3, 10.6, 22.4, 12.0)	1226	(403, 546, 67, 210)				
38845	Файзабад	38.32	69.19	1215	12.9	(1.8, 12.3, 24.0, 13.6)	838	(250, 439, 32, 117)				
38836	Душанбе	38.35	68.44	800	14.7	(3.5, 14.9, 25.8, 14.5)	643	(223, 323, 11, 86)				
38838	Исамбай	38.3	68.21	563	16.3	(3.6, 16.0, 29.1, 16.3)	311	(119, 149, 11, 32)				
38937	Шаартуз	36.58	68.20	378	17.5	(4.8, 18.3, 30.3, 16.7)	187	(74, 86, 6, 21)				

Межгодовое изменение температуры и осадков для всех шести метеостанций за период 1951–2012 гг. показан на рис. 2. Сезонная изменчивость температуры и осадков, характеризующаяся зимой (декабрь, январь и февраль), весной (март, май), лето (июнь, июль и август) и осень (сентябрь, октябрь и ноябрь). Наиболее холодными и жаркими

месяцами на всех метеостанциях являются январь и июль со средней минимальной и средней максимальной температурой от  $-12,1$  °C до  $+9,7$  °C на Анзобе, от  $-17$  °C до  $+24,2$  °C на Хушэри, от  $+0,4$  °C до  $+25,5$  °C, Душанбе от  $+2,3$  °C до  $+27,1$  °C, Исамбай от  $+1,9$  °C до  $+30,4$  °C, Шаартуз от  $+1,8$  °C до  $+31,4$  °C станции. Абсолютный максимум и минимум температуры на всех климатических станциях составляют от  $+24$  °C до  $-10$  °C на Анзобе, от  $+39$  °C до  $+3$  °C на Хушэри, от  $+41$  °C до  $-26$  °C на Файзабаде, от  $-27$  °C до  $+46$  °C в Душанбе, от  $+47$  °C до  $-27$  °C на Исамбае, от  $+47$  °C до  $-22$  °C на станциях Шаартуз в период 1951–2012 гг. Годовое количество осадков на шести контрольных станциях за период 1951–2012 гг. составляет 494 мм в Анзобе, 1188 мм в Хушэри, 841 мм в Файзабаде, 653 мм в Душанбе, Исамбай 306 мм и 252 мм на станциях Шаартуз.

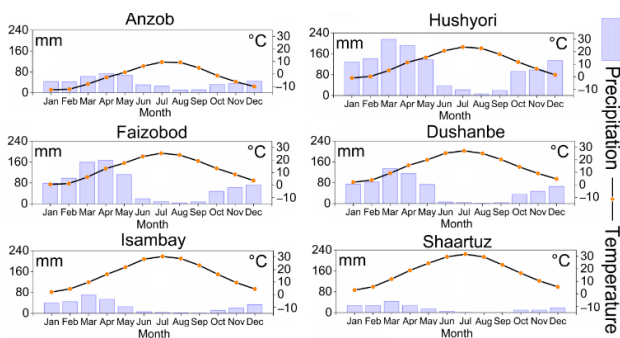


Рис. 2. Межгодовые изменения температуры и осадков за период 1951–2012 гг. в бассейне реки Кафирниган, Центральная Азия

Тенденции глобальной температуры после отчета МГЭИК о текущей температуре за десятилетие, в котором изучались наборы данных CRUTEM4.1.1.0, подготовленные Jones et al. [4], GHCNv3.2.0 Lawrimore et al. [5], GISS Hansen et al. [6] и Rohde et al. [7] в течение пяти исторических периодов времени, как показано на рис. 3 и в табл. 2.

### 3. Методология

Для оценки долгосрочной температуры во всем мире широко использовались статистические и сеточные методы [30,31]. В этом

исследовании на основе данных измерений на станциях для определения трендов применялись статистические методы критерия Манна-Кендалла (МК), модифицированного критерия Манна-Кендалла (ММК) и метод теста наклона Сена для долгосрочного временного ряда температуры. Для определения резких изменений также использовали тест Петгита. Подробное описание этих методов представлено в наших предыдущих исследованиях.

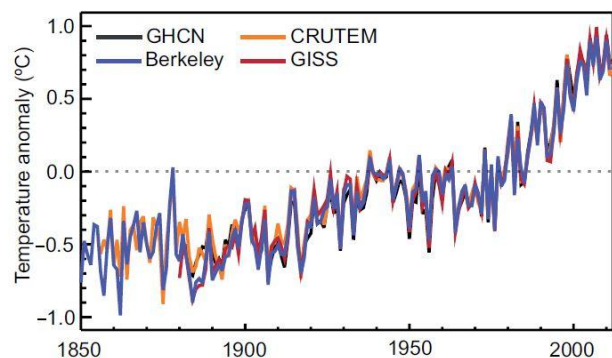


Рис. 3. Глобальные аномалии среднегодовой температуры приземного воздуха из четырех наборов данных Berkeley, CRUTEM, GHCN и GISS в сравнении с периодом 1961–1990 гг. (Источник: отчет МГЭИК, 2013 г.).

## 4. Методология

Для оценки долгосрочной температуры во всем мире широко использовались статистические и сеточные методы [30, 31]. В этом исследовании на основе данных измерений на станциях для определения трендов применялись статистические методы критерия Манна-Кендалла (МК), модифицированного критерия Манна-Кендалла (ММК) и метод теста наклона Сена для долгосрочного временного ряда температуры. Для определения резких изменений также использовали тест Петгита. Подробное описание этих методов представлено в наших предыдущих исследованиях.

### 4.1. Тест Манна-Кендалла

Тест МК - это непараметрический тест для выявления тенденций в данных временных рядов [32]. Используя линейную регрес-

сию, скорость тренда  $m_1$  определяли по уравнению (1):

$$y = m_1 x_t + c_0, \quad (1)$$

где  $x$  - температура за периоды 1951-2012 гг.

С помощью  $t$ -теста была подтверждена значимость  $m_1$ . Положительные и отрицательные значения  $m_1$  показывают тенденцию к увеличению и уменьшению температуры в определенных временных рядах [33]. Юэ и Ван [34] сообщили, что сила тренда зависит от величины тренда, размера выборки, скорректированного уровня значимости и количества изменений во временном ряду. Статистика теста МК ( $S$ ) определяется уравнением (2):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \operatorname{sgn}(X_j - X_k), \quad (2)$$

$$\operatorname{sgn}(X_j - X_k) = \begin{cases} \text{if } (X_j - X_k) > 0, +1 \\ \text{if } (X_j - X_k) = 0, 0 \\ \text{if } (X_j - X_k) < 0, -1 \end{cases}, \quad (3)$$

где  $n$  - длина набора данных;  $X_j, X_k$  - значения данных в моменты времени  $j$  и  $k$ ;  $\operatorname{sgn}$  - знаковая функция, которая принимает значения  $-1, 0$  и  $+1$ .

Результирующее значение  $S$  показывает восходящий или нисходящий тренд в наборах климатических данных.

$$\operatorname{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^p t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18}, \quad (4)$$

где  $p$  - связанная группа;  $t_k$  - количество наблюдений в  $-i$  группе.

По уравнению (5) определяют (STS) стандартизованную тестовую статистику (ZS):

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}, S < 0 \end{cases}, \quad (5)$$

где  $Z_S$  показывает значимость тренда.

STS применяется для проверки нулевой гипотезы,  $H_0$ , если  $Z_S > Z_{\alpha/2}$ , а  $\alpha$  показывает уровень достоверности. В этом исследовании, если тенденция во временном ряду температуры является статистически значимой

при уровне значимости  $\alpha=0,01$  (или 99% доверительных интервалов),  $\alpha=0,05$  (или 95% доверительных интервалов) и  $\alpha=0,1$  (или 90% доверительных интервалов). На уровне значимости 1%, 5% и 10% нулевая гипотеза об отсутствии тренда отвергается, если  $Z_S > 1.45$ ,  $Z_S > 1.96$  и  $Z_S > 2.56$ , соответственно.

## 4.2. Тест Сена на наклон

С помощью метода теста наклона Сена была рассчитана величина тренда во временном ряду. Наклон пары данных "n" был сначала рассчитан с использованием уравнения (6):

$$Q = \frac{X_j - X_k}{j - k} \text{ if } k < j, \quad (6)$$

где  $X_j, X_k$  - значения данных в моменты времени  $j$  и  $k$ .

Медиана значений «n»  $Q$  является оценкой наклона Сена. Положительные и отрицательные значения  $Q$  представляют тенденцию к увеличению и уменьшению в наборах данных о температуре. Наклоны  $Q$  значений «n» были ранжированы от низкого к высокому, и оценка Сена может быть рассчитана с использованием уравнения (7).

$$\begin{aligned} \text{Оценка Сена} &= Q_{\frac{n+1}{2}} \text{ если } n \text{ нечетное,} \\ &\frac{1}{2} \left[ Q_{\frac{n}{2}} + Q_{\frac{n+1}{2}} \right] \text{ если } n \text{ четное} \end{aligned} \quad (7)$$

## 4.3. Тест Петтита

Для обнаружения одной точки изменения во временном ряду температуры с непрерывными данными применяется подход Петтита [24]. Обычно, если в ряду существуют соседние точки изменения, максимальное значение  $K_T$  будет определяться как точка изменения:

$$K_T = \max |U_{t,T}| \quad (8)$$

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \operatorname{sgn}(X_i + X_j) \quad (9)$$

Если  $|U_{t,T}|$  увеличивается со временем  $t$ , это означает, что последовательность не имеет

точки разладки; и наоборот, если  $|U_{t,T}|$  показывает тенденцию к уменьшению в зависимости от времени  $t$ , это показывает, что в ряду произошла точка изменения. Точка изменения ряда находится в  $K_T$  при условии, что статистика значима. Вероятность значимости  $K_T$  аппроксимируется для  $p \leq 0.05$  с

$$p = 2 \exp\left(\frac{-6K_T^2}{T^3 + T^2}\right). \quad (10)$$

#### 4.4. Программный пакет Modified MK»

Модифицированный тест МК, введенный Хамедом и Рао [35], использовался для оценки тренда данных серийной корреляции. Позже Юэ и др. [36] ввели непараметрический модифицированный метод тренда МК, который подходит для автокоррелированных данных на основе модифицированного значения дисперсии тестовой статистики. Было обнаружено, что точность модифицированного теста с точки зрения эмпирической значимости выше, чем у оригинального теста тренда Манна-Кендалла без какой-либо потери мощности. Пакет библиотеки открытого курса под названием «modified mk» был разработан на языке R [37]. Пакет «modified mk» применялся для вычисления непараметрического критерия Манна-Кендалла и всех модифицированных версий критерия Манна-Кендалла, упомянутых в настоящем исследовании. Пакет «modifiedmk» в настоящее время доступен бесплатно через репозиторий CRAN и платформу управления версиями Github [38]. Выражение скорректированной дисперсии вычисляется, как указано ниже, а значение  $Z$  находится из уравнений (11) и (12) [36]:

$$V(S) = \text{Var}(S) \times \frac{n}{n_s^*} = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \times \frac{n}{n_s^*}, \quad (11)$$

$$\frac{n}{n_s^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \times \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-2)\rho_s(i), \quad (12)$$

где  $n/n_s^*$  - поправка, обусловленная автокорреляцией данных;  $n$  - фактическое количество наблюдений;  $\rho_s(i)$  - автокорреляция рангов наблюдений.

Результаты всех методов МК, ММК, тестов Сена и Петтита были получены с использованием программного обеспечения RStudio версии 3.4.4.

## 5. Результаты

На основании многолетних стационарных данных в бассейне реки Кафирниган были определены тренд и изменение магнитуды месячной и годовой температуры с применением непараметрического теста Манна-Кендалла, модифицированного теста Манна-Кендалла и наклонного теста Сена. Кроме того, мы использовали тест Петтита для анализа изменений в периоды 1951–2012 и 1979–2012 годов. В этом исследовании наличие данных наблюдений гидроклиматических измерений в бассейне реки Кафирниган и их использование для регионального анализа имеют важное значение для получения всесторонних результатов гидроклиматической изменчивости в последние десятилетия. Кроме того, мы представили анализ тренда температуры из отчета МГЭИК 2013 г. исключительно в демонстрационных целях, поскольку период нашего исследования в бассейне реки Кафирниган совпадает с периодом отчета МГЭИК 2013 г. (табл. 3 и 6). В континентальном и глобальном масштабах для анализа трендов большинство исследований выполнялось на основе данных с привязкой к сетке, что имеет большую неопределенность, чем использование данных наблюдений. В глобальном масштабе анализ трендов в отчете МГЭИК за 2013 г. был описан на основе наборов данных, таких как CRUTEM, GHCNv3, GISS и Berkeley, для исследований температурных трендов.

### 5.1. Трендовый анализ сезонной температуры в бассейне реки Кафирниган

Тренд сезонной температуры на шести климатических станциях в период 1951–2012

и 1979–2012 гг. в бассейне реки Кафирниган показан в Таблице 2. Результат оригинального теста МК показал значительную тенденцию к увеличению среднемесячной температуры за период 1951–2012 гг. весной (март, апрель и май), летом (июнь, июль и август) и осенью (сентябрь, октябрь и ноябрь) при пяти климатических станциях, кроме станции Анзоб, тогда как зимой (декабрь, январь и февраль) была обнаружена тенденция к снижению. В низкогорных районах изменение среднемесячной температуры было несколько затруднено, особенно на станции Душанбе. На этой станции среднемесячная температура имела тенденцию к росту в период 1951–2012 гг. во все месяцы, следовательно, в период 1979–2012 гг. имела тенденцию к снижению в течение девяти месяцев, кроме февраля, марта и апреля. Первоначальный тест МК средней сезонной температуры за периоды 1951–2012 и 1979–2012 гг. обобщил, что на большой высоте бассейна реки Кафирниган тренд летней температуры значительно увеличился, а тренд зимней температуры значительно уменьшился в период 1951–2012 гг. В низкогорных районах за период 1979–2012 гг. тренд весенней и осенней температуры увеличился, а зимняя температура снизилась на всех шести станциях. Вывод о зимнем похолодании в нашем бассейне согласуется с результатами Лю и др. [39] и Ванга и др. [40]. Евразийский тренд зимнего похолодания в период 1998–2012 гг. в основном является результатом внутренней атмосферной изменчивости и представляет собой экстремальное климатическое явление. Кроме того, наблюдаемое сокращение арктического морского льда увеличивает вероятность евразийской зимы и, таким образом, увеличивает вероятность экстремально-го евразийского зимнего похолодания [39]. Восточная Азия испытала более холодную зиму и значительные отрицательные аномалии приземной температуры воздуха во время недавней сильной восточноазиатской эпохи зимних муссонов, охватывающей период 2004–2012 гг. [40]. Похолодание в целом совпадало с трендами отрицательных зимних температур в восточной части Евразии в последние два десятилетия, что, воз-

можно, способствовало наблюдаемому региональному похолоданию. Предполагается, что повышенная блокирующая активность в зимнее время вокруг Уральского горного региона и уменьшение концентрации арктического морского льда являются ответственным внутренним атмосферным процессом и внешним фактором недавнего повторного усиления зимнего муссона в Восточной Азии [40].

Таблица 2  
 Сезонный тренд температуры и оригинальный тест Манна-Кендалла в бассейне реки Кафирниган

Климатическая станция	Анзоб	Хушерн	Файзабад	Душанбе	Исамбай	Шаартуз
Высота над уровнем моря (m)	3373	1361	1215	800	563	378
Период	1951–2012					
Январь	-1.756*	+0.164	+0.523	+1.015	+1.483	+1.713*
Февраль	-1.051	+0.03	+0.741	+0.286	+0.583	+0.207
Март	-0.912	+1.107	+1.853*	+2.011*	+2.061*	+1.593
Апрель	+0.985	+2.978***	+2.559**	+2.595**	+2.638**	+2.000*
Май	+0.359	+0.694	+1.137	+1.252	+1.252	+1.574
Июнь	1.951*	+0.48	+1.679*	+2.013*	+1.618	+4.142***
Июль	+0.401	-1.089	-0.48	+2.469*	+0.693	+2.569*
Август	+2.037**	+0.0001	+0.657	+5.015***	+0.894	+4.076***
Сентябрь	+1.958*	+0.500	+0.657	+4.346***	+1.758*	+4.033***
Октябрь	+1.526	+0.420	+0.900	+3.027**	+1.465	+2.875**
Ноябрь	+1.641	+1.994**	+1.525	+2.200*	+2.352*	+2.540*
Декабрь	-1.118	-0.237	+0.316	+1.616	+0.748	+0.912
Период	1979–2012					
Январь	-2.567*	-0.356	-0.282	-0.104	+1.350	+1.305
Февраль	-1.202	+0.030	+0.504	+0.163	+1.023	+0.430
Март	+0.519	+2.539*	+2.536*	+2.136*	+3.294***	+2.374*
Апрель	+0.001	+1.959*	+0.608	+0.445	+1.721*	+0.519
Май	-0.015	+0.891	+0.341	-0.386	+0.519	+0.222
Июнь	+0.668	+1.232	+0.816	-1.203	+0.742	+1.072
Июль	-1.483	-0.386	-1.959*	-2.420*	+0.297	-0.878
Август	+1.173	+1.635	+0.134	-0.460	+1.885*	+1.591
Сентябрь	+0.817	+2.186*	+1.276	-0.564	+2.213*	+2.467*
Октябрь	+1.231	+1.708*	+1.381	-0.044	+2.240*	+2.003*
Ноябрь	-0.875	-0.030	-1.320	-1.483	-0.015	-0.163
Декабрь	-2.790**	-1.217	-1.735*	-1.143	-1.142	-1.113

Проверяемые уровни значимости: \*\*\* для  $p < 0.001$ , \*\* для  $p < 0.01$ , \* для  $p < 0.05$ , NS для  $p \geq 0.1$ .

## 5.2. Анализ трендов годовой и десятилетней температуры

Был рассчитан тренд температуры за десятилетие в течение периодов времени за 1951–2012 и 1979–2012 гг., которые соответствуют периоду тренда температуры земного шара на основе тренда за десятилетие (T/D), как показано в табл. 3.

Таблица 3

Линейный тренд глобальной температуры приземного воздуха за два периода, 1951–2012 гг., 1979–2012 гг. (МГЭИК, 2013)

Температурный тренд (°C за десятилетие)		
Набор данных	Земельные площади по всему миру 1951–2012	Земельные площади по всему миру 1979–2012
Climatic Research Unit Temperature Anomalies Over Land version 4 (CRUTEM4.1.1.0) [4]	0.175 ± 0.037	0.254 ± 0.050
Global Historical Climatology Network Version 3 (GHCNv3.2.0) [5]	0.197 ± 0.031	0.273 ± 0.047
Goddard Institute of Space Studies (GISS) [6]	0.188 ± 0.032	0.267 ± 0.054
Berkeley [7]	0.175 ± 0.029	0.254 ± 0.049

Результаты годового тренда температуры за десятилетие, теста наклона Сена, обнаружения резких изменений, а также исходного и модифицированного тестов тренда Манна-Кендалла показаны в табл. 4. Тренд среднегодовой температуры показал тенденцию к увеличению в течение периода 1951–2012 гг. Самые высокие температурные тренды 0,25°C/декада и 0,23°C/декада на станциях Душанбе и Шаартуз и самые низкие 0,01°C/декада на станциях Анзоб и 0,07°C/декада на станциях Хушери. Согласно оригинальному и модифицированному тестам МК тренд среднегодовой температуры показал тенденцию к увеличению в период 1951–2012 гг., что соответствует линейному тренду глобальной температуры приземного воздуха (табл. 3). С 1930-х годов среднегодовые температуры повысились, и средняя скорость изменения составляет около 0,1 °C за десятилетие в Таджикистане [15]. Для пяти климатических станций, участвовавших в этом исследовании, тренд среднегодовой температуры показал значимую тенденцию к увеличению в период 1951–2012 гг., за исключением станции Анзоб, где был обнаружен несущественный тренд. Среди опорных станций Анзоб расположена на самой большой высоте по сравнению с другими станциями в водосборе.

Температурный тренд за десятилетие в период 1979–2012 гг. на всех станциях колебался от 0,36 °C/декаду до –0,18 °C/декаду (рис. 5). Наши результаты тренда температуры за десятилетие в основном соответствуют линейному тренду глобальной температуры поверхности воздуха. Существует очень не-

Таблица 4

Годовые тренды температуры за декаду (T/D), наклон Сена, анализ резких точек, а также оригинальный и модифицированный критерий Манна-Кендалла (МК) для тренда (Z) в бассейне реки Кафирниган

1951–2012, °C							
Климатическая станция	Резкое изменение	Z (модифицированный)	Z (оригинальный)	T/D	P-значение	Наклон	Значимость на основе модифицированного теста МК
Анзоб	2007	0.914	0.413	0.012	0.360	0.002	NS
Хушери	1998	2.473	1.385	0.067	0.013	0.006	**
Файзабад	1976	6.078	2.229	0.122	0.000	0.012	***
Душанбе	1976	7.593	4.610	0.253	0.000	0.024	***
Исамбай	1996	6.046	3.608	0.192	0.000	0.017	***
Шаартуз	1978	9.997	4.574	0.228	0.000	0.022	***
1979–2012, °C							
Анзоб	2007	-1.713	-0.978	-0.185	0.086	-0.017	*
Хушери	1998	4.147	2.239	0.257	0.000	0.025	***
Файзабад	1996	0.755	0.400	0.051	0.450	0.003	NS
Душанбе	1990	-0.771	-0.252	-0.049	0.440	-0.003	NS
Исамбай	1996	6.836	3.528	0.367	0.000	0.036	***
Шаартуз	1997	5.431	2.283	0.216	0.000	0.024	***

Проверяемые уровни значимости: \*\*\* для  $p < 0.001$ , \*\* для  $p < 0.01$ , \* для  $p < 0.05$ , NS для  $p \geq 0.1$ .

большое несоответствие в диапазоне значений между нашими результатами в таблице 4 и наборами данных в табл. 2. Это небольшое несоответствие в диапазоне значений может быть связано с использованием данных наблюдений в текущем исследовании, которые представляют более точные результаты в масштабе бассейна. Кроме того, результаты первоначального и модифицированного испытаний МК показали значительный тренд роста среднегодовой температуры на станциях Хушери, Исамбай и Шаартуз, в то время как на станции Анзоб в период 1979–2012 гг. обнаружен значительный тренд снижения. Это несоответствие в тренде температуры может быть связано с топографией бассейна. Результаты теста Петгита показали, что изменение температуры от низких до больших высот происходило в разные периоды. В период 1951–2012 гг. точка изменения на большинстве станций показывалась после 1976 г., а в период 1979–2012 гг. – после 1990-го, за исключением станции Анзоб, тогда как точка изменения приходилась на 2007 г. в периоды 1951–2012 и 1979–2012 гг. Результаты теста Петгита показали, что рез-



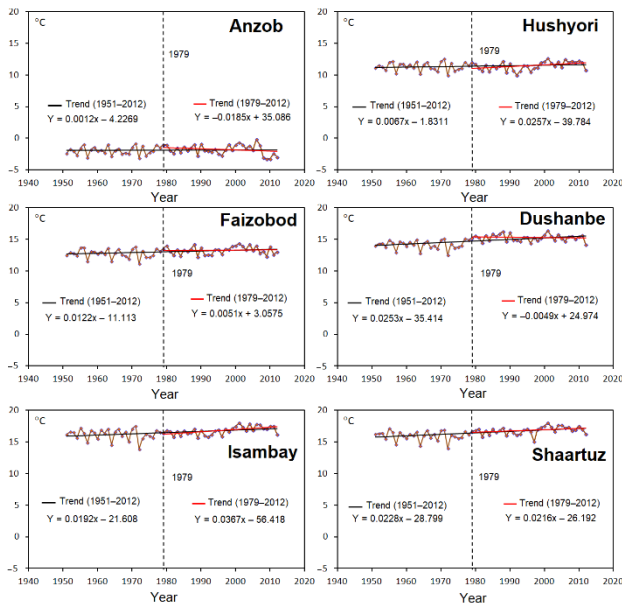


Рис. 5. Межгодовые колебания и тренды годовой температуры за период 1951–2012 гг. в бассейне реки Кафирниган, Центральная Азия

кая смена в высокогорных районах произошла позже, чем в среднегорных и низкогорных районах в бассейне реки Кофарниган.

## 6. Обсуждение результатов

Река Кафирниган является одним из северо-западных притоков Амударьи. Климат бассейна континентальный под влиянием западного ветра, приводящего к значительным сезонным изменениям температуры [15]. Эти изменения обусловлены горным рельефом бассейна, который имеет очень высокую локальную контрастность [1,41]. Горная часть этого бассейна является наиболее уязвимой территорией Центральной Азии к гидроклиматическим изменениям [2]. Настоящее исследование посвящено изучению последних трендов десятилетней, годовой и сезонной температуры за период 1951–2012 и 1979–2012 годов в бассейне реки Кафирниган в Центральной Азии.

Результат теста МК показал, что тренд летней температуры значительно увеличился, а тренд зимней температуры значительно уменьшился в период 1951–2012 гг. в высокогорье бассейна реки Кафирниган. В низкогорных районах за период 1979–2012 гг.

тренд весенней и осенней температуры увеличился, а зимняя температура снизилась на всех шести станциях. Наши результаты сезонного температурного тренда также подтверждают выводы исследования Манниг и др. [12], в которых сообщалось, что сигнал климатических изменений температуры наибольший зимой в горных районах Центральной Азии. Исследователь Пиао и др. [42] сообщил, что снижение тренда потепления в основном происходило зимой в северном полушарии земного шара. Аналогичные результаты были представлены исследователем Пачаури и др. [42] для тренда зимней температуры на земном шаре в последние десятилетия. Кроме того, исследователи Ли и др. [39] и Ванг и др. [40] подтвердили, что в Восточной Азии зимняя температура снижается в периоды 1998–2012 и 2004–2012 гг. Уменьшение вероятности экстремальной евразийской зимней температурной тенденции может быть связано с сокращением арктического морского льда, что повышает вероятность евразийской зимы [39].

В данном исследовании тренд среднегодовой температуры в основном демонстрировал тенденцию к повышению в периоды 1951–2012 и 1979–2012 годов. Эти результаты в соответствии с результатами Чевалиер и др. [14], которые показали, что в горном регионе Таджикистана наблюдается общая однородная тенденция повышения температуры. Аалто и др. [15] отмечают, что с 1930-х гг. среднегодовые температуры в Таджикистане повысились. Исследователи Гизе и др. [9] и Кристенсен и др. [10] показали, что Центральная Азия сталкивается с глобальным потеплением выше среднего, с 1950-х годов средняя температура увеличилась на 1,2–2,1 °С, а в течение 20 века она увеличилась на 1–2 °С. Наши результаты согласуются с глобальным трендом температуры приземного воздуха, как показано в Таблицах 3 и 4 [4-7]. В основном изменения климата в Таджикистане лимитируются разнообразием топографических ситуаций, обусловленных адиабатическими процессами [43]. На изменения температуры, вероятно, влияют и другие факторы, такие как солнечная радиация и дренаж холодного воздуха в горных районах

[44]. Другими возможными причинами повышения температуры в бассейне реки Кафирниган может быть повышение концентрации аэрозолей и парниковых газов в атмосфере региона. Исследователь Синь и др. [45] сообщили, что над Китаем и Центральной Азией тенденция к повышению концентрации аэрозолей в атмосфере может вызвать существенное повышение температуры. Исследователь Болласина и др. [46] подтвердили, что в Азии концентрация атмосферных аэрозолей неуклонно растет. Точно так же Фолини и др. [47] сообщили, что выбросы аэрозолей в 20-м веке увеличились в связи с огромным ростом населения и индустриализацией.

Мы пришли к выводу, что среднегодовая температура имеет тенденцию к повышению. Анализ гидроклиматических тенденций, основанный на данных наблюдений в масштабе бассейна, необходим местным агрономам и гидроэнергетикам, а также лицам, принимающим решения, для разработки новых стратегий реагирования на аномальные гидроклиматические условия. Дальнейшие исследования могут быть сосредоточены на сочетании анализа трендов данных наблюдений с данными глобальных климатических моделей в сочетании с гидрологической моделью для прогнозирования воздействия изменения климата и антропогенной деятельности на водные ресурсы в бассейне реки Кафирниган.

## 7. Заключение

В этом исследовании анализируются тренды, резкие изменения и периоды годовой и сезонной температуры. Мы применили непараметрический тест Манна-Кендалла, модифицированный тест Манна-Кендалла и критерий наклона Сена к ежемесячным и годовым климатическим переменным, чтобы определить тренд и магнитудные изменения в бассейне реки Кафирниган в Центральной Азии. Кроме того, мы использовали тест Петтитта для анализа изменений в периоды 1951–2012 и 1979–2012 годов. По результатам вышеприведенного анализа можно сделать следующие выводы.

Средняя месячная температура имела тенденцию к значительному повышению весной, летом и осенью на пяти климатических станциях, кроме станции Анзоб, тогда как зимой в период 1951–2012 годов была обнаружена тенденция к снижению. В низкогорных районах бассейна реки Кафирниган за период 1979–2012 гг. тренды весенней и осенней температуры увеличились, а зимняя – снизилась на всех шести климатических станциях. Среднесезонная температура резюмировала, что в высокогорных районах бассейна реки Кафирниган тренд летней температуры значительно увеличился, а тренд зимней температуры значительно снизился в периоды 1951–2012 и 1979–2012 гг. Среднегодовая температура на всех станциях демонстрировала тенденцию к повышению в период 1951–2012 гг., при этом самые высокие тренды составляли 0,25 °C/декаду в Душанбе и 0,23 °C/декаду на станции Шаартуз, а самые низкие – 0,01 °C/декаду на станции Анзоб и 0,07 °C/десятилетие на станции Хусёри. За период 1979–2012 гг. на четырех станциях наблюдалась положительная тенденция, а на станциях Анзоб и Душанбе – отрицательная. Тренды на всех шести станциях варьируются от 0,36 °C/декаду на Исамбай до –0,18 °C/декаду на станции Анзоб. Точка разлома пришлась в основном на 1970-е и 1990-е годы для всех станций, кроме станции Анзоб, тогда как точка разлома появилась в 2007 году в бассейне реки Кафирниган в Средней Азии.

В этом исследовании анализировалась только пространственно-временная изменчивость температуры и не учитывалось влияние антропогенной деятельности. В дальнейшем следует выбрать соответствующие показатели для дальнейшего изучения и проанализировать влияние антропогенной деятельности. Выявлено, что гидроклиматическая изменчивость в верховьях бассейна реки Кафирниган влияет на колебания воды в низовьях. Наши выводы в этом исследовании обеспечат научную теоретическую основу для решения водных проблем в условиях продолжающегося изменения климата.

## Список литературы

1. Williams M. Konovalov V. Central Asia temperature and precipitation data, 1879–2003. Boulder, Colorado: USA National Snow and Ice Data Center 2008.
2. World Bank. Key Issues for Consideration on the Proposed Rogun Hydropower Project. Available online: <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/Event/ECA/central-asia/> (accessed on 10 September 2018).
3. Solomon S., Manning M., Marquis M., Qin D. Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC; Cambridge university press: 2007; Vol. 4.
4. Jones P., Lister D., Osborn T., Harpham C., Salmon M., Morice C. Hemispheric and large scale land surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010 // Journal of Geophysical Research: Atmospheres 2012, 117.
5. Lawrimore J.H., Menne M.J., Gleason B.E., Williams C.N., Wuertz D.B., Vose R.S., Rennie J. An overview of the Global Historical Climatology Network monthly mean temperature data set, version 3 // Journal of Geophysical Research: Atmospheres 2011, 116.
6. Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. Global surface temperature change // Reviews of Geophysics 2010, 48.
7. Rohde R., Muller R., Jacobsen R., Muller E., Perlmuter S., Rosenfeld A., Wurtele J., Groom D., Wickham C. A New Estimate of the Average Earth Surface Land Temperature Spanning 1753 to 2011, Geoinfor Geostat: An Overview 1: 1. of 2013, 7, 2.
8. Cohen J.L., Furtado J.C., Barlow M., Alexeev V.A., Cherry J.E. Asymmetric seasonal temperature trends // Geophysical Research Letters 2012, 39.
9. Giese E., Mossig I., Rybski D., Bunde A. Long-Term Analysis of Air Temperature Trends in Central Asia (Analyse langjähriger Zeitreihen der Lufttemperatur in Zentralasien) // Erdkunde 2007, 186-202.
10. Christensen J.H., Hewitson B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held R., Jones R., Kolli R.K., Kwon W., Laprise R. Regional climate projections. In: Climate Change, 2007: The

## References

1. Williams, M.; Konovalov, V. Central Asia temperature and precipitation data, 1879–2003. Boulder, Colorado: USA National Snow and Ice Data Center 2008.
2. World Bank. Key Issues for Consideration on the Proposed Rogun Hydropower Project. Available online: <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/Event/ECA/central-asia/> (accessed on 10 September 2018).
3. Solomon, S.; Manning, M.; Marquis, M.; Qin, D. Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC; Cambridge university press: 2007; Vol. 4.
4. Jones, P.; Lister, D.; Osborn, T.; Harpham, C.; Salmon, M.; Morice, C. Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 2012, 117.
5. Lawrimore, J.H.; Menne, M.J.; Gleason, B.E.; Williams, C.N.; Wuertz, D.B.; Vose, R.S.; Rennie, J. An overview of the Global Historical Climatology Network monthly mean temperature data set, version 3. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 2011, 116.
6. Hansen, J.; Ruedy, R.; Sato, M.; Lo, K. Global surface temperature change. Reviews of Geophysics 2010, 48.
7. Rohde, R.; Muller, R.; Jacobsen, R.; Muller, E.; Perlmuter, S.; Rosenfeld, A.; Wurtele, J.; Groom, D.; Wickham, C. A New Estimate of the Average Earth Surface Land Temperature Spanning 1753 to 2011, Geoinfor Geostat: An Overview 1: 1. of 2013, 7, 2.
8. Cohen, J.L.; Furtado, J.C.; Barlow, M.; Alexeev, V.A.; Cherry, J.E. Asymmetric seasonal temperature trends. Geophysical Research Letters 2012, 39.
9. Giese, E.; Mossig, I.; Rybski, D.; Bunde, A. Long-Term Analysis of Air Temperature Trends in Central Asia (Analyse langjähriger Zeitreihen der Lufttemperatur in Zentralasien). Erdkunde 2007, 186-202.
10. Christensen, J.H.; Hewitson, B.; Busuioc, A.; Chen, A.; Gao, X.; Held, R.; Jones, R.; Kolli, R.K.; Kwon, W.; Laprise, R. Regional climate projections. In Climate

Physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University Press, Cambridge, Chapter 11, 2007; pp. 847-940.

11. Zhang H., Ouyang Z., Zheng H., Wang X. Recent climate trends on the northern slopes of the Tianshan Mountains, Xinjiang, China // Journal of Mountain Science 2009, 6, 255-265.

12. Mannig B., Müller M., Starke E., Merckenschlager C., Mao W., Zhi X., Podzun R., Jacob D., Paeth H. Dynamical downscaling of climate change in Central Asia. Global and planetary change 2013, 110, 26-39.

13. Yao J., Chen Y. Trend analysis of temperature and precipitation in the Syr Darya Basin in Central Asia // Theoretical and applied climatology 2015, 120, 521-531.

14. Chevallier P., Pouyaud B., Mojaïsky M., Bolgov M., Olsson O., Bauer M., Froebrich J. River flow regime and snow cover of the Pamir Alay (Central Asia) in a changing climate // Hydrological Sciences Journal 2014, 59, 1491-1506.

15. Aalto J., Kämäräinen M., Shodmonov M., Rajabov N., Venäläinen A. Features of Tajikistan's past and future climate // International Journal of Climatology 2017, 37, 4949-4961.

16. Mann H.B. Nonparametric tests against trend // Econometrica: Journal of the Econometric Society 1945, 245-259.

17. Kendall M.G. Rank Correlation Methods. Griffin. London 1975.

18. Norrant C., Douguédroit A. Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000) // Theoretical and Applied Climatology 2006, 83, 89-106.

19. Tan M.L., Samat N., Chan N.W., Lee A.J., Li C. Analysis of precipitation and temperature extremes over the Muda River Basin, Malaysia // Water 2019, 11, 283.

20. Yagbasan O., Demir V., Yazicigil H. Trend Analyses of Meteorological Variables and Lake Levels for Two Shallow Lakes in Central Turkey // Water 2020, 12, 414.

21. Patakamuri S.K., Muthiah K., Sridhar V. Long-Term Homogeneity, Trend, and Change-Point Analysis of Rainfall in the Arid District of Ananthapuramu, Andhra Pradesh State, India. Water 2020, 12, 211.

Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, University Press, Cambridge, Chapter 11, 2007; pp. 847-940.

11. Zhang, H.; Ouyang, Z.; Zheng, H.; Wang, X. Recent climate trends on the northern slopes of the Tianshan Mountains, Xinjiang, China. Journal of Mountain Science 2009, 6, 255-265.

12. Mannig, B.; Müller, M.; Starke, E.; Merckenschlager, C.; Mao, W.; Zhi, X.; Podzun, R.; Jacob, D.; Paeth, H. Dynamical downscaling of climate change in Central Asia. Global and planetary change 2013, 110, 26-39.

13. Yao, J.; Chen, Y. Trend analysis of temperature and precipitation in the Syr Darya Basin in Central Asia. Theoretical and applied climatology 2015, 120, 521-531.

14. Chevallier, P.; Pouyaud, B.; Mojaïsky, M.; Bolgov, M.; Olsson, O.; Bauer, M.; Froebrich, J. River flow regime and snow cover of the Pamir Alay (Central Asia) in a changing climate. Hydrological Sciences Journal 2014, 59, 1491-1506.

15. Aalto, J.; Kämäräinen, M.; Shodmonov, M.; Rajabov, N.; Venäläinen, A. Features of Tajikistan's past and future climate. International Journal of Climatology 2017, 37, 4949-4961.

16. Mann, H.B. Nonparametric tests against trend. Econometrica: Journal of the Econometric Society 1945, 245-259.

17. Kendall M.G. Rank Correlation Methods. Griffin. London 1975.

18. Norrant, C.; Douguédroit, A. Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000). Theoretical and Applied Climatology 2006, 83, 89-106.

19. Tan, M.L.; Samat, N.; Chan, N.W.; Lee, A.J.; Li, C. Analysis of precipitation and temperature extremes over the Muda River Basin, Malaysia. Water 2019, 11, 283.

20. Yagbasan, O.; Demir, V.; Yazicigil, H. Trend Analyses of Meteorological Variables and Lake Levels for Two Shallow Lakes in Central Turkey. Water 2020, 12, 414.

21. Patakamuri, S.K.; Muthiah, K.; Sridhar, V. Long-Term Homogeneity, Trend, and Change-Point Analysis of Rainfall in the Arid

22. Theil H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. In Henri Theil's contributions to economics and econometrics. Springer: 1992; pp. 345-381.
23. Sen P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau // Journal of the American statistical association 1968, 63, 1379-1389.
24. Pettitt A. A non-parametric approach to the change-point problem // Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics) 1979, 28, 126-135.
25. Xue L., Yang F., Yang C., Chen X., Zhang L., Chi Y., Yang G. Identification of potential impacts of climate change and anthropogenic activities on streamflow alterations in the Tarim River Basin, China // Scientific reports 2017, 7, 8254.
26. Mallakpour I., Villarini G. A simulation study to examine the sensitivity of the Pettitt test to detect abrupt changes in mean // Hydrological Sciences Journal 2016, 61, 245-254.
27. Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L. The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics 2007, 45, 2, RG2004, 1-33. Available online: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/USGS\\_SRTMGL1\\_003](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/USGS_SRTMGL1_003) (accessed on 11 March 2020).
28. Arino O., Ramos Perez J.J., Kalogirou V., Bontemps S., Defourny P., Van Bogaert E. Global land cover map for 2009 (GlobCover 2009). ESA & UCL 2012.
29. FAO I., ISRIC I. JRC: Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria 2012.
30. Xu S., Qin M., Ding S., Zhao Q., Liu H., Li C., Yang X., Li Y., Yang J., Ji X. The Impacts of Climate Variation and Land Use Changes on Streamflow in the Yihe River, China // Water 2019, 11, 887.
31. Mu X., Wang H., Zhao Y., Liu H., He G., Li J. Streamflow into Beijing and Its Response to Climate Change and Human Activities over the Period 1956–2016 // Water 2020, 12, 622.
32. Hamed K.H. Trend detection in hydrologic data: the Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis // Journal of hydrology District of Ananthapuramu, Andhra Pradesh State, India. Water 2020, 12, 211.
22. Theil, H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. In Henri Theil's contributions to economics and econometrics, Springer: 1992; pp. 345-381.
23. Sen, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American statistical association 1968, 63, 1379-1389.
24. Pettitt, A. A non-parametric approach to the change point problem. Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics) 1979, 28, 126-135.
25. Xue, L.; Yang, F.; Yang, C.; Chen, X.; Zhang, L.; Chi, Y.; Yang, G. Identification of potential impacts of climate change and anthropogenic activities on streamflow alterations in the Tarim River Basin, China. Scientific reports 2017, 7, 8254.
26. Mallakpour, I.; Villarini, G. A simulation study to examine the sensitivity of the Pettitt test to detect abrupt changes in mean. Hydrological Sciences Journal 2016, 61, 245-254.
27. Farr, T.G.; Rosen, P.A.; Caro, E.; Crippen, R.; Duren, R.; Hensley, S.; Kobrick, M.; Paller, M.; Rodriguez, E.; Roth, L. The Shuttle Radar Topography Mission. Reviews of Geophysics 2007, 45, 2, RG2004, 1-33. Available online: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/USGS\\_SRTMGL1\\_003](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/USGS_SRTMGL1_003) (accessed on 11 March 2020).
28. Arino, O.; Ramos Perez, J.J.; Kalogirou, V.; Bontemps, S.; Defourny, P.; Van Bogaert, E. Global land cover map for 2009 (GlobCover 2009). ESA & UCL 2012.
29. FAO, I.; ISRIC, I. JRC: Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria 2012.
30. Xu, S.; Qin, M.; Ding, S.; Zhao, Q.; Liu, H.; Li, C.; Yang, X.; Li, Y.; Yang, J.; Ji, X. The Impacts of Climate Variation and Land Use Changes on Streamflow in the Yihe River, China. Water 2019, 11, 887.
31. Mu, X.; Wang, H.; Zhao, Y.; Liu, H.; He, G.; Li, J. Streamflow into Beijing and Its Response to Climate Change and Human Activities over the Period 1956–2016. Water 2020, 12, 622.
32. Hamed, K.H. Trend detection in hydro-

2008, 349, 350-363.

33. Mavromatis T., Stathis D. Response of the water balance in Greece to temperature and precipitation trends // *Theoretical and Applied Climatology* 2011, 104, 13-24.

34. Yue S., Wang C.Y. Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test // *Water resources research* 2002, 38, 4-1-4-7.

35. Hamed K.H., Rao A.R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data // *Journal of hydrology* 1998, 204, 182-196.

36. Yue S., Pilon P., Phinney B., Cavadias G. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series // *Hydrological processes* 2002, 16, 1807-1829.

37. Team R.C. R Foundation for Statistical Computing; Vienna, Austria: 2015. R: A language and environment for statistical computing 2018, 2013.

38. Patakamuri S., O'Brien N.M. Modified Versions of Mann Kendall and Spearman's Rho Trend Tests 2019. The R Project for Statistical Computing: Vienna, Austria 2019.

39. Li C., Stevens B., Marotzke J. Eurasian winter cooling in the warming hiatus of 1998–2012 // *Geophysical Research Letters* 2015, 42, 8131-8139.

40. Wang L., Chen W. The East Asian winter monsoon: Re-amplification in the mid-2000s // *Chinese Science Bulletin* 2014, 59, 430-436.

41. Kayumov A. The Third National Communication of the Republic of Tajikistan Under the UN Framework Convention on Climate Change. The Government of the Republic of Tajikistan, State Administration for Hydrometeorology, Committee on Environmental Protection under the Government of the Republic of Tajikistan: Dushanbe; Tajikistan, 2014; p 155.

42. Piao S., Ciais P., Huang Y., Shen, Z., Peng S., Li J., Zhou L., Liu H., Ma Y., Ding Y. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China // *Nature* 2010, 467, 43.

43. Barry R.G., Chorley R.J. *Atmosphere, weather and climate*; Routledge: 2009.

44. Barry R.G., Blanken P.D. *Microclimate and local climate*; Cambridge University Press: 2016.

‡ logic data: the Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of hydrology* 2008, 349, 350-363.

‡ 33. Mavromatis, T.; Stathis, D. Response of the water balance in Greece to temperature and precipitation trends. *Theoretical and Applied Climatology* 2011, 104, 13-24.

‡ 34. Yue, S.; Wang, C.Y. Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test. *Water resources research* 2002, 38, 4-1-4-7.

‡ 35. Hamed, K.H.; Rao, A.R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology* 1998, 204, 182-196.

‡ 36. Yue, S.; Pilon, P.; Phinney, B.; Cavadias, G. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological processes* 2002, 16, 1807-1829.

‡ 37. Team, R.C. R Foundation for Statistical Computing; Vienna, Austria: 2015. R: A language and environment for statistical computing 2018, 2013.

‡ 38. Patakamuri, S.; O'Brien, N.M. Modified Versions of Mann Kendall and Spearman's Rho Trend Tests 2019. The R Project for Statistical Computing: Vienna, Austria 2019.

‡ 39. Li, C.; Stevens, B.; Marotzke, J. Eurasian winter cooling in the warming hiatus of 1998–2012. *Geophysical Research Letters* 2015, 42, 8131-8139.

‡ 40. Wang, L.; Chen, W. The East Asian winter monsoon: Re-amplification in the mid-2000s. *Chinese Science Bulletin* 2014, 59, 430-436.

‡ 41. Kayumov A., N.V. The Third National Communication of the Republic of Tajikistan Under the UN Framework Convention on Climate Change. The Government of the Republic of Tajikistan, State Administration for Hydrometeorology, Committee on Environmental Protection under the Government of the Republic of Tajikistan: Dushanbe; Tajikistan, 2014; p 155.

‡ 42. Piao, S.; Ciais, P.; Huang, Y.; Shen, Z.; Peng, S.; Li, J.; Zhou, L.; Liu, H.; Ma, Y.; Ding, Y. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature* 2010, 467, 43.

‡ 43. Barry, R.G.; Chorley, R.J. *Atmosphere, weather and climate*; Routledge: 2009.

‡ 44. Barry, R.G.; Blanken, P.D. *Microclimate and local climate*; Cambridge University

45. Xin J., Gong C., Wang S., Wang Y. † Aerosol direct radiative forcing in desert and semi-desert regions of northwestern China // Atmospheric research 2016, 171, 56-65.
46. Bollasina M.A., Ming Y., Ramaswamy V. Anthropogenic aerosols and the weakening of the South Asian summer monsoon // Science 2011, 334, 502-505.
47. Folini D., Wild M. The effect of aerosols and sea surface temperature on China's climate in the late twentieth century from ensembles of global climate simulations // Journal of Geophysical Research: Atmospheres 2015, 120, 2261-2279.
- † Press: 2016.
45. Xin, J.; Gong, C.; Wang, S.; Wang, Y. † Aerosol direct radiative forcing in desert and semi-desert regions of northwestern China. † Atmospheric research 2016, 171, 56-65.
46. Bollasina, M.A.; Ming, Y.; Ramaswamy, V. Anthropogenic aerosols and the weakening of the South Asian summer monsoon. science 2011, 334, 502-505.
47. Folini, D.; Wild, M. The effect of aerosols and sea surface temperature on China's climate in the late twentieth century from ensembles of global climate simulations. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 2015, 120, 2261-2279.