

monthly average, maximum and minimum values they are in the range of 0.47-5.55%. For monthly temperature values, the best agreement (relative error 0.47-1.02%) was found at stations located at altitudes from 500 to 1000 m (2<sup>nd</sup> group). However, the errors in daily temperature values for stations of this altitude group increase to 10.94-24.73%. At meteorological stations located above 1000 m, both databases have close to each other with large errors compared to ground data.

Based on the obtained results, we can recommend the use of ERA5 reanalysis data for altitudes up to 1000 m when studying the air temperature regime in the territory of Uzbekistan. For territories located above 1000 m, reanalysis data reflect general patterns of change, and when using them, it is necessary to make corrections to the obtained analysis results.

**Keywords:** air temperature, NASA POWER, ERA5, meteorological station, reanalysis, verification.

## REFERENCES

Arushanov M.L. Metodika ratsionalizatsii meteorologicheskoy seti stantsiy na primere territorii Uzbekistana [Methodology of rationalization of the meteorological network of stations on the example of the territory of Uzbekistan] // *Gidrometeorologiya i monitoring okrujayushey sredi*, No. 4, 2021. – S. 20-30. (in Russian)

Arushanov M.L., Vdovenko A.I. Razlojeniya poley anomalii srednemesyachnoy temperaturi po yestestvennim ortogonalnim funktsiyam s ispolzovaniyem danih reanaliza na territorii Uzbekistana i sopredelnykh stran [Expansions of anomal fields of the monthly mean temperature in natural orthogonal functions using reanalysis data on the territory of Uzbekistan and neighboring countries] // *Gidrometeorologiya i monitoring okrujayushey sredi*, No. 2, 2022. – S. 8-21. (in Russian)

*Electronic resources:*

National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies.  
URL: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

Disputes about global warming – Global warming controversy.  
URL: [https://ru.abcdef.wiki/wiki/Global\\_warming\\_controversy](https://ru.abcdef.wiki/wiki/Global_warming_controversy)

NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. URL: <https://power.larc.nasa.gov/>

Welcome to the Climate Data Store. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home/>

УДК: 551.52:551.577.38

## АНАЛИЗ ЧАСТОТЫ И ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕКУЩИХ И ДОЛГОСРОЧНЫХ ЗАСУХ НА ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА НА ОСНОВЕ ИНДЕКСА SPEI С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И СЦЕНАРИЕВ CMIP5

Н.И. РАХМАТОВА<sup>1\*</sup>, Л.Ю. ШАРДАКОВА<sup>1</sup>, Б.Э.НИШОНОВ<sup>1,3</sup>, В.С. РАХМАТОВА<sup>1,2</sup>,  
Р.В. ТАРЯННИКОВА<sup>1</sup>, Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ<sup>1,3</sup>, Д.А. БЕЛИКОВ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Узбекистан,  
[natella.rakhmatova@gmail.com](mailto:natella.rakhmatova@gmail.com), [lyudmila.shardakova@gmail.com](mailto:lyudmila.shardakova@gmail.com),  
[bnishonov@mail.ru](mailto:bnishonov@mail.ru), [traisa\\_5@mail.ru](mailto:traisa_5@mail.ru)

<sup>2</sup> Университет Киото, Япония, [valeria.rakhmatova@gmail.com](mailto:valeria.rakhmatova@gmail.com)

<sup>3</sup> Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Узбекистан,  
[b.xolmatjanov@nuu.uz](mailto:b.xolmatjanov@nuu.uz)

<sup>4</sup> Университет Чикаго, Япония, [dmitry.a.belikov@gmail.com](mailto:dmitry.a.belikov@gmail.com)

\* Ответственный автор: [natella.rakhmatova@gmail.com](mailto:natella.rakhmatova@gmail.com), тел.: +998 90 916-44-46

**Аннотация.** В статье приведен анализ частоты засух за базовый и текущий периоды, а также на долгосрочную перспективу на основе расчета стандартизированного индекса осадков и эвапотранспирации (SPEI). Расчеты основываются на метеорологических данных, для исторических периодов, полученных на метеостанциях Узгидромета и на результатах модельных расчетов по климатическим сценариям “Репрезентативные траектории концентрации” (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP 8.5). Оценки сделаны для территории Узбекистана, согласно районированию по однородным географическим признакам, климатическим характеристикам и условиям водообеспеченности с привязкой к бассейнам основных рек. Полученные результаты могут применяться для разработки планов по адаптации к изменению климата и принятия превентивных мер по смягчению последствий засух.

**Ключевые слова:** засуха, частота засух, SPEI, CMIP5, RCP, прогностические оценки, изменение климата.

**Введение.** Выводы Шестого оценочного доклада [Masson-Delmotte et al., 2021], показывают, что происходящие климатические изменения, усугубляют ситуацию с опасными гидрометеорологическими явлениями как во всем мире, так и в регионе Центральной Азии. Засуха стала одним из самых серьезных климатических бедствий – ее нельзя предотвратить, она всегда охватывает значительные территории и оказывает негативное влияние на здоровье населения, экологическую ситуацию, сельское и лесное хозяйство, животноводство, снижает продовольственную безопасность, но возможно смягчить ее последствия, повысив уровень готовности. Согласно проведенным оценкам МГЭИК [Masson-Delmotte et al., 2021] на территории региона Центральной Азии наблюдается увеличение числа случаев сельскохозяйственных и экологических засух.

Узбекистан по природно-географическому расположению относится к аридной зоне, со значительными территориями пустынь и полупустынь. В стране существует ряд сложных экологических проблем – высыхание Аральского моря, деградация земель, частые засухи и пыльно-песчаные бури, которые усугубляются наблюдаемыми климатическими изменениями. Национальные исследования, проведенные в Узбекистане [Агальцева, Рахматова, 2012; Рахматова и др., 2022; Третье ..., 2017] подтверждают, что засухи происходят часто и охватывают как предгорные, так и равнинные области. Для Узбекистана, в условиях острого водного дефицита и ежегодного роста максимальных температур воздуха, которые приходятся на период вегетации, **актуальной прикладной задачей** является оценка влияния изменения климата на засуху, что может быть основой для разработки планов по адаптации и превентивных мер и действий по готовности к засухе в сельском и водном хозяйстве, здравоохранении и т.д.

**Объект и предмет исследования, исходные данные и методы исследования.** Засуха подразделяется на несколько типов: атмосферную, гидрологическую, сельскохозяйственную, почвенную, экологическую и т.д. [Чуб, 2007; Wang et al., 2016, Yihdego et al., 2019; IPCC, 2021]. Однако, необходимо отметить, что, в действительности, атмосферная и гидрологическая засухи являются основными и приводят к остальным типам. Атмосферная засуха сопровождается высокими температурами и в короткий период времени иссушает воздух и почву, а гидрологическая засуха характеризуется выпадением малого количества осадков, что вызывает дефицит водных ресурсов.

Для оценки засух используются различные индексы и индикаторы, которые являются инструментами как для мониторинга явления, так и для систем раннего предупреждения и своевременного реагирования [Чуб, 2007; Eslamian, 2014; Svoboda, Fuchs, 2016; Wang et al., 2016]. Использование индексов позволяет получить более объективные количественные оценки интенсивности, продолжительности и масштабов засухи для территорий с различными природно-климатическими условиями.

Всемирная метеорологическая организация в 2011 г., в соответствии с Линкольнской декларацией о Засухе [Hayes et al., 2011], рекомендовала в качестве ключевого индикатора засухи [Wilhite, 2006] Стандартизированный индекс осадков (SPI) [McKee et al., 1993; Guttman, 1999]. SPI рассчитывается на основе данных о суммарных осадках за определенный период и сравнивается с показателями средних осадков в той же местности. SPI позволяет проводить сравнительный анализ осадков и оценивать их относительность по сравнению со стандартными значениями. Значения SPI используются для классификации недостатка, избытка или нормального количества осадков в определенной области.

Основным преимуществом SPI была простота использования, но он имел такие недостатки, как ограничения в случае отсутствия осадков [Stagge et al., 2015; Арушанов, Рахматова, 2019] и непригодность для оценки засухи в контексте долгосрочных климатических изменений в будущем, так как не учитывал изменения температуры воздуха, являющиеся основным показателем изменения климата.

Относительно недавно разработан индекс засухи, который сохраняет основной принцип SPI, но при этом учитывает не только осадки, но и влияние температуры – *Стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации* (SPEI). Индекс рассчитывается путем вычисления разницы между суммарными осадками и испарением за определенный период времени и стандартным отклонением этих значений.

Результат является стандартизированным числовым показателем, который отражает отклонение от средних климатических условий.

С учетом того, что SPEI основывается на двух главных климатических параметрах – температуре и осадках, соответственно он отражает климатический водный баланс, его целесообразно рассматривать в качестве индикатора для оценки влияния изменения климата на засуху [Vicente-Serrano et al., 2010].

Анализ и обзор публикаций [Чуб, 2007; Агальцева, Рахматова, 2012; Профиль..., 2015; Третье..., 2017; Рахматова и др., 2022; Онлайн-панель ..., 2023], позволили выявить индексы и параметры для идентификации засух, которые применялись в стране в рамках научных исследований, международных проектов, систематического мониторинга и прогнозирования засух (табл. 1).

SPI и SPEI для территории Узбекистана применялся в оценке прошлых засух [Чуб, 2007, Арушанов, Рахматова, 2019; Rakhmatoava et al., 2021; Арушанов, Эшмуратова, 2022].

Ранее анализ засух на долгосрочную перспективу производился на основе количественных оценок изменений снегозапасов и средних расходов воды на период вегетации и климатических сценариев REMO-0406 и REMO-0507, разработанных Германским центром исследований Земли в Потсдаме (GFZ (GeoForschungsZentrum) German Research Centre for Geosciences) [Профиль ..., 2015; Третье..., 2017].

*Целью данного исследования* является оценка возможности применения стандартизированного индекса осадков и эвапотранспирации (SPEI) для анализа интенсивности и частоты исторических и будущих засух, используя данные наблюдений и данные прогнозируемого изменения климата согласно сценариям CMIP5 для территории Узбекистана.

*Для этого были поставлены следующие задачи:* 1) оценка индекса SPEI за исторический период; 2) оценка индекса SPEI согласно сценариям CMIP5; 3) анализ частоты случаев засухи по пяти зонам страны отличающимся по природно-климатическими условиями.

Таблица 1

Индексы и параметры, используемые для идентификации и оценки засухи, применяемые для Узбекистана

Table 1

Indices and parameters used for drought identification and assessment for Uzbekistan

Индекс засухи	Тип засухи
Дневной дефицит влажности воздуха (E), гПа	метеорологическая
Индекс аридности (AI)	
Число дней с температурой воздуха больше 40°C	
Стандартный индекс температуры (STI)	
Стандартизированный индекс осадков (SPI)	
Индекс Д.А. Педя	
Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК)	гидрологическая
Обеспеченность стока воды за вегетационный период (апрель-сентябрь)	
Накопление снега в течение года в качестве критерия (индекса) водности года	почвенная
Снижение запасов почвенной влаги в почвенном слое толщиной 0-20 см до 4 мм, для глинистых полупустынных почв до 10 мм	
Индекс состояния растительности (NDVI)	сельскохозяйственная

**Материал и методы.** *Районирование территории.* Узбекистан – страна с разнообразным ландшафтом и, соответственно, различными природно-климатическими зонами. В данной работе выбран подход к районированию территории, предложенный Хамзиной Т., Хасанхановой Г. [Хамзина и др. 2020], основанный на условном разделении территории на пять зон с однородными географическими признаками, климатическими характеристиками, условиями водообеспеченности с привязкой к бассейнам основных рек:

– бассейн р. Амударья – (1) Южная зона (Кашкадарьинская, Сурхандарьинская области), (2) Среднее течение (Бухарская, Навоийская, Самаркандская области) и (3) Нижнее течение (Республика Каракалпакстан, Хорезмская область);

– бассейн р. Сырдарья - (4) Ферганская долина (Андижанская, Наманганская, Ферганская области) и (5) Среднее течение (Джизакская, Сырдарьинская, Ташкентская области).

*Стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации (SPEI)* был впервые предложен [Vicente-Serrano et al, 2010] в качестве усовершенствованного индекса засухи, особенно подходящего для изучения влияния глобального потепления на силу засухи.

Расчет SPEI проводится в следующем порядке:

– на первом этапе осуществляется расчет среднемесячных значений эвапотранспирации и осадков, используя доступные климатические данные;

– затем, для учета сезонных тенденций и различий в длительности периодов измерений, проводится нормализация данных - среднемесячного значения осадков и эвапотранспирации по методу Гамбеля;

– далее проводится расчет кумулятивного распределения вероятности для каждого месяца на основе нормализованных данных;

– используя полученное кумулятивное распределение вероятности, определяется стандартизированное значение SPEI в каждом месяце; стандартизированное значение отражает отклонение от средней влажности в данном регионе;

– на последнем этапе полученные стандартизированные значения SPEI могут быть классифицированы в соответствии со шкалой, которая позволяет определить степень дефицита или избытка воды в исследуемой области и частоту (табл. 2).

Расчет SPEI реализован на основе пакета R SPEI (<http://cran.r-project.org/web/packages/SPEI>, по состоянию на 6 апреля 2021 г.). Из нескольких вариантов, доступных в пакете, использовали рекомендуемое [Beguería et al., 2014] логарифмическое распределение функции плотности вероятности, несмещенные PWM (вероятностно-взвешенный момент) и метод Харгривса [Hargreaves, 1994] для расчета месячной потенциальной эвапотранспирации, который рассчитывался в модифицированной форме, представленной в работе [Droogers, Allen, 2002].

*Таблица 2*

### Классификация степени засушливости и увлажнённости по индексу SPEI

*Table 2*

#### Classification of the degree of aridity and humidity according to the SPEI index

Значение SPEI	Степень	Значение SPEI	Степень
$\leq 2$	Экстремальная влажность	-0,5 до -1,0	Слабая засуха
1,5 до 2,0	Сильная увлажненность	-1,0 до -1,5	Умеренная засуха
1,0 до 1,5	Умеренная увлажненность	-1,5 до -2,0	Сильная засуха
0,5 до 1,0	Слабая увлажненность	$\leq -2$	Экстремальная засуха
0,5 до -0,5	Близкое к нормальному		

*Данные.* Анализ исторического периода проводился на основе данных наблюдений температуры и осадков на 78 метеорологических станциях Узбекистана за период 1980-2018 гг.

Для анализа засух на перспективу использовались результаты расчетов температуры и осадков ансамбля моделей, включенных в Фазу 5 Проекта взаимного сравнения совмещенных моделей (CMIP5), принятых МГЭИК для моделирования и исследования климата [Pachauri et al., 2014] в Пятом оценочном докладе (ОД5).

CMIP5 предлагает четыре варианта прогноза изменения климата – Репрезентативные траектории концентрации/Representative Concentration Pathway (RCP), основанных на сценариях с различными концентрациями парниковых газов (не выбросов). Каждый RCP связан с вероятностным сочетанием прогнозируемого роста населения, экономической активности, энергоемкости и социально-экономического развития. Пути описывают различные варианты будущего климата, все из которых считаются возможными в зависимости от концентрации парниковых газов (ПГ) в ближайшие годы. В названиях RCP стоит цифровая метка возможного диапазона значений радиационного воздействия в 2100 г., которое зависит от содержания ПГ в атмосфере и, соответственно, от принимаемых мер по сокращению выбросов.

**RCP 2.6** представляет пик радиационного воздействия примерно на уровне 3 Вт/м<sup>2</sup> в середине века, после чего он снизится до 2,6 Вт/м<sup>2</sup> к 2100 г. и отражает активные действия по смягчению последствий изменения климата, снижение выбросов после 2020 г. и достижение нулевых выбросов к концу XXI века.

**RCP 4.5** предполагает стабилизацию (без превышения) радиационного воздействия на уровне  $4,5 \text{ Вт/м}^2$  после 2100 г., согласно данному сценарию, выбросы  $\text{CO}_2$  начинают снижаться примерно к 2045 году и к 2100 году достигают около половины уровней 2050 г.

**RCP 6.0** обусловлен стабилизацией (без превышения) радиационного воздействия на уровне  $6 \text{ Вт/м}^2$  после 2100 года - выбросы достигают пика около 2080 года, а затем снижаются.

**RCP 8.5** характеризуется увеличением радиационного воздействия до  $8,5 \text{ Вт/м}^2$  в 2100 г. - выбросы ПГ продолжают расти в течение XXI века.

**Результаты и их обсуждение.** Основными характеристиками засухи являются такие параметры как частота случаев за определенный период времени и степень/интенсивность засушливости. Индекс SPEI позволяет формализовать и получить количественные оценки вышеупомянутых характеристик. В данной работе на основе расчётов  $\text{SPEI}_{12}$ , который демонстрирует накопление и потери влаги за период в 12 месяцев, проведен анализ частоты засух по степени засушливости за исторический период и на перспективу по зонам районирования согласно сценариям RCP. Оценки на будущее сделаны относительно базового периода (1986-2005 гг.) и текущего (2000-2019 гг.) (рис.1).

Текущий период. В бассейне р. Сырдарья в последнее двадцатилетие наименее уязвимой явилась Ферганская долина (ФД). В базовый период доля засушливых лет составляла порядка 30%, однако в последнее двадцатилетие возросло количество засушливых лет до 35% и стали наблюдаться умеренные засухи, число случаев которых составило 5%. В среднем течении р. Сырдарья (СТС) количество общих засушливых лет сократилось относительно базового периода на 15%, за счет уменьшения количества слабых засух. Однако интенсивность явления возросла и количество умеренных засух увеличилось.

В Южной зоне (ЮЗ), в бассейнах рек Сурхандарья и Кашкадарья, в последние годы возросла интенсивность явления, на 10% увеличилось число умеренных засух. Это единственная зона, где согласно классификации SPEI, как в базовый, так и в текущий период наблюдались сильные и экстремально сильные засухи.

В бассейне р. Амударья в зоне среднего (СТА) и нижнего течений (НТА) наблюдается увеличение числа засушливых лет, в том числе и умеренных засух.

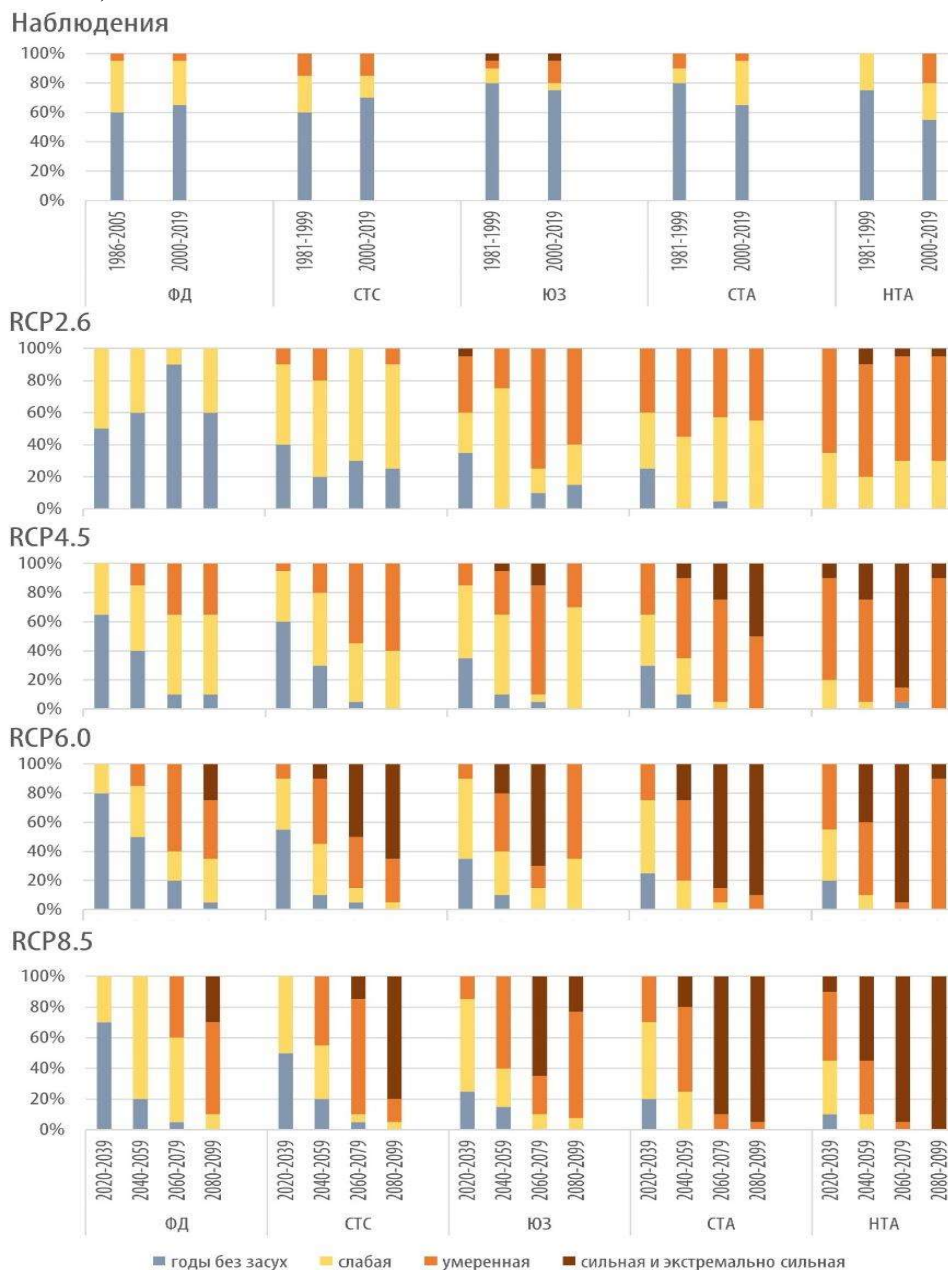
Таким образом, анализ текущего периода показывает, что наиболее уязвимыми к засухе стали ЮЗ и НТА, в которых частота и интенсивность процессов возросли за счет увеличения числа умеренных и сильных событий.

Согласно всем сценариям, во всех зонах, число засушливых лет увеличивается засуха становится фактически постоянным явлением.

**RCP 2.6** – наименее уязвимой является зона ФД, где в среднем до конца века в 35% случаев будет наблюдаться слабая засуха. В ЮЗ с 2060 г. будут преобладать умеренные засухи с 2060 г. их число достигнет 60-75%. Наиболее уязвимой будет НТА, в которой с 2020 г. засуха становится постоянной и к концу века будут преобладать умеренные (65-70%) и сильные (5-10%) засухи.

**RCP4.5** – согласно полученным данным во всех зонах со второй половины века будет наблюдаться постоянная засуха. В бассейне р. Сырдарья в ФД засушливые годы составят порядка 80%, из них доля умеренных засух достигнет 38-40%, в зоне СТС засухи становятся постоянными, доля умеренных засух может составить 60%. В ЮЗ и бассейне р. Амударья после 2060 года засухи будут наблюдаться постоянно, при этом в зоне СТА и НТА интенсивность их очень возрастает за счет увеличения количества сильных и экстремальных засух.

**RCP8.5** – на основании этого сценария можно предположить, что в бассейне р. Сырдарья даже в ФД – территории, которая в настоящее время является наименее уязвимой, появятся сильные и экстремальные засухи, а в зоне СТС они могут составить порядка 80%. В бассейне р. Амударья зоны среднего (СТА) и нижнего течения (НТА) к концу века будут находиться в условиях постоянной экстремальной засухи (более 90% случаев с 2060 г.).



**Рис. 1** Изменение интенсивности и частоты засух за базовый, текущий периоды и в соответствии с климатическими периодами по зонам планирования

**Fig. 2** Changes in the intensity and frequency of droughts for the base, current periods, and in accordance with climatic periods by planning zones

**Заключение.** Согласно проведенным оценкам, засухам подвержены все рассматриваемые зоны страны. В базовый период наибольшее число засух в целом наблюдалось в зоне СТС и ФД, но они как правило относились к слабым и умеренным засухам.

За базовый период сильные и экстремальные засухи наблюдались только в ЮЗ (в 5% случаев).

За текущий период относительно базового в ФД ситуация фактически не изменилась, СТС – общее число засух сократилось за счет слабых засух (на 10%), умеренные остались прежними (15%), в ЮЗ число засух увеличилось за счет умеренных (на 5%), значительно увеличилось число засух в СТА за счет увеличения слабых (на 20%) и в НТА в результате роста умеренных засух (на 20%).

Согласно сценариям RCP, к концу века суровость засух возрастет до сильных и экстремальных, вероятность сильных засух возможна даже в наименее уязвимой зоне – ФД. НТА останется, как и в настоящее время, самой уязвимой зоной к сильным и продолжительным засухам, где сильные и экстремальные засухи могут стать постоянным явлением.

Полученные результаты возможно использовать при разработке планов по адаптации к изменению климата с периодической корректировкой согласно будущим климатическим изменениям и новым разрабатываемым сценариям, которые учитывают социально-экономические изменения и усилия стран, осуществляемые в рамках Парижского соглашения.

**Благодарности.** Настоящее исследование выполнено в рамках прикладных проектов АЛ-5721122055 “Разработка технологии системы мониторинга пыльных бурь с использованием наземных и спутниковых данных” и АЛ-5721122072 “Комплексное использование данных о солнечной радиации с наземных наблюдений и геостационарных метеорологических спутников для устойчивого развития сельского хозяйства, водных ресурсов и источников энергии”, финансируемых Агентством инновационного развития Республики Узбекистан.

**Вклад авторов.** **Н.И. Рахматова:** методология, написание текста, производство расчетов. **Л.Ю. Шардакова:** методология, написание текста, визуализация данных. **Б.Э. Нишонов:** постановка задачи, общее руководство, редактирование текста, сбор данных. **В.С. Рахматова:** сбор данных, обработка данных. **Р.В. Таряникова:** обоснование актуальности исследований. **Б.М. Холматжанов:** анализ, редактирование текста. **Д.А. Беликов:** сбор данных, обработка данных, систематизация материала, анализ, визуализация данных. Все авторы прочитали и согласны с подготовленной к публикации версией рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

*Агальцева Н.А., Рахматова Н.И.* Засуха в Узбекистане: проблемы, раннее предупреждение и смягчение последствий // Экологический вестник, №9. 2012. – С. 23-27.

*Арушанов М., Рахматова Н.* Простой метод расчета индекса засушливости SPI, основанный на аппроксимации кубическим полиномом эмпирической функции повторяемости распределения осадков // Географическая наука Узбекистана и России: общие проблемы, потенциал и перспективы сотрудничества. Материалы Международной научно-практической конференции. Ташкент, 13-19 мая 2019 г. – Ташкент, 2019. – С. 44-48.

*Арушанов М., Эшмуратова Г.* Мониторинг атмосферной засушливости на основе расчёта модифицированного индекса SPI на территории Узбекистана // Центральноазиатский журнал географических исследований, № 3-4. 2022. – С.50-57.

Профиль климатических рисков Узбекистана. ПРООН, Узгидромет. 2015.

*Рахматова Н., Шардакова Л., Нишонов Б., Рахматова В., Таряникова Р., Беликов Д.* Оценка засушливости территории Узбекистана на основе данных реанализа ECMWF ERA-5 // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды, №4. 2022. – С. 38-49.

Третье национальное сообщение об изменении климата Республики Узбекистан. Узгидромет, 2016. – 220 с.

*Хамзина Т., Хасанханова Г., Денисова Е., Ибрагимов Р.* Оценка уязвимости сельского и водного хозяйства к изменению климата для планирования и принятия решений в Узбекистане. Отчет проекта ГЭФ/ЮНЭП/Узгидромет «Узбекистан: Подготовка Четвертого Национального Сообщения и Первого Двухгодичного отчета по обновленным данным (ПДО) по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН)», 2020. – 124 с.

*Чуб В.* Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. – Ташкент. Узгидромет, НИГМИ, «VORIS-NASHRIYOT».– 132 с.

*Begueria S., Vicente-Serrano S.M., Reig F., Latorre B.* Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring // International Journal of Climatology, 34(10), 2014. – PP. 3001-3023. <https://doi.org/10.1002/joc.3887>.

*Droogers P., Allen R.G.* Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions // Irrigation and Drainage Systems, №16. 2002. – PP. 33-45. <https://doi.org/10.1023/A:1015508322413>

*Eslamian Saeid ed.* Handbook of engineering hydrology: modeling, climate change, and variability. CRC Press, 2014.

*Guttman N.B.* Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm 1 // Journal of the American Water Resources Association, 35.2, 1999. – PP. 311-322. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592>.

*Hargreaves G.H.* Defining and using reference evapotranspiration // Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 120(6), 1994. – PP.1132-1139. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1994\)120:6\(1132\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1994)120:6(1132))

*Hayes M., Svoboda M., Wall N., Widhalm M.* The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended // Bulletin of the American Meteorological Society, 92(4), 2011. – PP. 485-488. <https://doi.org/10.1002/joc.4267>

*Masson-Delmotte V.P. et al.* Summary for policymakers. in: Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the Sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2021.

*McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J.* The relationship of drought frequency and duration to time scales // In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, January 1993, Vol. 17, No. 22. – PP. 179-183.

*Pachauri R.K., Allen M.R., Barros V.R., Broome J., Cramer W., Christ R., ..., van Ypersele J.P.* Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2014. – 151 p.

*Rakhmatova N., Arushanov M., Shardakova L., Nishonov B., Taryannikova R., Rakhmatova V., Belikov D.A.* Evaluation of the perspective of ERA-Interim and ERA5 reanalyses for calculation of drought indicators for Uzbekistan // Atmosphere, 12(5), 2021. – PP. 527-541. <https://doi.org/10.3390/atmos12050527>

*Stagge J.H., Tallaksen L.M., Gudmundsson L., Van Loon, A.F. & Stahl K.* Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI) // International Journal of Climatology, 35(13), 2015. – PP. 4027-4040.

*Svoboda M., Fuchs B.* Handbook of drought indicators and indices. Drought and water crises: Integrating science, management, and policy, WMO, 2016.

*Vicente-Serrano S.M., Begueria S., López-Moreno J.I.* A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index // Journal of Climate, 23(7), 2010. – PP. 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>

Wang W., Ertsen M.W., Svoboda M.D., Hafeez M. Propagation of drought: from meteorological drought to agricultural and hydrological drought // *Advances in Meteorology*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6547209>

Wilhite D. Drought monitoring and early warning: Concepts, progress and future challenges. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. WMO, 2006. – 1006 p.

Yihdego J., Vaheddoost B., Al-Weshah Radwan A. Drought indices and indicators revisited // *Arabian Journal of Geosciences*, 12(3), 2019. – PP.69-81 doi:10.1007/s12517-019-4237-z

*Electronic resource:*

Online panel for assessing climate risks due to heat, floods and drought, 2023. URL: <https://iwmi-cwana.users.earthengine.app/view/climate-profile> (accessed September 4, 2023)

## ЎЗБЕКИСТОН ХУДУДИДА ҲОЗИРГИ ВАҚТДА ВА КЕЛАЖАКДА ҚУРҒОҚЧИЛИКНИНГ ЧАСТОТАСИ ВА ЖАДАЛЛИГИНИ КУЗАТУВ МАЪЛУМОТЛАРИ ВА СМIP5 СЦЕНАРИЙЛАРИДАН ФОЙДАЛАНИБ SPEI ИНДЕКСИ АСОСИДА ТАҲЛИЛИ

Н.И. РАХМАТОВА<sup>1</sup>, Л.Ю. ШАРДАКОВА<sup>1</sup>, Б.Э. НИШОНОВ<sup>1,3</sup>, В.С. РАХМАТОВА<sup>1,2</sup>,  
Р.В. ТАРИЯНИКОВА<sup>1</sup>, Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ<sup>1,3</sup>, Д.А. БЕЛИКОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, Ўзбекистон, [natella.rakhmatova@gmail.com](mailto:natella.rakhmatova@gmail.com), [lyudmila.shardakova@gmail.com](mailto:lyudmila.shardakova@gmail.com), [bnishonov@mail.ru](mailto:bnishonov@mail.ru), [traisa\\_5@mail.ru](mailto:traisa_5@mail.ru)

<sup>2</sup> Киото университети, Япония, [valeria.rakhmatova@gmail.com](mailto:valeria.rakhmatova@gmail.com)

<sup>3</sup> Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, Ўзбекистон, [b.xolmatjanov@nuuz.uz](mailto:b.xolmatjanov@nuuz.uz)

<sup>4</sup> Чибя университети, Япония, [dmitry.a.belikov@gmail.com](mailto:dmitry.a.belikov@gmail.com)

**Аннотация.** Мақолада базавий ва ҳозирги иқлимий даврлар ҳамда узоқ муддатли келажак учун қурғоқчиликнинг содир бўлиши таҳлили стандартлаштирилган ёгинлар ва эвапотранспирация индекси (SPEI)ни ҳисоблаш асосида таҳлил қилинган. Ҳисоблашлар ўтган даврлар учун Ўзгидромет метеостанцияларида олинган маълумотлар ва “Концентрациянинг репрезентатив траекториялари” иқлимий сценарийлари (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP 8.5) бўйича модел ҳисоблашлар натижаларига асосланади. Ўзбекистон ҳудуди учун баҳолашлар дарёлар ҳавзаларига боғлаган ҳолда бир хил географик шароитлари, иқлимий хусусиятлари ва сув билан таъминланганлигига кўра районлаштирилган зоналар учун баъжарилган. Олинган натижалар иқлим ўзгаришига мослашиш режаларини ва қурғоқчилик оқибатларини юмшатиш учун превентив тадбирларни ишлаб чиқиш учун қўлланилиши мумкин.

**Калит сўзлар:** қурғоқчилик, қурғоқчилик частотаси, SPEI, СМIP5, RCP, прогностик баҳолашлар, иқлим ўзгариши.

## ANALYSIS OF THE FREQUENCY AND INTENSITY OF CURRENT AND LONG-TERM DROUGHTS IN UZBEKISTAN BASED ON THE SPEI INDEX USING OBSERVATIONAL DATA AND CMIP5 SCENARIOS

N.I. RAKHMATOVA<sup>1</sup>, L.Yu. SHARDAKOVA<sup>1</sup>, B.E. NISHONOV<sup>1,3</sup>,  
V.S. RAKHMATOVA<sup>1,2</sup>, R.V. TARYANNIKOVA<sup>1</sup>,  
B.M. KHOLMATJANOV<sup>1,3</sup>, D.A. BELIKOV<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hydrometeorological Research Institute, Uzbekistan, [natella.rakhmatova@gmail.com](mailto:natella.rakhmatova@gmail.com), [lyudmila.shardakova@gmail.com](mailto:lyudmila.shardakova@gmail.com), [bnishonov@mail.ru](mailto:bnishonov@mail.ru), [traisa\\_5@mail.ru](mailto:traisa_5@mail.ru)

<sup>2</sup> Kyoto University, Japan, [valeria.rakhmatova@gmail.com](mailto:valeria.rakhmatova@gmail.com)

<sup>3</sup> National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Uzbekistan, [b.xolmatjanov@nuuz.uz](mailto:b.xolmatjanov@nuuz.uz)

<sup>4</sup> Chiba University, Japan, [dmitry.a.belikov@gmail.com](mailto:dmitry.a.belikov@gmail.com)

**Abstract.** *The article analyzes the frequency of droughts for the base and current periods, as well as for the long term, based on the calculation of the Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI). Calculations for historical periods are based on meteorological data obtained at Uzhydromet weather stations and on the results of model calculations for climate scenarios “Representative Concentration Pathways” (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP 8.5). Estimates were made for the territory of Uzbekistan, zoned on homogeneous geographical characteristics, climatic characteristics, and water supply conditions, with reference to the basins of the main rivers. The results can be used to develop climate change adaptation plans and take preventive measures to mitigate the effects of droughts.*

**Keywords:** *drought, drought frequency, SPEI, CMIP5, RCP, forecast measurements, climate change.*

## REFERENCES

*Agalceva N.A., Rahmatova N.I.* Zasuha v Uzbekistane: problemy, rannee preduprezhdenie i smyagchenie posledstvij [Drought in Uzbekistan: problems, early warning and mitigation of consequences] // *Ekologicheskij vestnik*, №9. 2012. – S. 23-27. (in Russian)

*Arushanov M., Rahmatova N.* Prostoy metod rascheta indeksa zasushlivosti SPI, osnovannyj na approksimacii kubicheskim polinomom empiricheskoj funkicii povtoryaemosti raspredeleniya osadkov [A simple method for calculating the aridity index SPI, based on the cubic polynomial approximation of the empirical frequency function of precipitation distribution] // *Geograficheskaya nauka Uzbekistana i Rossii: obshie problemy, potencial i perspektivy sotrudnichestva. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Tashkent, 13-19 maya 2019 g. – Tashkent, 2019. – S. 44-48. (in Russian)

*Arushanov M., Eshmuratova G.* Monitoring atmosfernoj zasushlivosti na osnove raschyota modificirovannogo indeksa SPI na territorii Uzbekistana [Monitoring of atmospheric aridity based on the calculation of the modified SPI index on the territory of Uzbekistan] // *Centralnoaziatskij zhurnal geograficheskikh issledovaniy*, № 3-4. 2022. – S. 50-57. (in Russian)

Profil klimaticheskikh riskov Uzbekistana [Climate risk profile of Uzbekistan]. PROON, Uzgidromet. 2015 (in Russian)

*Rahmatova N., Shardakova L., Nishonov B., Rahmatova V., Taryannikova R., Belikov D.* Ocenka zasushlivosti territorii Uzbekistana na osnove dannyh reanaliza ECMWF ERA-5 [Assessment of aridity of the territory of Uzbekistan based on ECMWF ERA-5 reanalysis data] // *Gidrometeorologiya i monitoring okruzhayushej sredy*, №4. 2022. – S. 38-49 (in Russian)

Tretye nacionalnoe soobshenie ob izmenenii klimata Respubliki Uzbekistan [Third national report on climate change of the Republic of Uzbekistan]. Uzgidromet, 2016. – 220 s. (in Russian)

*Hamzina T., Hasanhanova G., Denisova E., Ibragimov R.* Ocenka uyazvimosti selskogo i vodnogo hozyajstva k izmeneniyu klimata dlya planirovaniya i prinyatiya reshenij v Uzbekistane [Assessing the vulnerability of agriculture and water management to climate change for planning and decision-making in Uzbekistan]. Otchet proekta GEF/UNEP/Uzgidromet «Uzbekistan: Podgotovka Chetvertogo Nacionalnogo Soobsheniya i Pervogo Dvuhgodichnogo otcheta po obnovlennym dannym (PDO) po Ramochnoj Konvencii OON ob izmenenii klimata (RKIK OON)», 2020. – 124 s. (in Russian)

*Chub V.* Izmenenie klimata i ego vliyanie na gidrometeorologicheskie processy, agroklimaticheskie i vodnye resursy Respubliki Uzbekistan [Climate change and its impact on hydrometeorological processes, agroclimatic and water resources of the Republic of Uzbekistan]. – Tashkent. Uzgidromet, NIGMI, «VORIS-NASHRIYOT». – 132 s. (in Russian)