
МЕТЕОРОЛОГИЯ / METEOROLOGY

УДК: 551.513+551.589

ВЛИЯНИЕ ФАЗ ЭЛЬ-НИНЬО – ЮЖНОГО КОЛЕБАНИЯ НА КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ В ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЕ: РЕТРОСПЕКТИВА И ДЕСЯТИЛЕТНИЙ ПРОГНОЗ

М.Н. БОБОХОНОВА¹, С.У. БЕГМАТОВ¹, З.Ш. УСАРОВ¹, Б.Ш. КАДЫРОВ^{1*},
И.А. КАРИМОВ², А.Б. НАРЗУЛЛАЕВ², Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ^{1,3}

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, bkadirov53@gmail.com

² Агентство гидрометеорологической службы Республики Узбекистан

³ Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, b.xolmatjanov@nuu.uz

Аннотация. Статья посвящена оценке влияния фаз Эль-Ниньо-Южного колебания (ENSO) на климатические параметры в Ферганской долине за период 1991-2024 гг., с акцентом на режим осадков и температуры воздуха. На основе данных 12 метеорологических станций Узгидромета проанализированы аномалии осадков и температуры, выявлены статистически значимые тренды с применением теста Манн-Кендалла и метода Тейла-Сена. Установлено, что фаза El Niño ассоциируется с избытком осадков, а La Niña – с их дефицитом; одновременно наблюдается устойчивая тенденция повышения температуры воздуха. Сценарный прогноз на 2025-2034 гг., основанный на вероятностях фаз ENSO, указывает на риск дефицита осадков при доминировании La Niña. Полученные результаты имеют прикладное значение для планирования, климатического моделирования и адаптации к изменению климата водного и аграрного секторов.

Ключевые слова: ENSO, El Niño, La Niña, MEI.v2, осадки, температура, Ферганская долина, климатический прогноз.

Введение. Ферганская долина – уникальный межгорный регион Центральной Азии, охватывающий территории Узбекистана, Кыргызстана и Таджикистана. Она отличается континентальным климатом с резкими сезонными колебаниями температуры и осадков. Основной вклад в годовую сумму осадков вносят зимне-весенние месяцы (декабрь-май), особенно март-апрель, когда преобладают циклонические процессы, связанные с западным переносом.

В научной литературе достаточно широко исследовано влияние Эль-Ниньо-Южного колебания (ENSO – El Niño-Southern Oscillation) на погоду в различных регионах мира [Ashok et al., 2007; IPCC ..., 2021; Kug et al., 2009; McPhaden et al., 2006; Ropelewski & Halpert, 1987; Taschetto & Dommegget, 2012; Trenberth et al., 2002; Yan et al., 2022]. ENSO представляет собой основную форму естественной внутриклиматической изменчивости в тропической части Тихого океана, оказывая широкомасштабное влияние на климатические и гидрологические условия. Ключевыми фазами ENSO являются El Niño (теплая фаза), La Niña (холодная фаза) и Neutral (нейтральная фаза). Для анализа их частоты и вероятности используются данные многовариантного индекса MEI.v2, предоставляемого NOAA. Индекс основан на шести метеорологических и океанографических параметрах и считается одним из наиболее полных индикаторов состояния ENSO.

* Масъул муаллиф: bkadirov53@gmail.com, тел.: +998 90 174-85-86

В исследованиях О.Л.Бабушкина и С.И.Инагамовой были выявлены влияния ENSO в Тихом океане на развитие синоптических процессов в Средней Азии, а также оценка статистических характеристик этих процессов – отклонений от нормы повторяемости (количества случаев) и общей продолжительности (количества дней). Было установлено, что ENSO влияет на повторяемость типов синоптических процессов и их продолжительность в регионе. В период развития Эль-Ниньо малоградиентные поля пониженного и повышенного давления (типы 12 и 13) наблюдаются с высокой частотой во все сезоны года, в то время как антициклические поля (типы 9, 9а и 9б) отмечаются только весной. Северо-западные, северные и западные вторжения холодного воздуха (типы 5, 6 и 10) характеризуются низкой повторяемостью в течение года. Летом, осенью и зимой антициклические поля также наблюдаются реже. В зимне-весенний период зафиксировано некоторое снижение частоты прохождения южных циклонов [Бабушкин, Инагамова, 2019].

Исследования статистической связи аномалий приземного климата на территории Российской Федерации с феноменом ENSO были проведены под руководством Г.В.Грузы. Оценка климатического «отклика» позволила обобщить влияние El Niño и La Niña в пяти крупных регионах: Европейская территория России, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Казахстан и Средняя Азия (границы выбраны по синоптическому районированию) [Груда и др., 1999].

Влияние ENSO на погодные условия в Узбекистане исследованы Л.Е.Скрипниковой [Скрипникова, 2006]. Было выявлено, что в период с 1950 по 2000 годы 70% случаев выпадения дождей совпадали с fazами El Niño. В 85% случаев, связанных с La Niña, в Узбекистане наблюдались периоды дефицита осадков. Устойчивые отрицательные аномалии осадков фиксировались в 73% случаев во время faz La Niña. Как на равнинной территории Узбекистана, так и в предгорьях в 76% случаев засушливые периоды приходились на fazы La Niña, в 14% – на El Niño, и в 10% – на периоды, когда в Тихом океане ENSO-явление не наблюдалось.

В условиях растущей климатической изменчивости актуальной задачей становится выявление факторов, определяющих межгодовую изменчивость осадков. Данное исследование посвящено оценке влияния флуктуаций ENSO на осадки в Ферганской долине за период 1991-2024 гг. и прогнозу их поведения на 2025-2034 гг. Работа имеет прикладное значение для прогнозирования водных ресурсов, оценки рисков экстремальных осадков, а также адаптации аграрного сектора и противоселевых мероприятий в условиях изменчивости климата. Полученные зависимости могут быть интегрированы в сценарные модели регионального водного баланса и в систему раннего предупреждения.

Объектом исследования является режим атмосферных осадков в Ферганской долине, а его предмет составляет исследование его временной изменчивости.

Целью исследования является оценка влияния faz ENSO на количество осадков в Ферганской долине. Ретроспективный анализ режимов температуры воздуха и атмосферных осадков за период 1961-2024 гг. и составление сценарных прогнозов количества осадков на ближайший 10-летний период (2025-2034 гг.), являются ее **задачами**.

Исходные данные и методы исследования. Для исследования изменений в режимах температуры воздуха и атмосферных осадков использованы данные месячных и годовых осадков 12 метеорологических станций Ферганской долины за период 1961-2024 гг. (табл. 1).

Для исследования тенденций изменчивости во временных рядах температуры воздуха и атмосферных осадков использован статистический непараметрический тест Манн-Кендалла, широко применяемый для выявления и анализа монотонных тенденций в сериях гидрометеорологических данных [Alimkulov et al., 2025; Gilbert, 1987; Kendall, 1975; Kong et al., 2025; Mann, 1945; Sun et al., 2022; 5; Tangjialeke et al., 2024]. Монотонный

восходящий/нисходящий тренд означает, что переменная последовательно увеличивается/уменьшается во времени. Для количественной оценки величины (наклона) и значимости трендов во временных рядах был применен непараметрический метод Тейла-Сена [Sen, 1968; Theil, 1992].

Метеорологические станции, расположенные в Ферганской долине

Таблица 1

Table 1

Meteorological stations located in the Fergana Valley

№	Станция	Год открытия	Высота над уровнем моря, м
1	Улугнар	1973	398,4
2	Коканд	1881	399,2
3	Боз	1957	429,4
4	Пап	1948	441,9
5	Кува	1911	466,0
6	Наманган	1878	468,3
7	Андижан	1882	476,9
8	Фергана	1880	582,3
9	Кургантепа	1958	751,1
10	Сарыканда	1896	1200,0
11	Шахимардан	1971	1728,3
12	Камчик	1981	2138,0

В целях определения фаз ENSO использован индекс Multivariate ENSO Index Version 2 (MEI.v2), преобразованный в помесячные значения. Фазы ENSO определялись по отклонениям MEI от нейтральной зоны. MEI.v2 – это один из наиболее надёжных и комплексных индексов для оценки состояния ENSO. В отличие от одномерных индексов, как, например, ONI (основанного только на температуре поверхности океана), MEI.v2 учитывает несколько метеоокеанографических параметров, что позволяет точнее отслеживать динамику ENSO. MEI.v2 – это разработанный Лабораторией исследований системы Земли Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA ESRL) мультивариативный индекс, пришедший на смену первой версии (MEI.v1), охватывающей 1979-2018 годы. MEI.v2 расширяет временной охват с середины XIX века до настоящего времени и улучшен в части реконструкции данных. Индекс основан на главных компонентах (PCA) из следующих шести переменных, наблюдаемых в экваториальной зоне Тихого океана (вблизи Niño 3.4):

1. Температура поверхности моря.
2. Температура воздуха на уровне 2 м.
3. Поверхностное давление.
4. Меридиональный компонент ветра на уровне 925 гПа.
5. Зональный компонент ветра на уровне 850 гПа.
6. Облачность (относительная влажность).

Каждые два месяца (бимонатальный шаг: январь-февраль, февраль-март и т.д.) вычисляется значение MEI.v2. Фазы ENSO (El Niño, La Niña, Neutral) определяются на основе аномалий индекса MEI.v2 относительно многолетнего среднего значения. Процесс классификации фаз схож с другими индексами, но отличается порогами и подходом. Стандартный подход к фазам ENSO по MEI.v2: **El Niño (тёплая фаза)**: значение MEI.v2 $\geq +0,5$ (иногда $+0,7$) в течение как минимум 5 последовательных двухмесячных интервалов; **La Niña (холодная фаза)**: значение

MEI.v2 $\leq -0,5$ (иногда $-0,7$) в течение тех же 5 интервалов; **Neutral (нейтральное состояние)**: значения между $-0,5$ и $+0,5$ (или между $-0,7$ и $+0,7$ при более жёстких критериях).

Для каждой станции рассчитаны аномалии и прогнозы осадков на основе вероятностей фаз ENSO. Подробное описание методологии обработки индекса MEI.v2 приведены в работах [Ashok et al., 2007; Wolter, Timlin, 2011].

Основные результаты и их обсуждение.

Режимы температуры воздуха и атмосферных осадков. Для выявления изменений в режимах температуры воздуха и атмосферных осадков, являющимися основными количественными индикаторами состояния климата, выполнен сравнительный анализ средних многолетних температур и сумм осадков за климатические периоды 1961-1990 гг. и 1991-2020 гг. (табл. 2 и 3). Как свидетельствуют данные, приведенные в табл. 2, во всех исследуемых станциях происходило увеличение температуры воздуха. В горных районах увеличение температуры выражено не сильно – $0,2\text{-}0,3^{\circ}\text{C}$, примерно такими же величинами характеризуются станции Пап ($0,3^{\circ}\text{C}$), Улугнар ($0,5^{\circ}\text{C}$) и Кургантепа ($0,6^{\circ}\text{C}$). В Коканде увеличение температуры составило $0,9^{\circ}\text{C}$, а на остальных станциях $1,0^{\circ}\text{C}$ и более. Согласно данным табл. 3, на большинстве станций в период 1991-2020 гг. осадков выпало больше (от $+3,8$ мм на станции Кува до $+28,9$ мм на станции Наманган), чем в период 1961-1990 гг., за исключением станций Кургантепа (- $5,1$ мм) и Сарыканда (- $5,7$ мм).

Приведенные выше многолетние показатели температуры воздуха и атмосферных осадков, хотя характеризуют произошедшие изменения, не дают представления о межгодовой динамике исследуемых величин. На рис. 1 и 2, в качестве примера приведены графики межгодовой изменчивости средней годовой температуры воздуха и годовых сумм осадков в областных центрах Ферганской долины за периоды 1961-1990 гг. и 1991-2024 гг. Как свидетельствуют графики межгодовой изменчивости температуры воздуха, в оба периода наблюдается тенденция устойчивого роста (рис. 1). В отличие от температуры воздуха, межгодовая изменчивость количества осадков на большинстве станций имеет отрицательную тенденцию (рис. 2).

Результаты оценки теста Манн-Кендалла и наклона Сена для анализа изменчивости температуры воздуха и атмосферных осадков представлены в табл. 4. Положительное значение Z_s указывает на тенденцию роста, а отрицательное значение Z_s указывает на тенденцию убывания. Статистически значимая тенденция на уровнях значимости $0,1$, $0,05$ и $0,01$ существует, когда $|Z_s| > 1,64$, $|Z_s| > 1,96$ и $|Z_s| > 2,58$, соответственно [Alimkulov et al., 2025]. Статистика Z_s теста Манн-Кендалла по данным межгодовой изменчивости средней годовой температуры воздуха за период 1961-1990 гг. показала положительную тенденцию практически на всех рассматриваемых станциях, кроме Сарыканда. При этом, статистически значимыми оказались изменения температуры только на станциях Коканд ($Z_s = 3,10$), Фергана ($Z_s = 2,14$) и Наманган ($Z_s = 1,82$). В период 1991-2024 гг. тенденция увеличения температуры стала статистически значимой для всех станций (от $Z_s = 2,67$ на станции Улугнар до $Z_s = 4,65$ на станции Наманган), за исключением станции Коканд. Темпы роста температуры в этот период составили от $0,17^{\circ}\text{C}/10$ лет в Коканде до $0,53^{\circ}\text{C}/10$ лет в Намангане.

Результаты Z_s теста Манн-Кендалла межгодовой изменчивости количества атмосферных осадков показали статистически не значимые положительные тенденции для периода 1961-1990 гг., кроме Ферганы, где Z_s составил $1,68$, а темп роста $17,17$ мм/ 10 лет. Хотя, на станциях Улугнар, Сарыканда и Шахимардан темпы роста осадков в этот период составили $27,62$ мм/ 10 лет, $40,13$ мм/ 10 лет и $40,33$ мм/ 10 лет соответственно, статистическая их значимость оказалась очень низкой. В период 1991-2024 гг. наблюдаются статистически не значимые отрицательные тенденции уменьшения количества осадков практически на всех исследуемых станциях, кроме станций Коканд и Камчик, где происходит увеличение количества осадков с темпами $4,38$ мм/ 10 лет и $22,19$ мм/ 10 лет, соответственно (табл. 4).

Таблица 2
Многолетние средние температуры воздуха на метеорологических станциях Ферганской долины

Table 2

Long-term average air temperatures at meteorological stations in the Fergana Valley

Станция	Период, гг.	Месяцы												Средняя годовая
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Улутнар	1961-1990	-1,3	1,4	8,4	16,5	21,3	25,9	27,5	25,4	20,3	13,1	5,8	0,4	13,7
	1991-2020	-0,3	2,7	9,8	16,4	21,5	25,9	27,3	25,5	20,6	13,5	6,2	0,8	14,2
Каканд	1961-1990	-1,3	1,4	8,7	16,7	21,7	26	27,5	25,7	20,4	13,3	6,2	0,9	13,9
	1991-2020	0,4	3,2	10,1	16,7	21,8	26,5	28,4	26,7	21,6	14,2	7,0	1,5	14,8
Боз	1961-1990	-2,1	0,7	8,2	16,2	21,4	25,7	26,6	24,4	19,3	12,5	5,5	0,3	13,2
	1991-2020	-0,2	2,7	9,8	16,4	21,4	25,7	27,2	25,4	20,5	13,5	6,4	1,0	14,2
Пан	1961-1990	-1,0	1,7	8,9	16,6	21,8	26,2	27,4	25,5	20,5	13,6	6,8	1,4	14,1
	1991-2020	0,8	3,7	10,5	17,0	22,2	26,8	28,4	26,7	21,7	14,7	7,6	1,9	15,2
Куба	1981-2010	-0,2	2,7	9,3	16,2	21,0	25,7	27,0	25,2	20,3	13,6	7,1	1,3	14,1
	1991-2020	0,2	3,0	9,9	16,4	21,3	25,7	27,4	25,5	20,8	14	6,9	1,5	14,4
Наманганская	1961-1990	-1,5	1,3	8,7	16,5	21,8	26,5	27,5	25,3	20,3	13,5	6,6	1,0	14,0
	1991-2020	0,5	3,4	10,3	16,8	22,1	26,9	28,5	26,7	21,6	14,7	7,5	1,8	15,1
Андижан	1961-1990	-1,9	0,8	8,3	16,4	21,6	26,2	27,2	24,8	19,5	12,9	6,0	0,7	13,5
	1991-2020	-0,1	2,8	9,8	16,4	21,6	26,2	27,9	26,0	21,0	13,9	6,8	1,3	14,5
Фергана	1961-1990	-1,2	1,3	8,3	16,0	20,9	25,5	27,1	25,0	19,9	13,1	6,4	1,3	13,6
	1991-2020	0,5	3,2	9,9	16,3	21,4	25,9	27,9	26,3	21,2	14,1	7,2	1,9	14,7
Кургантепа	1961-1990	-2,7	-0,1	7,0	14,7	19,5	24,2	25,4	23,1	18,2	11,9	5,2	0,2	12,2
	1991-2020	-1,7	1,1	8,1	14,4	19,3	23,9	25,8	24,1	19,4	12,8	5,9	0,3	12,8
Сарыканда	1981-2010	-2,8	-0,3	5,7	12,1	16,2	20,4	22,2	21,1	16,4	9,9	4,5	-0,6	10,4
	1991-2020	-2,3	0,1	6,4	12,4	16,6	20,5	22,5	21,3	16,8	10,3	4,3	-0,5	10,7
Шахимардан	1981-2010	-2,7	-1,2	3,8	9,9	14	18,5	21,0	20,9	16,5	10,0	4,8	-0,4	9,6
	1991-2020	-2,4	-0,8	4,6	10,3	14,5	18,6	21,3	20,9	16,8	10,3	4,5	-0,5	9,8
Камчик	1981-2010	-5,7	-4,8	-0,8	5,3	9,9	14,9	17,7	17,5	12,8	6,2	1,2	-3,3	5,9
	1991-2020	-5,4	-4,5	0,0	5,7	10,5	15,0	17,8	17,3	12,9	6,5	0,9	-3,4	6,1

Таблица 3

Многолетнее среднее количество осадков на метеорологических станциях Ферганской долины

Table 3

Long-term average precipitation at meteorological stations in the Fergana Valley

Станция	Период, гг.	Месяцы										Годовая сумма		
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X			
Улугнар	1961-1990	17,3	20,3	22,7	17,5	13,4	8,1	3,7	3,2	3,5	16,9	18,3	20,7	165,6
	1991-2020	16,0	21,6	24,0	17,5	15,3	12,7	4,0	3,6	2,6	13,9	20,9	23,9	176,0
Караканд	1961-1990	12,5	14,2	17,0	13,3	12,9	5,2	4,2	2,6	2,5	11,4	8,8	12,0	116,6
	1991-2020	10,9	14,5	18,9	18,1	17,4	7,8	3,1	4,7	2,3	10,4	13,8	16,8	138,7
Боз	1961-1990	21,2	24,0	27,1	18,7	17,8	7,6	6,5	1,9	3,9	20,1	15,7	19,7	184,2
	1991-2020	19,3	25,3	26,6	20,9	20,0	12,1	4,7	4,1	2,6	15,1	24,0	26,5	201,2
Пап	1961-1990	17,7	17,9	25,5	21,8	14,3	8,6	4,5	2,5	2,4	15,4	12,3	18,1	161,0
	1991-2020	14,1	24,0	25,6	20,3	19,8	11,3	4,5	3,9	3,8	12,8	19,8	22,7	182,6
Куба	1981-2010	23,6	25,4	28,3	22,4	24,2	9,6	5,8	3,2	5,0	17,8	24,4	29,9	219,6
	1991-2020	22,4	26,7	28,8	24,6	25,1	12,1	4,6	4,0	3,8	15,7	26,7	28,9	223,4
Наманган	1961-1990	19,3	20,6	28,9	23,4	17,0	7,2	6,6	2,2	2,2	16,8	14,0	20,0	178,2
	1991-2020	16,9	27,6	27,4	24,0	24,4	12,0	4,3	3,1	3,8	14,4	23,9	25,3	207,1
Андижан	1961-1990	25,9	32,5	36,6	28,0	20,7	8,4	5,7	2,2	3,8	25,9	22,4	24,5	236,6
	1991-2020	21,7	31,9	32,9	26,8	25,0	12,8	4,8	4,1	3,4	17,5	30,3	32,6	243,8
Фергана	1961-1990	19,1	23,8	26,8	21,0	19,4	6,7	5,8	2,1	4,6	19,1	14,1	15,2	177,7
	1991-2020	16,0	21,6	25,1	22,5	21,4	13,6	4,5	3,8	4,0	13,9	18,9	22,0	187,3
Кургантепа	1961-1990	38,2	47,0	56,7	51,5	33,9	12,1	8,8	3,8	7,4	38,2	33,9	31,9	363,4
	1991-2020	30,4	43,5	48,2	45,4	42,7	19,8	7,1	6,4	6,8	25,5	41,5	41,0	358,3
Сарыканда	1981-2010	20,2	28,2	39	46,3	55,5	41,3	27,5	12,5	12,3	22,9	22,8	26,9	355,4
	1991-2020	19,8	29,9	38,3	49,2	56,1	43,6	20,4	12,9	9,8	19,7	22,8	27,2	349,7
Шахимардан	1981-2010	19,7	28,3	45,1	63,4	74,5	56,1	48,7	20,4	15,4	32,5	24,5	26,1	454,7
	1991-2020	19,0	31,0	44,7	64,7	78,9	65,2	44,0	21,7	13,8	29,2	25,3	27,0	464,5
Камчиқ	1981-2010	67,9	81,6	90,4	94,6	69,4	38,0	21,8	12,0	13,9	61,3	72,7	81,6	705,2
	1991-2020	69,7	82,9	80,1	93,4	76,4	46,0	21,9	14,1	16,7	52,4	78,4	80,6	712,6

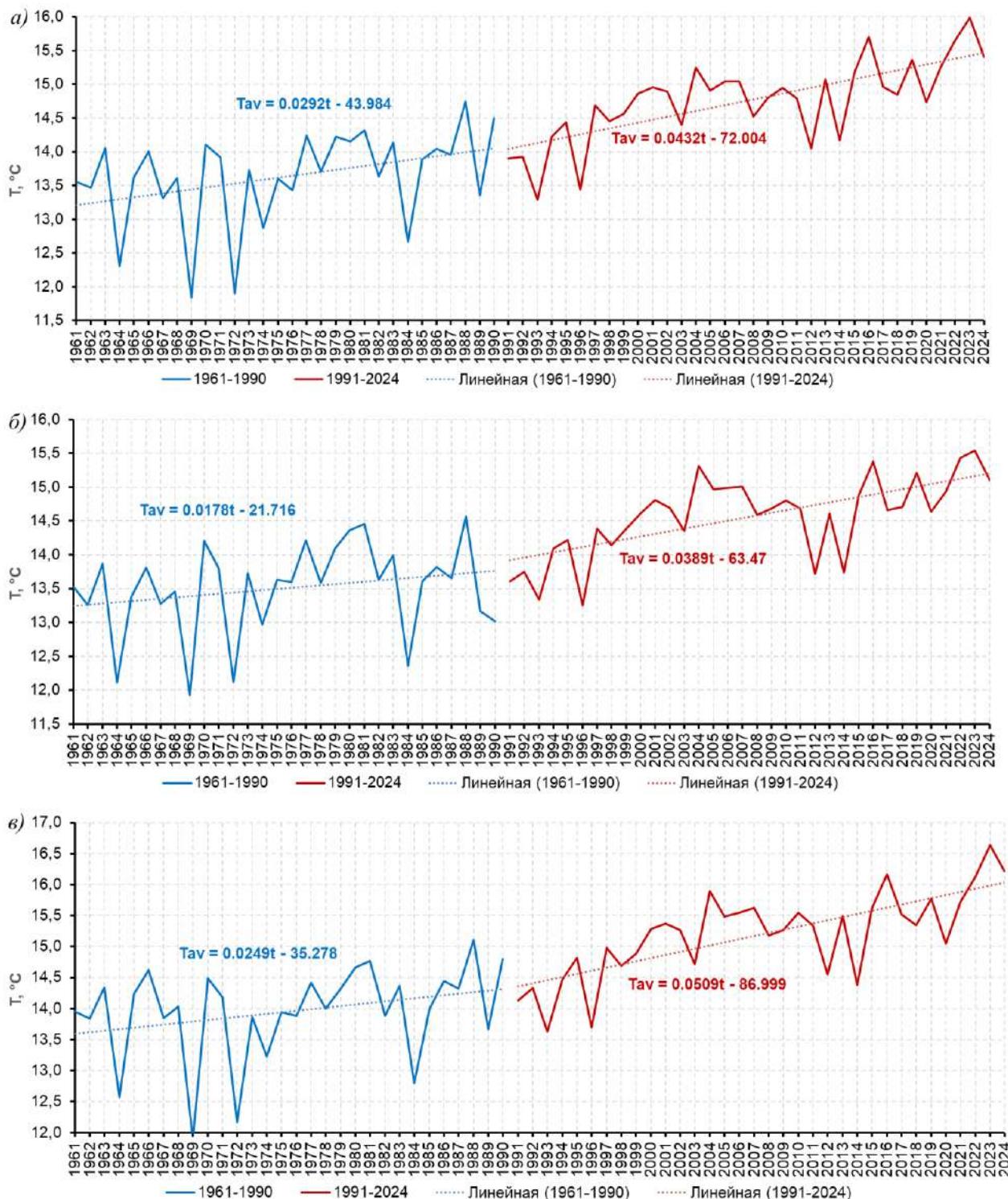


Рис. 1. Межгодовая изменчивость средней годовой температуры воздуха в Фергане (а), Андижане (б) и Намангане (в)

Fig. 1. Interannual variability of average annual air temperature in Fergana (a), Andijan (б) and Namangan (в)

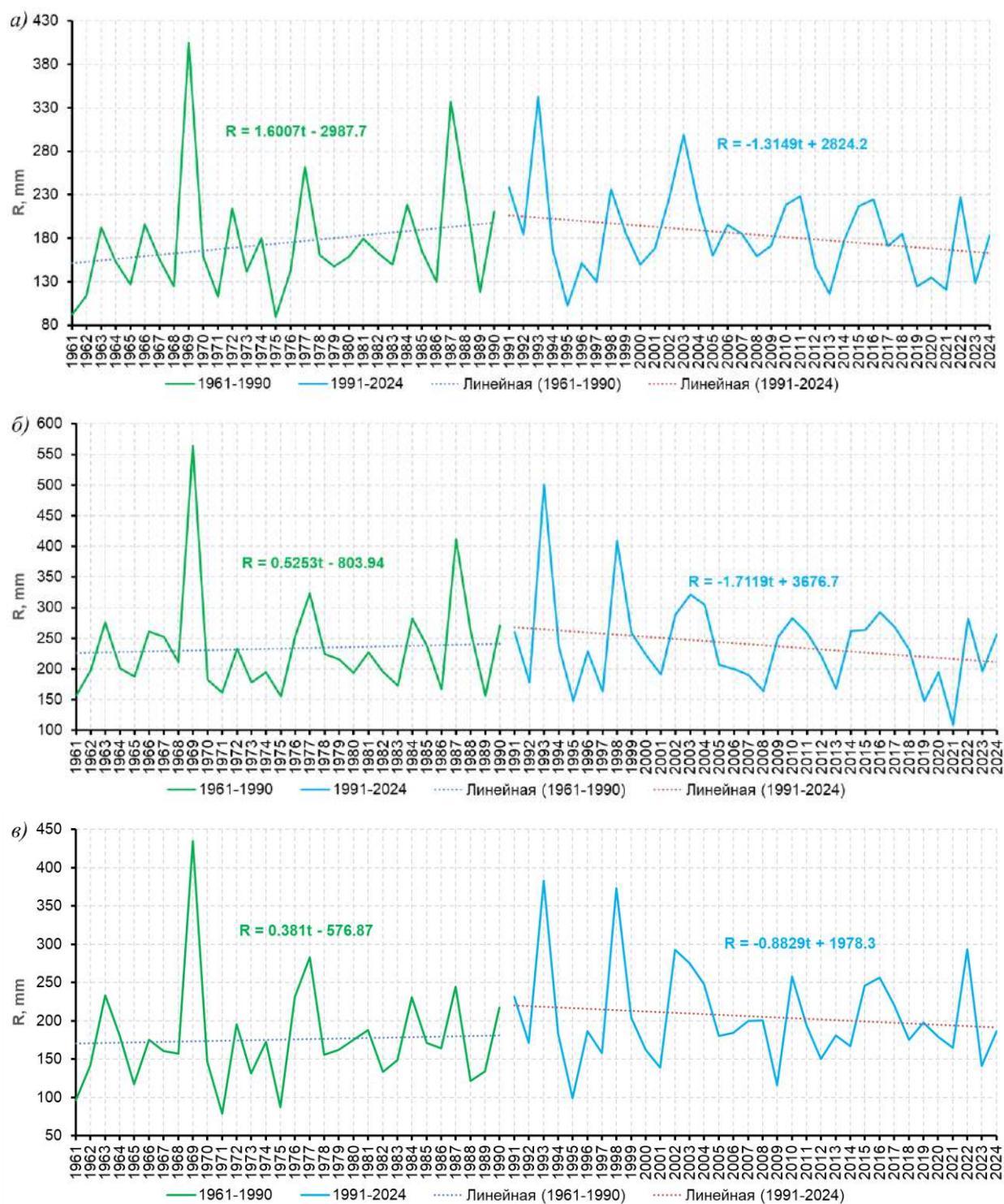


Рис. 2. Межгодовая изменчивость годовой суммы осадков в Фергане (а), Андижане (б) и Намангане (в)

Fig. 2. Interannual variability of annual precipitation in Fergana (a), Andijan (б) and Namangan (в)

Таблица 4

Значения Zs теста Манн-Кендалла для температуры воздуха и осадков для периодов 1961-1990 гг. и 1991-2024 гг.

Table 4

Zs values of the Mann-Kendall test for air temperature and precipitation for the periods 1961-1990 and 1991-2024

Станция	Параметры теста	Температура воздуха		Атмосферные осадки	
		1961-1990 гг.	1991-2024 гг.	1961-1990 гг.	1991-2024 гг.
Улугнар 1975-1990 гг.	Zs	0,23	2,67**	0,50	-0,31
	наклон Сена	0,12	0,26	27,62	-2,93
Коканд	Zs	3,10**	1,19	0,43	0,55
	наклон Сена	0,37	0,17	4,11	4,38
Боз	Zs	0,96	3,26**	1,39	-0,46
	наклон Сена	0,15	0,28	15,58	-5,64
Пап	Zs	0,93	3,59***	1,14	-0,59
	наклон Сена	0,12	0,35	12,16	-4,50
Кува	Zs	0,43	2,99**	1,03	-0,55
	наклон Сена	0,06	0,30	10,33	-7,09
Наманган	Zs	1,82+	4,65***	0,64	-0,47
	наклон Сена	0,19	0,53	8,00	-3,40
Андижан	Zs	1,28	4,15***	0,50	-0,56
	наклон Сена	0,16	0,38	7,32	-6,70
Фергана	Zs	2,14*	4,51***	1,68+	-1,19
	наклон Сена	0,24	0,42	17,17	-8,83
Кургантепа	Zs	0,07	3,59***	0,04	-1,11
	наклон Сена	0,01	0,35	0,92	-18,22
Сарыканда 1972-1990 гг.	Zs	0,00	4,24***	0,98	-1,01
	наклон Сена	0,01	0,35	0,92	-18,22
Шахимардан 1972-1990 гг.	Zs	1,05	3,14***	1,19	-0,56
	наклон Сена	0,35	0,38	40,33	-5,89
Камчик 1983-2024 гг.	Zs	-	4,20***	-	1,04
	наклон Сена	-	0,34	-	22,19

Примечание: Проверенные уровни значимости: *** для $p < 0,001$, ** для $p < 0,01$, * для $p < 0,05$, + для $p \geq 0,1$.

Note: Tested significance levels: *** for $p < 0.001$, ** for $p < 0.01$, * for $p < 0.05$, + for $p \geq 0.1$

Анализ распределения фаз ENSO по данным MEI.v2. Анализ охватывает период с января 1990 года по декабрь 2024 года. Индекс MEI.v2 рассчитывается для 12 перекрывающихся двухмесячных сезонов в году (например, декабрь-январь (DJ), январь-февраль (JF), февраль-март (FM) и т.д.), что даёт в сумме 420 значений за 35 лет. Для определения фазы применялись следующие пороговые значения: $MEI.v2 \geq +0,5$ – фаза El Niño, $MEI.v2 \leq -0,5$ – фаза La Niña, $-0,5 < MEI.v2 < +0,5$ – фаза Neutral.

На первом этапе было определено распределение фаз ENSO по годам за весь исследуемый период. Данные, приведенные на рис. 3 и в табл. 5, наглядно демонстрируют современную эпоху La Niña с 2000 по 2025 годы.

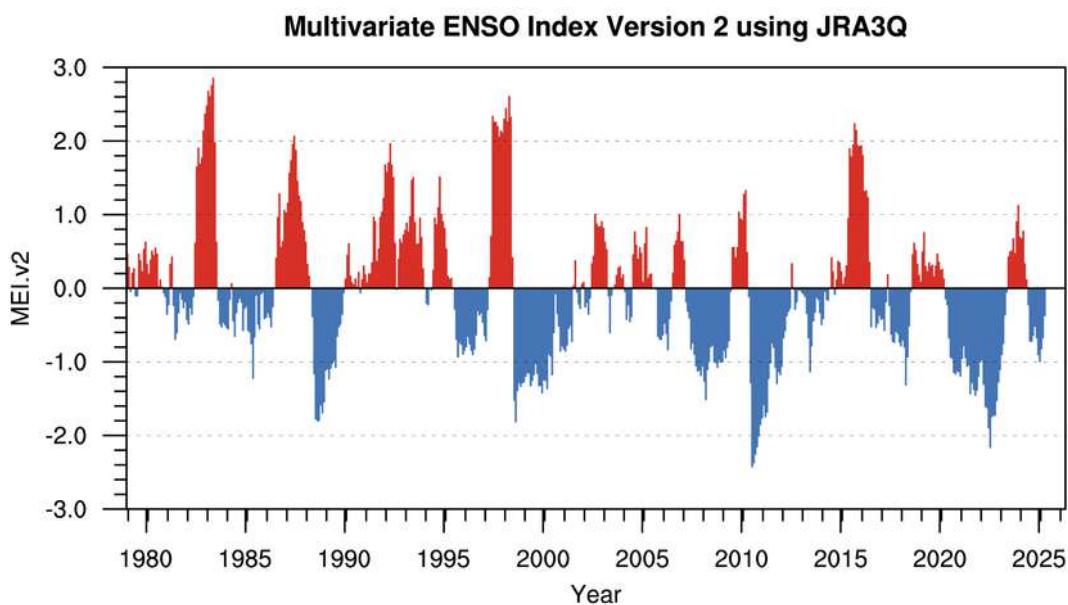


Рис. 3. Межгодовая изменчивость фаз ENSO (1979-2025 гг.)

Fig. 3. Interannual variability of ENSO phases (1979-2025)

Таблица 5

Распределение фаз ENSO по годам (1990-2024 гг.)

Table 5

ENSO phase distribution by year (1990-2024)

Год	Месяцы				Год	Месяцы			
	El Niño	La Niña	Neutral	Всего		El Niño	La Niña	Neutral	Всего
1990	1	0	11	12	2008	0	12	0	12
1991	6	0	6	12	2009	5	5	2	12
1992	10	0	2	12	2010	3	7	2	12
1993	11	0	1	12	2011	0	12	0	12
1994	6	0	6	12	2012	0	3	9	12
1995	2	5	5	12	2013	0	3	9	12
1996	0	8	4	12	2014	0	1	11	12
1997	8	2	2	12	2015	8	0	4	12
1998	5	6	1	12	2016	5	2	5	12
1999	0	12	0	12	2017	0	7	5	12
2000	0	10	2	12	2018	2	6	4	12
2001	0	6	6	12	2019	2	0	10	12
2002	5	0	7	12	2020	0	7	5	12
2003	3	1	8	12	2021	0	12	0	12
2004	3	0	9	12	2022	0	12	0	12
2005	2	3	7	12	2023	5	3	4	12
2006	5	3	4	12	2024	3	6	3	12
2007	1	7	4	12					

В целом за 1990-2024 гг. суммарное распределение фаз ENSO составило: El Niño – 101 сезон (24,1 %); La Niña – 161 сезон (38,3 %); Neutral – 158 сезонов (37,6 %) (рис. 4).

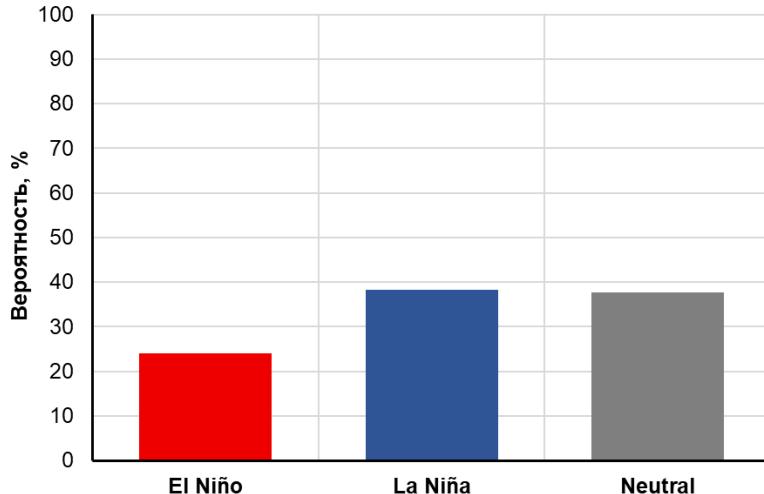


Рис. 4. Распределение ENSO фаз (%) за 1990-2024 годы

Fig. 4. Distribution of ENSO phases (%) for 1990-2024

Далее, данные были агрегированы по десятилетиям (1990-1999 гг., 2000-2009 гг., 2010-2019 гг., 2020-2024 гг.) и подсчитаны относительные вероятности возникновения каждой фазы (табл. 6).

Таблица 6
Распределение фаз ENSO по декадам (1990-2024 гг.)

Table 6

Distribution of ENSO phases by decades (1990-2024)

Декада	El Niño (число случаев)	La Niña (число случаев)	Neutral (число случаев)
1990-1999 гг.	40,8 % (49)	27,5 % (33)	31,7 % (38)
2000-2009 гг.	20,0 % (24)	39,2 % (47)	40,8 % (49)
2010-2019 гг.	16,7 % (20)	34,2 % (41)	49,2 % (59)
2020-2024 гг.*	13,3 % (8)	66,7 % (40)	20,0 % (12)

Примечание: * период включает только пять лет (60 сезонов).

Note: * the period includes only five years (60 seasons).

Для использования в составлении десятилетнего прогноза режима осадков на 2025-2034 гг., было рассчитано распределение фаз ENSO по десятилетиям. Динамика вероятностей фаз представлена на рис. 5. Распределение фаз ENSO демонстрирует существенную междекадную изменчивость. Наиболее выраженной фазой 1990-х годов был El Niño, который наблюдался в 40,8% всех сезонов десятилетия. Это отражает влияние сильных эпизодов, таких как El Niño 1991-1992 гг., и особенно интенсивного события 1997-1998 гг. Влияние этих фаз ощущалось глобально, включая сильные осадки, засухи и температурные аномалии по всему миру. Однако начиная с 2000-х годов наблюдается снижение частоты El Niño и одновременный рост La Niña и нейтральных условий. В 2000-е и особенно в 2010-е годы нейтральная фаза становится доминирующей. Это может быть связано как с естественной изменчивостью системы ENSO, так и с многолетними

циклами, такими как Тихоокеанское десятилетнее колебание (PDO – Pacific Decadal Oscillation).

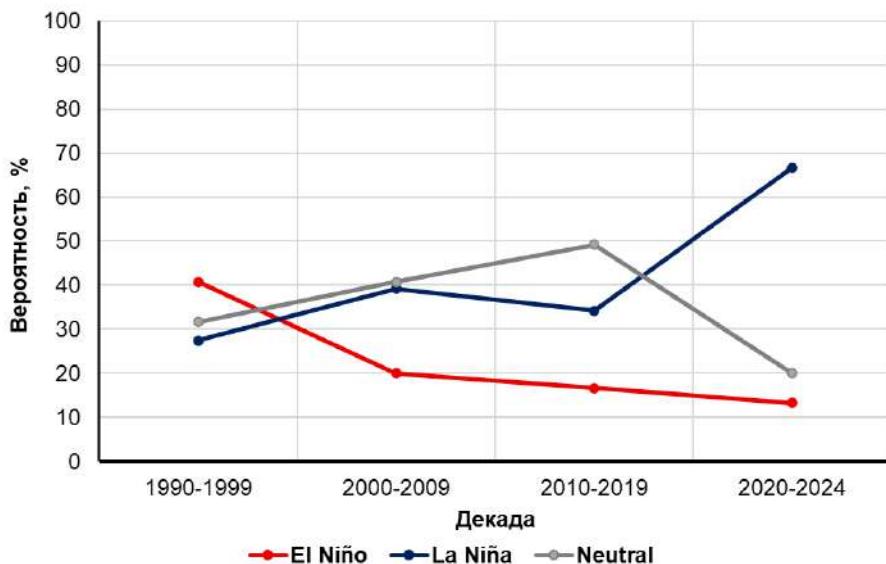


Рис. 5. Распределение фаз ENSO по декадам в период 1990-2024 гг. (%)

Fig. 5. Distribution of ENSO phases by decades in the period 1990-2024 (%)

Наиболее заметным является доминирование холодной фазы в 2020-х годах: 66,7 % всех сезонов были фазой La Niña. Это соответствует трёхлетнему эпизоду La Niña 2020-2023 гг., который считается одним из наиболее продолжительных с 1950-х годов. Данное явление сопровождалось характерными климатическими эффектами, включая засушливые условия в Восточной Африке и увеличение осадков в Австралии и Индонезии.

Интересно отметить, что несмотря на глобальную тенденцию потепления, которое может модифицировать интенсивность и структуру ENSO, фаза La Niña в последние годы наблюдалась чаще. Однако длительность периода анализа (всего 5 лет в 2020-х) требует осторожности при экстраполяции трендов.

Таким образом, анализ фазы ENSO по индексу MEI.v2 за 1990-2024 годы выявил значительную междекадную изменчивость с переходом от преобладания El Niño в 1990-х к доминированию La Niña в 2020-х. За весь период холодная и нейтральная фазы встречались почти с одинаковой вероятностью (около 38%), в то время как тёплая фаза наблюдалась только в одном из четырёх сезонов. Эти данные подчеркивают необходимость учёта ENSO-циклов в региональном климатическом моделировании и долгосрочном планировании в сфере сельского хозяйства, водных ресурсов и управления рисками стихийных бедствий.

ENSO и осадки: ретроспективный анализ. В табл. 7 представлены суммарные аномалии осадков, рассчитанные за период 1991-2024 гг. по фазам ENSO, а также их среднегодовые значения. Аномалия рассчитывалась как разница между среднемесячным количеством осадков и фактическим месячным значением осадков.

Из таблицы следует, что при фазе El Niño всегда отмечается положительная аномалия осадков, а при фазах La Niña и Neutral аномалии отрицательны.

Таблица 7**Аномалии количества осадков в различные фазы ENSO (1991-2024 гг.)****Table 7****Precipitation anomalies in different ENSO phases (1991-2024)**

Станция	El Niño, мм	La Niña, мм	Neutral, мм	Среднегодовые осадки, мм
Улугнар	266,17	-166,41	-99,76	173,9
Коканд	238,2	-107,52	-130,68	138,0
Боз	285,51	-190,06	-95,45	197,1
Пап	224,93	-63,96	-160,98	183,9
Кува	351,1	-173,82	-177,28	218,8
Наманган	364,58	-219,08	-145,5	206,5
Андижан	417,52	-255,35	-162,17	239,5
Фергана	259,57	-103,58	-155,98	184,6
Кургантепа	656,38	-493,58	-162,8	352,6
Сарыканда	375,06	-150,44	-224,62	344,4
Шахимардан	322,42	-163,38	-159,04	458,9
Камчик	1011,6	-752,33	-259,27	713,9

Прогноз осадков на 2025-2034 гг. В первоначальном подходе рассчитан прогноз осадков на 2025-2034 гг. с учётом выявленных вероятностей фаз ENSO: El Niño – 24,1%, La Niña – 38,3%, Neutral – 37,6% (см. рис. 3). Расчёты с использованием вероятностей фаз ENSO аналогичны подходам, описанным в [Ropelewski, Halpert, 1987; Taschetto, Dommegget, 2012]. В табл. 8 приведен ожидаемый суммарный эффект всех трех фаз ENSO на количество осадков. Высота расположения метеостанции влияет на избыток или недостаток месячных осадков относительно среднемесячных значений. Максимальное отрицательное отклонение характерно для станции Камчик (2000 м н.у.м.). Особое место занимают станции Пап и Коканд, где важную роль играет орографическое экранирование.

Таблица 8**Результаты прогноза количества осадков на период 2025-2034 гг.****Table 8****Results of the precipitation forecast for the period 2025-2034**

Станция	ENSO-модифицированная аномалия осадков, мм	Прогноз осадков, мм (2025-2034 гг.)
Улугнар	-37,1	136,8
Коканд	-32,9	105,1
Боз	-39,9	157,2
Пап	-30,8	153,1
Кува	-48,6	170,2
Наманган	-50,8	155,7
Андижан	-58,2	181,3
Фергана	-35,8	148,8
Кургантепа	-92,1	260,5
Сарыканда	-51,7	292,7
Шахимардан	-44,7	414,2
Камчик	-141,8	572,1

При сценарии, что вероятности наступления фазы La Niña в прогнозируемом десятилетии будут сохраняться, ожидается уменьшение годовых осадков по всем станциям. Полученные результаты согласуются с результатами ранее проведённых исследований [Kug et al., 2009; McPhaden et al., 2006; Taschetto, Dommenget, 2012].

По мнению ряда исследователей в ближайшие десятилетия нас ждёт эпоха El Niño [Lu et al., 2025]. Учитывая тот факт, что эпоха La Niña (началась с 2000-годов) заканчивается, в течение которой особенно характерными были последние 5 лет, должно произойти увеличение вероятности фазы El Niño. В целях оценки этой вероятности по данным индекса температуры поверхности океана за более длительный период (1950-2025 гг.) были рассчитаны вероятности фаз ENSO. На более длительном ряду были получены следующие вероятности: El Niño 37%, La Niña 23% и Neutral около 40%. Расчеты показывают, что при таком распределении фаз ENSO среднегодовое количество осадков в Ферганской долине увеличится от 3 до 7%.

Заключение. Как свидетельствуют полученные результаты, ENSO оказывает статистически значимое влияние на режим осадков в Ферганской долине. При сценарии, что будут сохраняться условия La Niña в 2025-2034 гг. дефицит осадков будет увеличиваться. Прогностическая оценка количества осадков для этого сценария показывает существенное снижение среднегодовых осадков для всех станций (от 33 мм до 142 мм). Преобладание фазы La Niña в ближайшем десятилетии приведет к недобору осадков по территории Андижанской, Наманганской и Ферганской областей, которое в среднем может составить более 50 мм, а это порядка 1 млрд м³ воды.

Согласно второму, более оптимистическому сценарию, в ближайшей перспективе ожидается увеличение вероятности фазы El Niño. При таком раскладе ожидается, что среднегодовое количество осадков в Ферганской долине увеличится от 3 до 7%, это порядка 0,25 млрд м³ воды.

Результаты исследования могут быть использованы в разработке мер по смягчению негативных последствий изменения климата при планировании и адаптации водного и аграрного секторов, а также связанными с ними секторами экономики.

Благодарности. Исследование выполнено в Научно-исследовательском гидрометеорологическом институте в рамках прикладного проекта AL-9124093586 «Создание программного продукта для количественной оценки влияния атмосферных рек на осадки на территории Узбекистана на основе изучения движения водяного пара на разных уровнях», финансируемого Агентством инновационного развития Республики Узбекистан. Авторы признательны Узгидромету за предоставленную информацию с 12 метеорологических станций Ферганской долины.

Вклад авторов. Авторы имеют одинаковый вклад, конфликт интересов отсутствует. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

Бабушкин О.Л., Инагамова С.И. Влияние Эль-Ниньо на синоптические процессы Средней Азии // Проблемы освоения пустынь. 2019. № 34. – С. 17-23.

Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Аристова Л.Н. О связи климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо – Южное колебание // Метеорология и гидрология. 1999. № 5. – С. 32-51.

Скрипникова Л.Е. Влияние Эль-Ниньо на погоду в Узбекистане // Тр. НИГМИ. 2006. Вып. 6 (251). – С. 77-88.

Alimkulov S., Makhmudova L., Talipova E. et al. Assessment of the impacts of climate change on drought intensity and frequency using SPI and SPEI in the Southern Pre-Balkash region, Kazakhstan // Watershed Ecology and the Environment. 2025. Vol. 7. – PP. 11-22. doi.org/10.1016/j.wsee.2024.12.001.

Ashok K., Behera S.K., Rao S.A., Weng H., Yamagata T. El Niño Modoki and its possible teleconnection // Journal of Geophysical Research: Oceans. 2007. Vol. 112, № C11. DOI: 10.1029/2006JC003798

Gilbert R.O. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. NY: Wiley, 1987.

IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis // Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge: Cambridge University Press, 2021. DOI: 11017/9781009157896

Kendall M.G. Rank Correlation Methods. 4th edition. London: Charles Griffin, 1975.

Kong L., Li Y., Ma L. et al. Climate Change Impacts and Atmospheric Teleconnections on Runoff Dynamics in the Upper-Middle Amu Darya River of Central Asia // Water. 2025. Vol. 17(5). 721. <https://doi.org/10.3390/w17050721>

Kug J.-S., Jin F.-F., An S.-I. Two types of El Niño events: Cold tongue El Niño and warm pool El Niño // Journal of Climate. 2009. Vol. 22, № 6. – PP. 1499-1515. DOI: 10.1175/2008JCLI2624.1

Lu Z., Schultze A., Carré M. et al. Increased frequency of multi-year El Niño–Southern Oscillation events across the Holocene // Nature Geoscience. 2025. Vol. 18. – PP. 337–343. <https://doi.org/10.1038/s41561-025-01670-y>

Mann H.B. Nonparametric tests against trend // Econometrica. 1945. Vol. 13. No. 3. – PP. 245-259. doi.org/10.2307/1907187.

McPhaden M.J., Zebiak S.E., Glantz M.H. ENSO as an integrating concept in Earth science // Science. 2006. Vol. 314, № 5806. – PP. 1740-1745. DOI: 10.1126/science.1132588

Ropelewski C.F., Halpert M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation // Monthly Weather Review. 1987. Vol. 115, № 8. – PP. 1606-1626. DOI: 10.1175/1520-0493(1987)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2

Sen P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau // Journal of the American Statistical Association. 1968. Vol. 63. – PP. 1379-1389.

Sun Y., Chen X., Yu Y. et al. Spatiotemporal Characteristics of Drought in Central Asia from 1981 to 2020 // Atmosphere. 2022. Vol. 13. 1496. doi.org/ 10.3390/atmos13091496

Tangjialeke W., Zou J., Ding J. et al. Analysis of drought response thresholds and drought-causing factors of Central Asian vegetation // Ecological Indicators. 2024. Vol. 169. 112926. doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112926.

Taschetto A.S., Dommegård D. The influence of ENSO on global mean temperature // Climate Dynamics. 2012. Vol. 38, № 5-6. – PP. 927-949. DOI: 10.1007/s00382-011-1098-0

Theil H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. In Henri Theil's Contributions to Economics and Econometrics. Berlin: Springer, 1992. – PP. 345-381.

Trenberth K.E., Jones P.D., Ambenje P. et al. The evolution of the El Niño–Southern Oscillation and global atmospheric surface temperatures // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2002. Vol. 107, № D8. DOI: 10.1029/2000JD000298

Wolter K., Timlin M.S. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.v2) // International Journal of Climatology. 2011. Vol. 31, № 7. – PP. 1074-1087. DOI: 10.1002/joc.2336

Yan X., Batehyi E., Liu Q. How ENSO events modulate seasonal precipitation in Central Asia // Atmospheric Research. 2022. Vol. 265:105952. DOI: 10.1016/j.atmosres.2021.105952