

Ўзбекистон Республикаси
Гидрометеорология хизмати агентлиги
(Ўзгидромет)

Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти
(ГМИТИ)

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
ВА АТРОФ-МУҲИТ МОНИТОРИНГИ**

Илмий журнал



**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
И МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Научный журнал



**HYDROMETEOROLOGY
AND ENVIRONMENTAL MONITORING**

Scientific journal

№ 3

2024

Тошкент

МЕТЕОРОЛОГИЯ / METEOROLOGY

УДК: 632.112

**SPI, SPEI ИНДЕКСЛАРИ ВА ҲАВО ҚУРҒОҚЧИЛИГИНИНГ
ТЕРМОГИГРОМЕТРИК КОЭФФИЦИЕНТИ (ТГК) АСОСИДА
ЎЗБЕКИСТОНДА ҚУРҒОҚЧИЛИКНИ БАҲОЛАШ****Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ^{1,2*}, С.У. БЕГМАТОВ¹, Д.Ў. ЯРАШЕВ¹, И.М. МАХМУДОВ¹,
Б.Х. АХМУРАТОВА², Ф.Б. САФАРОВ³, Э.Ю. РАХИМОВ⁴, Д.Б. ИСТАМОВ⁵**¹ Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти, sardor0752@gmail.com² Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети, b.xolmatjanov@nuu.uz³ Гидрометеорология хизмати агентлиги, sfazizbek@gmail.com⁴ Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлиги хузуридаги Қайта тикланувчи энергия манбалари миллий илмий-тадқиқот институти, ejurakhimov@gmail.com⁵ Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Физика-техника институти, istamov@uzsci.net

Аннотация. Тадқиқотни бажаришда Европа ўрта муддатли об-ҳаво прогнозлари марказининг ERA5 реанализ базасининг атмосфера ёгинлари, ҳаво ҳарорати ва шудринг нуқтаси ҳарорати маълумотларидан фойдаланилган. Жаҳон миқёсида қурғоқчиликни баҳолашда кенг қўлланилаётган SPI ва SPEI индекслари асосида 1991-2020 йилларда Ўзбекистон ҳудудида 1 ва 3 ойлик метеорологик қурғоқчиликнинг тақсимотлари миқдорий баҳоланган. Олинган натижалар республиканинг турли (чўл, воҳа ва тоғли) табиий географик шароитли ҳудудларида мазкур индекслар бўйича 70% атрофидаги ҳолларда меъёрга яқин намланиш даражаси қайд этилишини кўрсатди. Экстремал қурғоқчиликнинг такрорланувчанлиги 1 ойлик индекслар бўйича 3,0%, 3 ойлик индекслар бўйича эса 7,0% дан ошмайди. ТГК индекси бўйича республика ҳудудида асосан кучсиз ва мўътадил атмосфера қурғоқчилиги (АҚ) устуворлик қилиши аниқланди. Апрельдан сентябргача бўлган даврда экстремал АҚ фақат Навоий, Бухоро, Қашқадарё ва Сурхондарё вилоятларининг айрим ҳудудларида қайд этилади. Сугорма деҳқончилик олиб бориладиган воҳа ҳудудларида кучли ва экстремал АҚ кузатилмайди.

SPI ва SPEI индекслари энг кам 1 ойлик вақт масштаби учун ҳисобланиб, ёгинлар миқдорининг ҳисоб даври ичидаги тақсимотини ҳисобга олмайди. Шу сабабли, қисқа вақт оралиқларида ҳаво ҳарорати ва намлик режимининг қишлоқ хўжалиги экинларининг физиологик ҳолатига таъсирини эътиборга олиш учун ТГК индексидан фойдаланиши тавсия этилади.

Калит сўзлар: қурғоқчилик, ёгинлар миқдори, ҳаво ҳарорати, шудринг нуқтаси ҳарорати, ERA5, SPI, SPEI, ТГК, Ўзбекистон.

Кириш. Қурғоқчилик – намликнинг ўртача даражадан сезиларли паст бўлган даврлари бўлиб, одатда катта майдонларни қамраб олади. Бу даврда сув таъминотидаги чекловлар табиий тизимлар ва иқтисодиёт тармоқларига салбий таъсир кўрсатади [Wilhite and Pulwarty, 2017; Ault, 2020]. Қурғоқчилик ходисаси чўллардан ёмғирли ўрмонларгача бўлган ихтиёрий иқлим режимига эга минтақаларида содир бўлиши мумкин. Қурғоқчиликнинг табиат ва инсон фаолиятига салбий таъсири йилдан йилга ортиб, тобора зарари юқори табиий офатлардан бирига айланмоқда [Van Loon, 2015; Vicente-Serrano, 2007; Wilhite and Pulwarty, 2017; WMO and GWP, 2016]. Иқлим ўзгариши бўйича ҳукуматлараро гуруҳининг Олтинчи баҳоловчи ҳисоботида таъкидланишича

* Масъул муаллиф: b.xolmatjanov@nuu.uz, тел.: +998 99 875-51-27

“Қурғоқчилик – қурғоқчил шароитларнинг тўсатдан пайдо бўлиши ва тез кучайиши билан тавсифланувчи бир неча ҳафталик “қисқа қурғоқчиликлар (flash droughts)”дан “мега қурғоқчилик (mega droughts)” деб аталувчи кўп йиллик ёғингарчилик танқислигигача вақт оралиқларида содир бўлиши мумкин” [IPCC, 2021].

XX-XXI асрларда қитъаларнинг катта худудларини қамраб олган қурғоқчилик ҳодисаларининг турли жиҳатлари кенг ўрганилган. 1920 йилда Хитойда [Liang et al., 2006], 1950 йилда Мексика ва АҚШда [Schubert et al., 2004], 1970 ва 1990 йилларда Сахелда [Hulme, 2001], 2000 ва 2017-2019 йилларда Австралияда [van Dijk et al., 2013; Peng et al., 2019; Nguyen et al., 2019], 1950-2012 йилларда Европада [García-Herrera et al., 2010; Spinoni et al., 2015], 2011 ва 2015-2017 йилларда Африкада [Nicholson, 2014; Baudoin et al., 2017; Masante et al., 2018; Muller, 2018], 2010-йилларнинг бошларида АҚШда [Swain et al., 2014; Seager et al., 2015], 2014 йилда Хитойда [Wang and He, 2015], 2010-2018 йилларда Чилида [Garreaud et al., 2020] кузатилган қурғоқчилик ҳодисаларини бунга мисол сифатида келтириш мумкин.

Илмий адабиётда алоҳида ўзгарувчиларнинг (масалан, ёғингарчилик, тупроқ намлиги, сув оқими, эвапотранспирация) аномалияларидан бошлаб турли атмосфера ўзгарувчиларини бирлаштирувчи кўплаб қурғоқчилик индекслари нашр этилган. Улар қурғоқчилик билан бевосита боғлиқ бўлган табиий шароит ва кўрсаткичларнинг ўзгаришига асосланиб, ёғингарчилик тақчиллиги, ҳаво намлиги дефицитининг атмосферанинг буғланишга талаби (Atmospheric Evaporative Demand – AED)дан ортиши, тупроқ намлиги дефицити, гидрологик дефицит ҳамда ёғингарчилик ва AED ни бирлаштирувчи атмосфера индексларидир. Бу индекслар асосида қурғоқчиликни баҳолаш метеорологик, қишлоқ хўжалиги ва экологик ҳамда гидрологик қурғоқчилик турлари бўйича амалга оширилади [IPCC, 2021]. Қурғоқчилик турлари ўртасидаги фарқ мутлак эмас, чунки қурғоқчилик Ер тизимининг турли субминтақаларига бир вақтнинг ўзида, айрим ҳолларда эса асинхрон таъсир кўрсатиб, қурғоқчиликнинг бир туридан бошқасига тарқалиши мумкин [Brunner and Tallaksen, 2019]. Шу сабабли, қурғоқчиликни ягона универсал таъриф ёрдамида тавсифлаб [Lloyd-Hughes, 2014], битта ўзгарувчига асосланган ҳолда тўғридан-тўғри ўлчаб бўлмайди [Wilhite and Pulwarty, 2017].

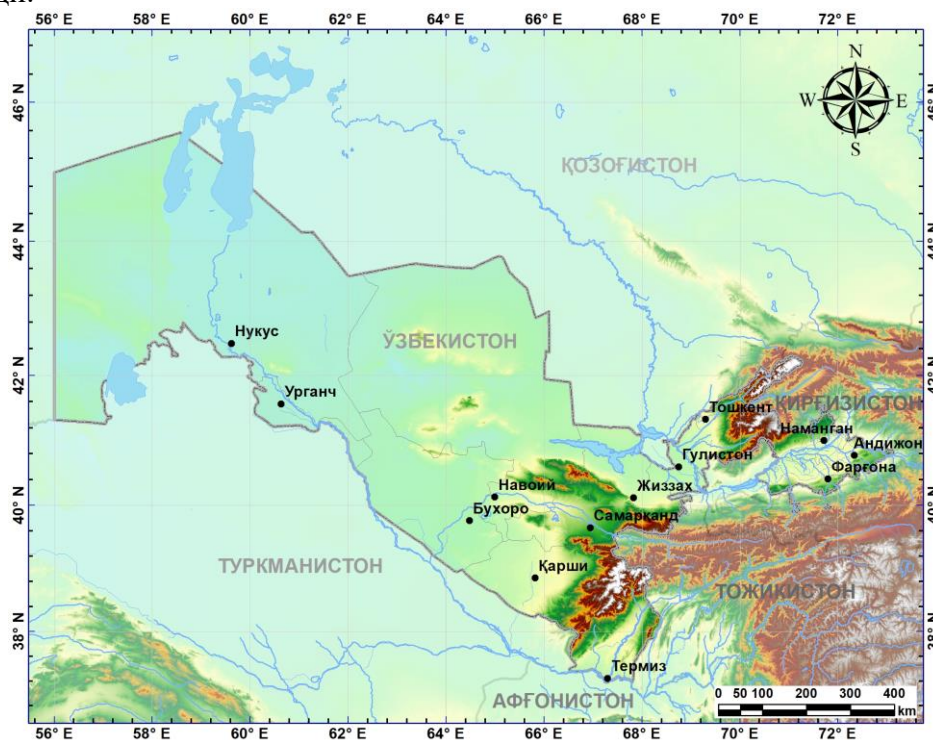
Жаҳон амалиётида йигирмадан ортиқ метеорологик қурғоқчилик индекслари қўлланилади [WMO and GWP, 2016]. Ҳозирги вақтда қурғоқчиликни тадқиқ этишда Стандартлаштирилган ёғингарчилик индекси (Standardized Precipitation Index – SPI) ва Стандартлаштирилган ёғингарчилик буғланиш индекси (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI) кенг қўлланилмоқда [Danandeh Mehr and Vaheddoost, 2020; Pei et al., 2020; Ojha, 2021; Faye, 2022; Pyaraly et al., 2022; Cavus et al., 2023; Hasan et al., 2023; Kimaiyo et al., 2023; Öney and Anlı, 2023; Peng et al., 2023; Ziari and Medjerab, 2024]. Маълумки, метеорологик қурғоқчилик, бошқа барча қурғоқчилик турлари каби, термодинамик ва динамик жараёнларнинг комбинацияси натижасидир. Глобал ва минтақавий миқёсда қурғоқчиликка олиб келувчи термодинамик жараёнлар асосан иссиқлик ва намлик алмашинуви билан боғлиқ бўлиб, шунингдек, ўсимлик қоплами ва уларнинг физиологияси билан қисман модуляцияланади. Бундай жараёнлар, масалан, ҳаво намлиги, ҳарорат ва радиация режимига таъсир кўрсатиб, улар ўз навбатида муайян вақт оралиқларида айрим худудларда ёғингарчилик ва/ёки буғланишга таъсир этади. Ўз навбатида, динамик жараёнлар турли вақт оралиқларида содир бўлувчи қурғоқчиликни тушунишда ўта муҳимдир [IPCC, 2021].

Жаҳон илмий адабиётида термодинамик жараёнлар ва метеорологик қурғоқчилик ўртасидаги боғлиқликни ўрганишга бағишланган қатор илмий ишлар чоп этилган. Сув буғи босими дефицити, ҳақиқий (actual evapotranspiration – AET) ва потенциал буғланиш

(potencial evapotranspiration – PET) ёки уларнинг комбинацияси, AED [Hobbins et al., 2012; McVicar et al., 2012; Sheffield et al., 2012] ёки кунлик буғланиш дефицити индекси (the daily evapotranspiration deficit index – DEDI) [Zhang et al., 2022] термодинамик жараёнларнинг ўзгарувчилари ва индекслари сифатида қўлланилади.

SPI ва SPEI индекслари ҳамда ўзбекистонлик олимлар томонидан таклиф этилган ҳаво қурғоқчилигининг термогигрометрик коэффициенти (ТГК) асосида Ўзбекистонда қурғоқчиликнинг шаклланишини ўрганиш мазкур тадқиқотнинг **мақсади**, SPI, SPEI ва ТГК индекслари асосида қурғоқчилик ҳодисаларининг ҳудудий ва вақт бўйича тақсимооти, такрорланувчанлик ва давомийлик кўрсаткичларини аниқлаш унинг **вазифаси** сифатида белгиланди.

Тадқиқотнинг объекти ва предмети. Ўзбекистоннинг ер майдони 448 978 км² бўлиб, Марказий Осиё минтақасида (37°13'-45°36' ш.к., 56°00'-73°10' ш.у.) жойлашган (1-расм). Ўзбекистон океанлардан узоқ масофада жойлашганлиги туфайли, мавжуд сув ҳавзалари океанларга туташмаган, табиий географик шароитларининг хилма-хиллиги билан тавсифланади [Бабушкин ва Когай, 1964]. Текисликлар қурғоқчил ва ярим қурғоқчил ҳудудлар бўлиб, жануб, жануби-шарқ ва шарқда тоғлар билан чегараланган. Ўзбекистон ҳудудида шаклланувчи қурғоқчилик ҳодисалари тадқиқотнинг объектини ташкил этади. Атмосфера қурғоқчилиги шаклланишининг термодинамик шароитлари, унинг метеорологик қурғоқчиликка таъсири, атмосфера ва метеорологик қурғоқчиликнинг такрорланувчанлик ва давомийлик кўрсаткичларини баҳолаш ишнинг предмети ҳисобланади.



1-расм. Ўзбекистоннинг географик жойлашуви

Рис. 1. Географическое расположение Узбекистана

Fig. 1. Geographical location of Uzbekistan

Бирламчи маълумотлар ва тадқиқот усуллари. Тадқиқот ишини бажаришда Европа ўрта муддатли об-ҳаво прогнозлари маркази (ECMWF) ERA5 реанализ базасининг

1991-2020 йй. учун ёгинлар миқдори, ҳаво ҳарорати ва шудринг нуқтаси ҳарорати маълумотларидан фойдаланилди. Ўзбекистоннинг турли табиий географик (чўл, воҳа ва тоғли) шароитли минтақаларида жойлашган метеорология станциялари ҳудудида қурғоқчиликнинг такрорланувчанлик ва давомийлик кўрсаткичлари ҳисобланди (1-жадвал).

1-жадвал

Тадқиқотда танланган метеорология станцияларининг жойлашуви

Таблица 1

Расположение выбранных метеорологических станций в исследовании

Table 1

Location of selected meteorological stations in the study

ID	Метеорология станцияси	Координаталар			ID	Метеорология станцияси	Координаталар		
		кенглик, °N	узунлик, °E	Денгиз сатҳига нисбатан баландлик, м			кенглик, °N	узунлик, °E	Денгиз сатҳига нисбатан баландлик, м
Тоғ					Воҳа				
1	Мингчуқур	38,6500	66,9333	2077	9	Даҳбет	39,7500	66,9170	646
2	Бойсун	38,2000	67,1830	1220	10	Шаҳрисабз	39,0066	66,8333	628
3	Писком	41,9000	70,3670	1214	11	Дўстлик	40,4166	67,1833	520
4	Сариканда	39,9530	71,1248	1200	12	Поп	40,8833	71,0116	442
5	Баҳмал	39,9333	67,4333	744	13	Бухоро	39,7666	64,4833	225
Чўл					14	Навоий	40,1164	65,1674	346
6	Оқбайтал	43,1500	64,3333	233	15	Улугнор	40,8024	71,5998	396
7	Учкудук	42,1540	63,5560	210	16	Янгийўл	41,0167	69,0050	344
8	Қорақалпоғистон	44,8500	56,333	126	17	Термиз	37,2830	67,3000	312
					18	Сирдарё	40,8170	68,6830	264
					19	Туямўйин	41,2167	61,3364	117
					20	Урганч	41,5830	60,633	98
					21	Нукус	42,4833	59,616	75

Ўзбекистон ҳудудида метеорологик қурғоқчиликни баҳолашда SPI ва SPEI индекслари, атмосфера қурғоқчилиги (АК)ни баҳолаш учун эса ТКК индекси қўлланилди.

SPI. Бу индекс 1993 йилда таклиф қилинган бўлиб [McKee et al., 1993], Жаҳон метеорология ташкилоти (WMO) томонидан муайян вақт оралиқларида намланиш даражасини ифодалаш учун тавсия этилган индекслардан биридир [WMO, 2009]. SPI куйидаги формула бўйича ҳисобланади [Уткузова и др., 2015]:

$$SPI = \pm \frac{t - (c_2t + c_1) + c_0}{[(d_3t + d_2)t + d_1]t + 1}, \tag{1}$$

бу ерда: $t = \sqrt{\ln\left[\frac{1}{|c - H(x)|}\right]}$ ($0 < H(x) \leq 0,5$ бўлганда $c=0$; $0,5 < H(x) < 1$ бўлганда

$c=1$); $H(x) = q + (1 - q)G(x)$ – ёгинларнинг кумулятив эҳтимоллиги, q – ноль ёгингарчилик эҳтимоллиги; $G(x)$ – гамма-функция; $c_0=2,5155$, $c_1=0,8028$, $c_2=0,0203$, $d_1=1,4327$, $d_2=0,1892$, $d_3=0,0013$.

SPEI. SPI га асосланган бу индекс 2010 йилда таклиф қилинган бўлиб (Vicente Serrano et al., 2010), қурғоқчилик ҳодисасини таҳлил қилиш учун ёгингарчилик ва потенциал эвапотранспирацияни ҳисобга олади. Индекс куйидаги ифода орқали ҳисобланади:

$$SPEI = W - \frac{c_0 + c_1W + c_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}, \quad (2)$$

бу ерда: $P \leq 0,5$ бўлганда $W = \sqrt{-2 \ln(P)}$, $P > 0,5$ бўлганда $W = \sqrt{-2 \ln(1-P)}$.

SPI ва SPEI индексларининг муайян қийматлар диапазонида мос келувчи қурғоқчилик даражалари 2-жадвалда келтирилган. Ихтиёрий вақт оралиғи учун қурғоқчилик мезони қуйидагича аниқланади. Индекслар қиймати манфий бўлганда ҳар доим қурғоқчилик ҳодисаси шаклланди деб қабул қилинади ва $SPI(SPEI) \leq -1,0$ бўлганда қурғоқчилик муайян жадалликка эришади. Индекслар мусбат қиймат қабул қилганида қурғоқчилик яқунланди, деб ҳисобланади. Шундай қилиб, ҳар бир қурғоқчилик ҳодисаси бошланиш ва тугаш муддатлари билан аниқланувчи давомийлик ҳамда қурғоқчилик қайд этилган ҳар бир ой (ёки ойлар) бўйича жадаллик кўрсаткичлари билан тавсифланади [McKee et al., 1993; Vicente-Serrano et al., 2010].

2-жадвал

SPI ва SPEI индекслари бўйича қурғоқчилик таснифи

Таблица 2

Классификация засухи по индексам SPI и SPEI

Table 2

Drought classification on SPI and SPEI indices

Намланиш/қурғоқчилик даражаси	SPI, SPEI
Экстремал нам	> 2
Жуда нам	$1,5 \div 1,99$
Мўътадил нам	$1,0 \div 1,49$
Меъёрга яқин	$-0,99 \div 0,99$
Мўътадил қурғоқчил	$-1,0 \div -1,49$
Кучли қурғоқчил	$-1,5 \div -1,99$
Экстремал қурғоқчил	< -2

ТГК. Бу индекс ўлчамсиз катталиқ бўлиб, қуйидаги ифода орқали ҳисобланади [Petrov and Abdullaev, 2010]:

$$K = \frac{T - \tau}{T} = \frac{\Delta}{T}, \quad (3)$$

бу ерда: K – ҳаво қурғоқчилигининг термогигрометриқ коэффициентини (%), $T - \tau = \Delta$ – шудринг нуқтаси дефицити, τ – шудринг нуқтаси ҳарорати, T – ҳаво ҳарорати (Кельвин).

ТГК ҳавода сув буғининг муайян таркиби ва муайян ҳароратда унинг тўйиниш ҳолатидан қанчалик узоклигини кўрсатади. Бу коэффициент ўзгаришида ҳаво ҳарорати ва намлиги ўзгаришларининг ролини аниқлаш учун (3) ифода логарифмланади, дифференциалланади ва чекли фарқларга ўтилади [Kholmatjanov et al., 2023]:

$$\ln K = \ln\left(\frac{T - \tau}{T}\right),$$

$$\ln K = \ln(T - \tau) - \ln(T),$$

$$\frac{dK}{K} = \frac{dT - d\tau}{T - \tau} - \frac{dT}{T},$$

$$\frac{dK}{K} = \frac{\tau dT - T d\tau}{T(T - \tau)},$$

$$\frac{dK}{K} = \frac{\tau dT}{T(T-\tau)} - \frac{d\tau}{T-\tau},$$

$$\left. \frac{\Delta K}{K} \right|_{T=const} = - \frac{\Delta \tau}{T-\tau}, \quad (4)$$

$$\left. \frac{\Delta K}{K} \right|_{\tau=const} = \frac{\tau \Delta T}{T(T-\tau)}. \quad (5)$$

(4) тенгламага кўра, ҳаво ҳарорати ўзгармас шароитда шудринг нуқтаси ҳароратининг ортиши ҳаво қуруқлигини камайтиради, (5) тенгламага мувофиқ шудринг нуқтаси ҳарорати ўзгармас бўлганда ҳароратнинг ортиши ҳаво қуруқлигининг ортишига олиб келади.

Табиий шароитларда, совуқ кутб ва иссиқ чўл минтақаларида, мазкур коэффициент 0 дан 150%о гача диапазонда ўзгариши мумкин [Petrov and Abdullaev, 2010]. Ўзбекистоннинг турли табиий географик шароитлари (тоғ, воҳа, чўл) учун ҳаво ҳарорати, сув буғи босими ва ТГК ўртасидаги боғлиқликни чуқур таҳлил қилиш асосида тегишли ТГК қийматлари учун аниқланган АҚ мезонлари қуйидаги чегараларга эга: кучсиз АҚ – 76-90%о чегараларида; мўътадил АҚ – 91-105%о; кучли АҚ – 106-120%о; ўта кучли (экстремал) АҚ – 120%о дан ортиқ. Ҳавонинг муайян ҳароратларида АҚ жадаллигининг бу даражалари сув буғи босими, тўйиниш босими дефицити, шудринг нуқтаси ҳарорати ва нисбий намлик ўзгаришларининг қуйидаги диапазонлари билан тавсифланади (3-жадвал) [Петров ва бошқ., 2021].

3-жадвал

Ҳаво ҳарорати ва атмосфера қурғоқчилигининг турли даражаларида сув буғи босими (Δe), босим дефицити (Δd), шудринг нуқтаси ҳарорати ($\Delta \tau$) ва нисбий намлик (f)нинг ўзгариш диапазонлари

Таблица 3

Диапазоны изменения парциального давления водяного пара (Δe), дефицита давления (Δd), температуры точки росы ($\Delta \tau$) и относительной влажности (f) при разных температурах воздуха и степенях атмосферной засухи

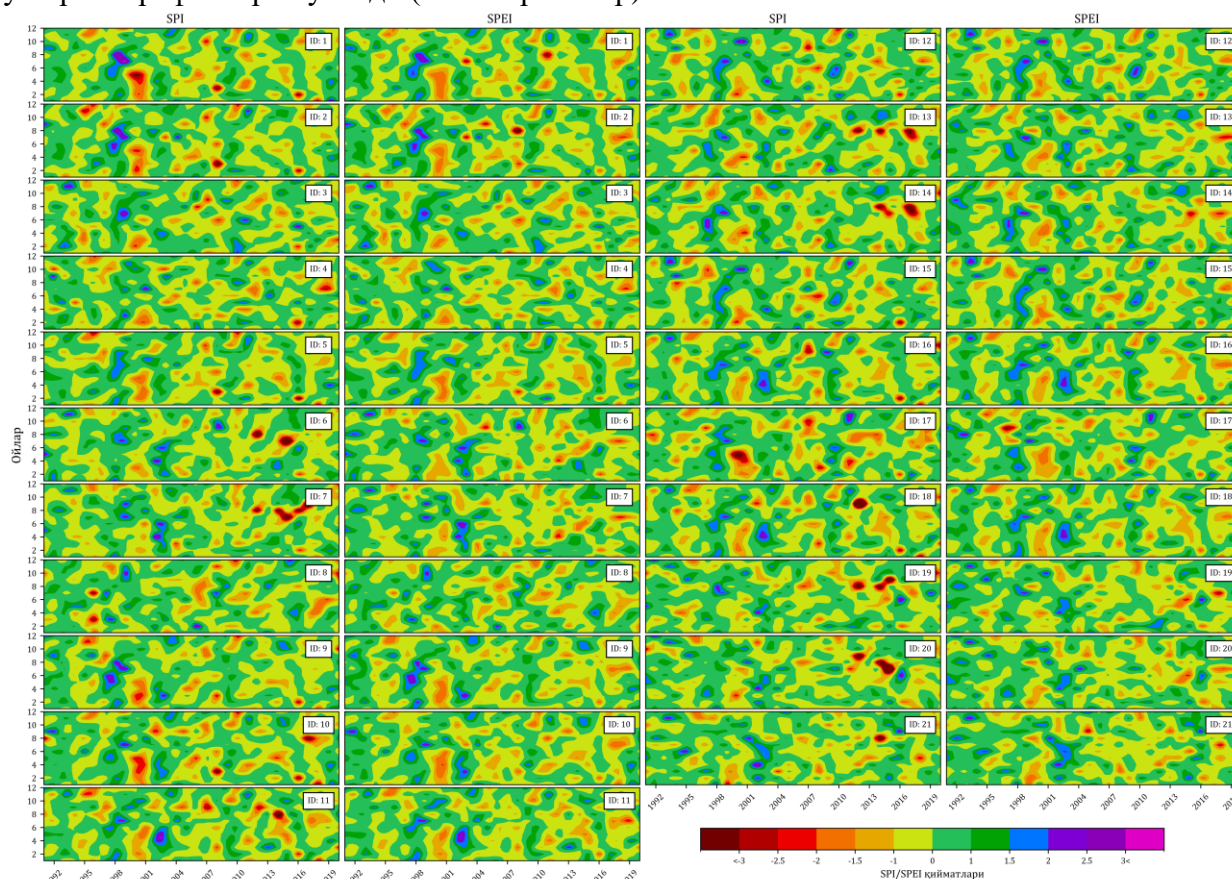
Table 3

Changes in vapor pressure (ΔVP), moisture deficit (ΔEd), dew point temperature ($\Delta \tau$), and relative humidity (RH) at different air temperatures and intensity of atmospheric drought (ΔK)

ΔK (%)	t (°C)	Δe (гПа)	Δd (гПа)	$\Delta \tau$ (°C)	f (%)
76-90	25	7,5 ÷ 5,3	24 ÷ 26	3,1 ÷ -2,0	24
	30	10,2 ÷ 7,6	31 ÷ 35	7,3 ÷ 3,2	24
	35	13,7 ÷ 10,3	43 ÷ 46	11,7 ÷ 7,4	25
	40	18,9 ÷ 13,8	55 ÷ 60	16,5 ÷ 11,8	26
91-105	25	5,2 ÷ 3,8	37 ÷ 30	-2,1 ÷ -6,3	17
	30	7,6 ÷ 5,3	36 ÷ 38	3,1 ÷ -2,0	18
	35	10,1 ÷ 7,7	47 ÷ 50	7,1 ÷ 3,2	18
	40	13,7 ÷ 10,2	61 ÷ 64	11,8 ÷ 7,2	19
91-105	25	-	-	-	-
	30	5,2 ÷ 3,8	39 ÷ 42	-1,8 ÷ -6,4	14
	35	7,4 ÷ 5,3	51 ÷ 53	3,3 ÷ -1,9	14
	40	10,0 ÷ 7,5	65 ÷ 67	7,1 ÷ 3,4	14
> 120	25	-	-	-	-
	30	< 3,8	> 42	< -6,4	10
	35	< 5,3	> 53	< -1,9	9
	40	< 7,5	> 67	< 3,4	10

SPI ва SPEI индекслари R-statistical дастурий таъминоти базасида мавжуд “spi 1.1” ва “SPEI” дастурлари, ТГК индекси эса муаллифлар томонидан ишлаб чиқилган алгоритм асосида Python дастурий таъминоти воситасида ҳисобланди.

Асосий натижалар ва уларнинг муҳокамаси. Бутун Ўзбекистон учун 1991-2020 йй. даврида метеорологик қурғоқчилик тақсимооти SPI ва SPEI индекслари асосида ҳисобланди ҳамда чўл, воҳа ва тоғли минтақаларда жойлашган 21 та метеорология станциялари худуди учун намланиш шароитларининг вақт давомидаги ўзгариш графиклари тузилди (2- ва 5-расмлар).



2-расм. Ўзбекистоннинг танланган станцияларида 1 ойлик SPI ва SPEI индексларининг вақт давомидаги ўзгариши (1991-2020 йй.)

Изоҳ: Станция ID рақамлари 1-жадвалдаги тартибга мос.

Рис. 2. Временное изменение месячных индексов SPI и SPEI на выбранных станциях Узбекистана (1991-2020 гг.)

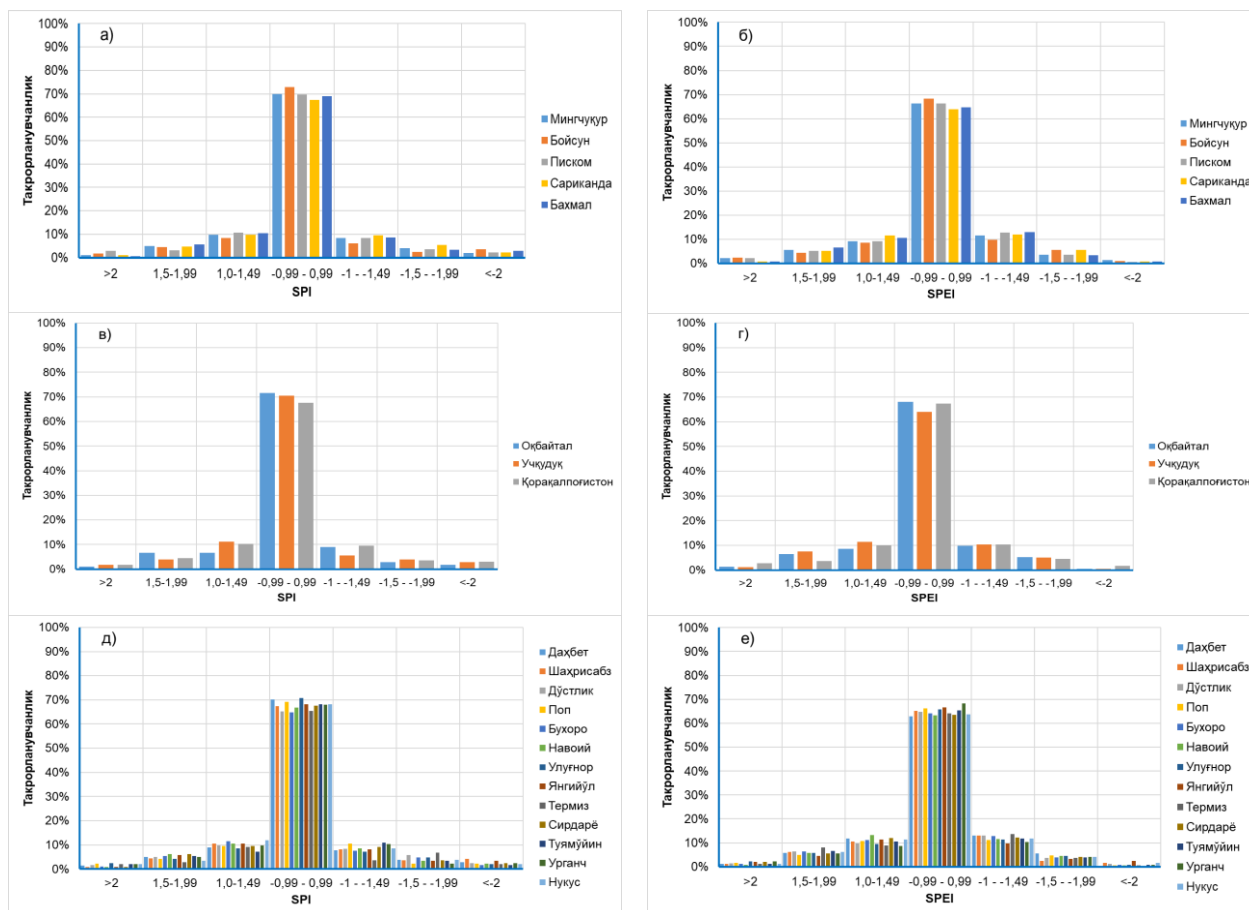
Примечание: ID номера станций соответствуют порядку, указанному в Таблице 1.

Fig. 2. Temporal change of monthly SPI and SPEI indices at selected stations of Uzbekistan (1991-2020)

Note: Station ID numbers correspond to the order given in Table 1.

2-расмда келтирилган маълумотлар асосида 1 ойлик SPI ва SPEI индекслари бўйича нам ва қуруқ келган йиллар ажратиб олинди. Ўзгариш графикларининг кўрсатишича, SPI индекси бўйича қайд этилган қурғоқчилик кузатилган даврлар тақсимооти SPEI индексидан ҳам сақланиб қолишига қарамай, SPEI индекси бўйича қурғоқчиликнинг экстремал даражаси ҳар доим ҳам кузатилмайди. Ўрганилган станцияларда 1 ойлик SPI ва SPEI

индекслари таққосланганда 70% га яқин ҳолларда меъёрга яқин намланиш даражаси қайд этилган. Ҳар икки индекслар бўйича экстремал намланиш ҳолатларининг такрорланувчанлиги 1,0-3,0% ни ташкил этган. 1 ойлик SPI индексида экстремал қурғоқчилик шароитлари ҳам 1,0-3,0% чегараларида қайд этилган бўлса, SPEI индексида бу кўрсаткич камроқ, яъни 0-1,0% ни ташкил этган (3-расм).



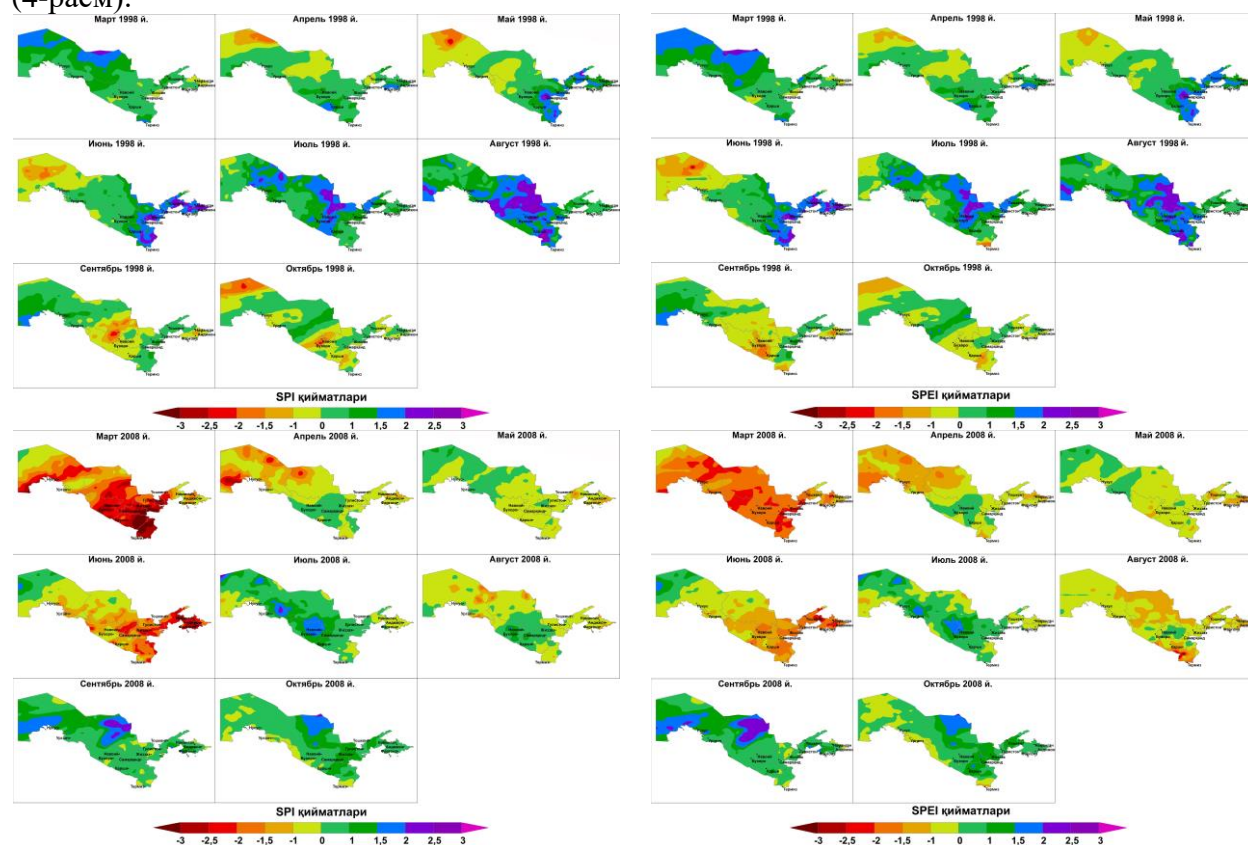
3-расм. Ўзбекистоннинг танланган станцияларида 1 ойлик SPI ва SPEI индекслари бўйича намланиш даражаларининг такрорланувчанлиги (1991-2020 йй.)

Рис. 3. Повторяемость степени увлажненности по месячным индексам SPI и SPEI на выбранных станциях Узбекистана (1991-2020 гг.)

Fig. 3. Frequency of humidity levels according to monthly SPI and SPEI indices at selected stations in Uzbekistan (1991-2020)

Ишда Ўзбекистон ҳудуди бўйича нам келган 1998 йил ва қурғоқчил йиллар каторидан 2008 йил учун 1 ойлик SPI ва SPEI индекслари тақсимот карталари тузилди (4-расм). Расмдан кўриниб турибдики, нам 1998 йилнинг баҳор-ёз мавсумларида шимолий ҳудудлардан ташқари барча ҳудудлар бўйлаб меърдан юқори намланиш қайд этилган бўлса, сентябрда Марказий Қизилқум ва Фарғона водийсининг марказий қисмида, октябрда эса республика шимоли, Марказий Қизилқум ва жанубий вилоятларда кучсиз ва мўтадил қурғоқчилик шароитлари шаклланган. Қурғоқчил 2008 йилнинг март-апрель (SPI ва SPEI) ва июнь (SPI) ойларида деярли бутун республика бўйлаб мўтадилдан экстремалгача жадалликдаги қурғоқчилик кузатилган. Мазкур йилнинг июль, сентябрь ва октябрь ойларида Жанубий Оролбўйи ва Шимолий Қизилқумда намланиш меърдан

юқори бўлган. Қолган ойларда эса меъёр атрофидаги намланиш шароитлари қайд этилган. Шундай қилиб, тадқиқотда қамраб олинган 30 йиллик даврда нам ёки қурғоқчил келган йилларда бутун Ўзбекистон бўйлаб намланиш даражаси бир хил тақсимотга эга эмас. Масалан, жанубда нам келган 1998 йилда апрель-июнь ва октябрь шимолда, сентябрь ва октябрда эса республикамизнинг марказий қисми – Қизилқумда қурғоқчил бўлган (4-расм).



4-расм. Ўзбекистон ҳудудида нам 1998 йил ва қурғоқчил 2008 йилда 1 ойлик SPI ва SPEI индексларининг тақсимоти

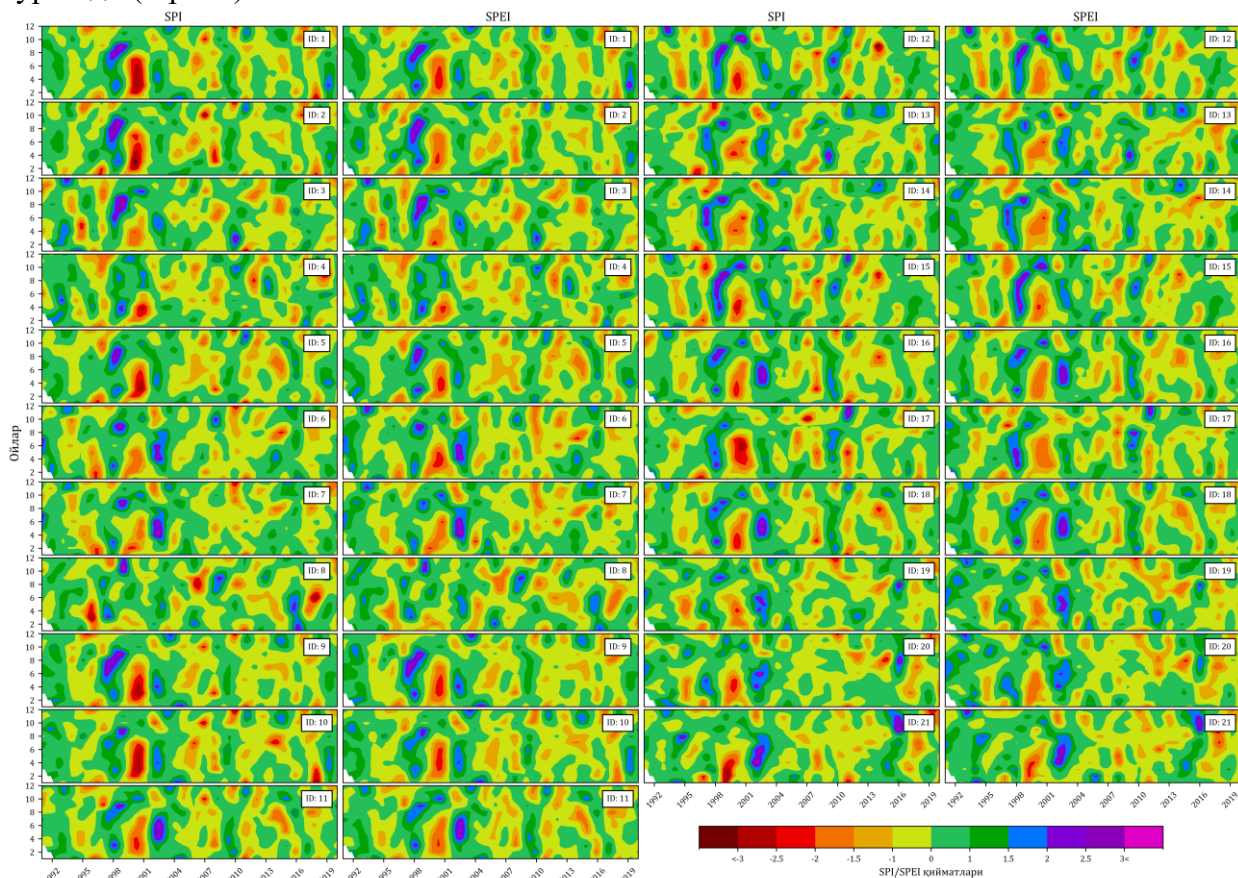
Рис. 4. Распределение месячных индексов SPI и SPEI на территории Узбекистана во влажном 1998 году и сухом 2008 году

Fig. 4. Distribution of monthly SPI and SPEI indices in Uzbekistan in wet 1998 and dry 2008

3 ойлик SPI ва SPEI индексларининг вақт давомидаги ўзгариши ўрганилганда, тақсимот майдонларининг 1 ойлик кўрсаткичларга нисбатан каттароқ мувофиқликка эга эканлиги яққол кўринади (5-расм). Табиийки, SPI ва SPEI индекслари 3 ойлик давр учун ёғин меъёрлари бўйича ҳисобланганда, ўртачалаштириш ҳисобига мувофиқликнинг ортиши кузатилади. Вақт давомида ўзгариш графикларининг кўрсатишича, 1 ойлик индексларда бўлгани каби, SPI индекси бўйича қайд этилган қурғоқчилик кузатилган даврлар тақсимоти SPEI индексида ҳам сақланиб қолади (5-расм). Бироқ SPEI индекси бўйича қурғоқчилик даражалари бироз кичикроқ қийматларни кўрсатди.

3 ойлик SPI ва SPEI индекслари бўйича ҳам мос равишда тоғ, чўл ва воҳа ҳудудларидан танлаб олинган Бахмал, Учқудуқ ва Навоий станцияларида 70% га яқин ҳолларда меъёрга яқин намланиш даражаси қайд этилган. Экстремал намланиш ҳолатларининг такрорланувчанлиги Бахмалда ёз ва куз ойларида, Учқудуқда баҳор ва куз

ойларида 2,0-3,0% ни ташкил этган. Таъкидлаш жоизки, Навоийда бу даражадаги намланиш шароитлари қайд этилмаган. Экстремал даражадаги қурғоқчилик шароитлари 3 ойлик SPI индекси бўйича Бахмалда қиш ва баҳор ойларида, Учқудукда куз ойларида 2,0-3,0% такрорланувчанликка эга. Навоийда қиш ва куз ойларида мос равишда 3,0-7,0% ҳолатларда экстремал даражада қурғоқчилик шароитлари қайд этилган. SPEI индекси тақсимооти экстремал даражадаги қурғоқчилик бу станцияларда кузатилмаганлигини кўрсатди (6-расм).



5-расм. Ўзбекистоннинг танланган станцияларида 3 ойлик SPI ва SPEI индексларининг вақт давомидаги ўзгариши (1991-2020 йй.)

Изоҳ: Станция ID рақамлари 1-жадвалдаги тартибга мос.

Рис. 5. Временное изменение 3-месячных индексов SPI и SPEI на выбранных станциях Узбекистана (1991-2020 гг.)

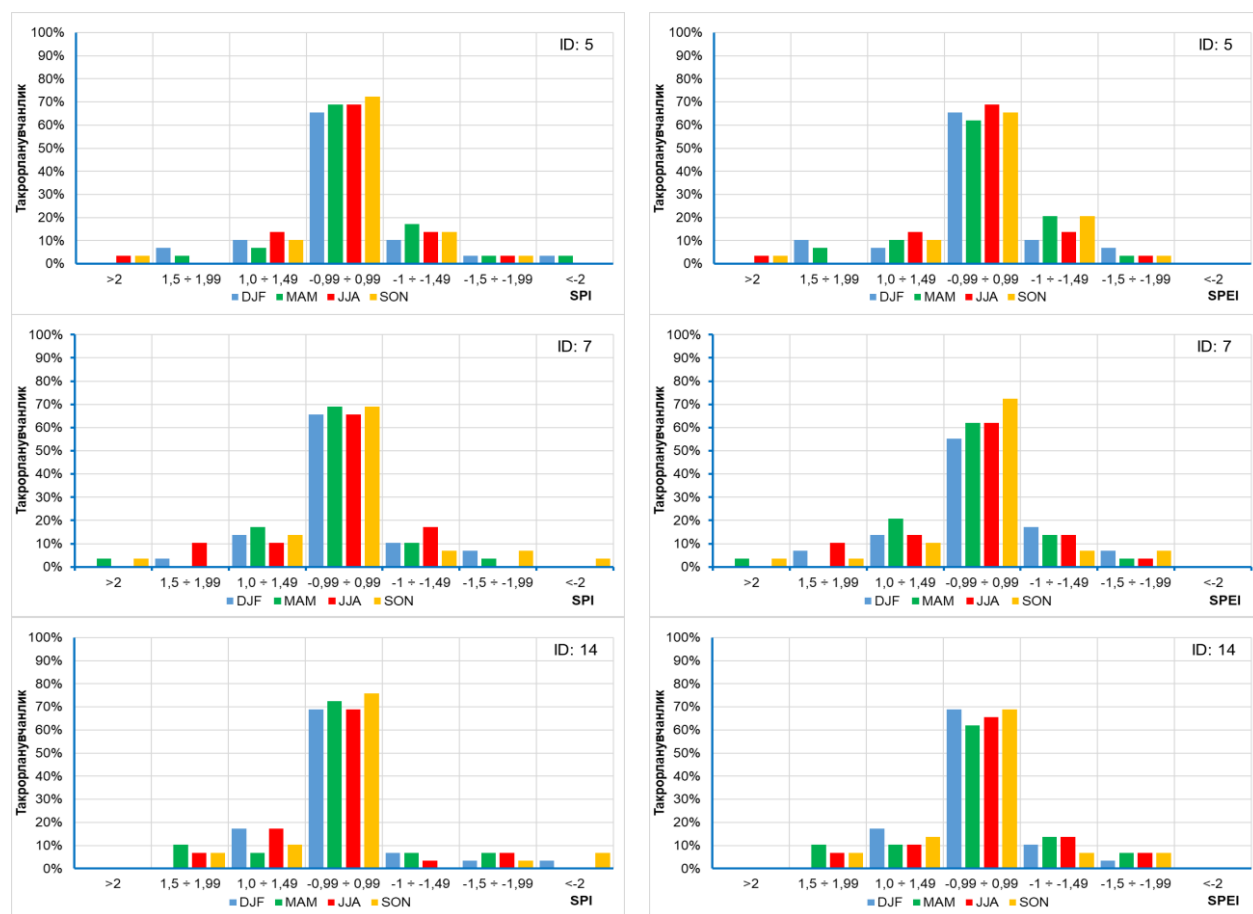
Примечание: ID номера станций соответствуют порядку, указанному в Таблице 1.

Fig. 5. Temporal change of 3-month SPI and SPEI indices at selected stations of Uzbekistan (1991-2020)

Note: Station ID numbers correspond to the order given in Table 1.

Ўзбекистон ҳудудида нам 1998 йил ва қурғоқчил 2008 йил учун тадқиқ этилаётган ҳудудда ERA5 маълумотлари асосида тузилган 3 ойлик SPI ва SPEI индексларининг тақсимоот карталари тузилди (7-расм). Нам йиллар қаторига кирувчи 1998 йилнинг қиш ва ёз мавсумларида Қорақалпоғистоннинг ғарбий ҳудудларидан ташқари Ўзбекистоннинг барча ҳудудларида меъёрдан юқори намланиш қайд этилган. Баҳорда мамлакатимизнинг тоғли ҳудудларида кучли, қолган ҳудудларда эса мўътадил ва кучсиз намланиш устуворлик

қилган. Куз мавсумида республикамизнинг катта қисмида кучсиз ва мўътадил қурғоқчилик, Қизилқум чўлининг жанубида экстремал қурғоқчилик, Фарғона водийси, Тошкент, Сирдарё ва Жиззах вилоятларининг муайян ҳудудларида эса мўътадил намланиш шароитлари кузатишган. 2008 йилнинг қиш ва баҳор мавсумларида мамлакат ҳудуди мўътадилдан экстремалгача бўлган қурғоқчилик шароитлари, ёз мавсуми кучсиз ва мўътадил қурғоқчилик, куз эса кучсиз намланиш билан тавсифланади. Нам бўлган йиллар қаторига кирувчи 1998 йилнинг қиш, баҳор ва ёз мавсумларида Ўзбекистон маркази ва жанубида, ёзда Фарғона водийсида меъёрдан юқори намланиш, куз мавсумида эса кучсиз ва мўътадил қурғоқчилик қайд этилган. 2008 йилнинг қиш ва куз мавсумлари бутун республика ҳудуди меъёрга яқин намланиш билан тавсифланган. SPEI индекси тақсимоти бўйича фақат қиш мавсумида Хоразм вилояти ва Қизилқум чўли ғарбида жуда нам шароитлар кузатишган. 3 ойлик SPI ва SPEI индекслари тақсимотида баҳор мавсумида аксарият ҳудудларда экстремал даражадаги қурғоқчилик шароитлари қайд этилган. Бу йилнинг ёз мавсумида Ўзбекистоннинг ғарбий текислик қисмида меъёрга яқин намланиш устуворлик қилса, Фарғона водийси ҳамда Сурхондарё ва Қашқадарё вилоятлари экстремал қурғоқчилик шароитлари билан тавсифланади (7-расм).

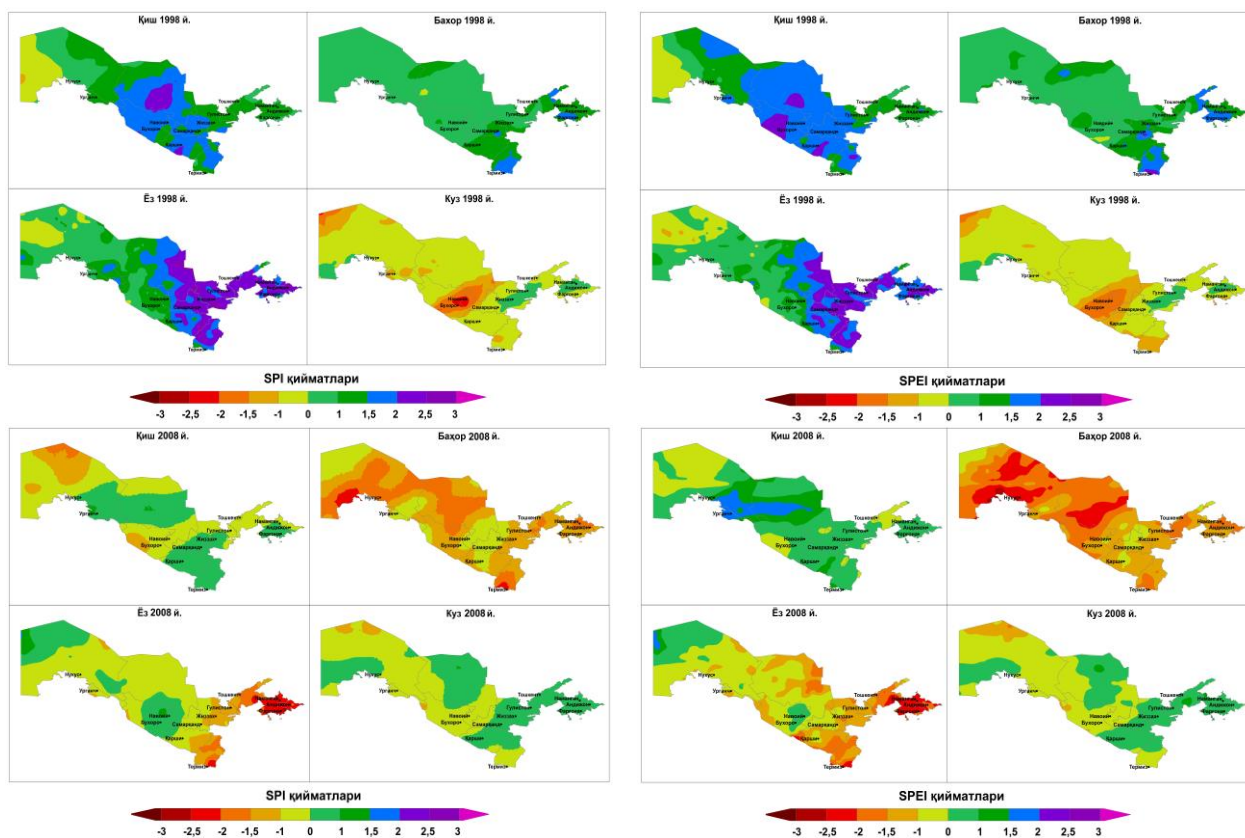


6-расм. Ўзбекистоннинг танланган станцияларида 3 ойлик SPI ва SPEI индекслари бўйича намланиш даражаларининг такрорланувчанлиги (1991-2020 йй.)

Рис. 6. Повторяемость степени увлажненности по 3-месячным индексам SPI и SPEI на избранных станциях Узбекистана (1991-2020 гг.)

Fig. 6. Frequency of humidity levels according to 3-month SPI and SPEI indices at selected stations in Uzbekistan (1991-2020)

Ўзбекистон худуди учун ТКК индекси асосида ҳисобланган АҚ тақрорланувчанлиги ва давомийлиги тақсимотлари мос равишда 8- ва 9-расмларда келтирилган. Барча даражадаги АҚ кўп йиллик ўртача ойлик тақрорланувчанлиги аксарият ҳолларда 2 та ҳолатдан ортмайди. Кучсиз АҚ нинг ойлик 3 тагача ҳолатда тақрорланувчанлиги апрель-октябрь оралиғида қайд этилади. Ёз мавсумида Қорақалпоғистон Республикасининг жануби, Хоразм вилояти, Қизилқумнинг жануби-шарқий қисми, Мирзачўл ва Тошкент текислигида кучсиз АҚ нинг тақрорланувчанлиги 4 та ҳолатгача ортади, Қашқадарё вилоятида эса 5 тагача ҳолатлар қайд этилган (8-расм).



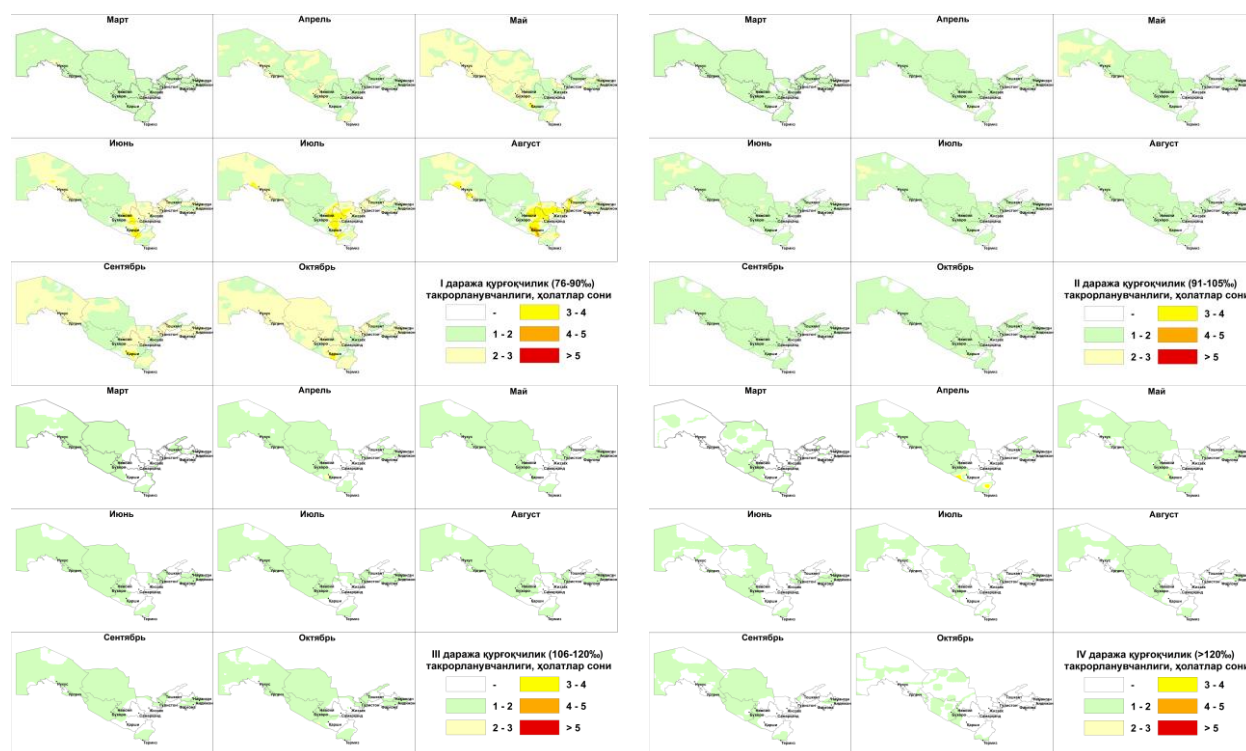
7-расм. Ўзбекистон худудида нам 1998 йил ва қурғоқчил 2008 йилда 3 ойлик SPI ва SPEI индексларининг тақсимоти

Рис. 7. Распределение 3-месячных индексов SPI и SPEI на территории Узбекистана во влажном 1998 году и сухом 2008 году

Fig. 7. Distribution of 3-month SPI and SPEI indices in Uzbekistan in wet 1998 and dry 2008

Вегетация даврида кучсиз АҚ нинг кўп йиллик ўртача ойлик давомийлиги республиканинг аксарият худудларида 5 кундан ортмайди (9-расм). Бироқ ёз ойларида Оролбўйи худудлари, Хоразм вилояти, Қизилқумнинг жануби-шарқий қисмлари, Сурхондарё, Мирзачўл, Тошкент текислиги ва Фарғона водийсида унинг давомийлиги 15 кунгача ортса, Қашқадарё вилоятининг айрим худудларида 20 кунгача давомийликка эга. Мўътадил АҚ нинг кўп йиллик ўртача ойлик давомийлиги март ва апрелда республика бўйлаб 5 кундан ортмайди. Майда бутун Қизилқум, Оролбўйи ва Сурхондарёнинг жанубий худудларида мўътадил АҚ нинг давомийлиги 10 кунгача ортади, қолган худудларда 5 кунгача бўлган давомийлик сақланиб қолади. Ёз мавсумида

АҚ бу даражасининг давомийлиги ортиб, Оролбўйи худудининг катта қисми, Хоразм вилояти, Қизилқум чўли, Сурхондарё вилояти ва Фарғона водийсида унинг давомийлиги 15 кунгача этади. Июнь ва июлда Қашқадарё вилоятининг айрим қисмларида мўътадил АҚ 20 кунгача давом этади. Куз ойларига келиб давомийлик кўрсаткичлари камаю бошлайди ва республиканинг аксарият худудларида 5-10 кундан ортмайди. Бироқ, сентябрда Қашқадарё вилоятининг айрим чўл худудларида 15 кунгача давомийлик сақланиб қолади. Ўзбекистон худудида кучли АҚ нинг кўп йиллик ўртача ойлик давомийлиги тақсимооти март-апрель ойларида АҚ бу даражасининг давомийлиги бутун Ўзбекистон бўйлаб 5 кундан ортмаслигини кўрсатди. Май-сентябрь оралиғида Устюрт, Марказий Қизилқум ва Сурхондарё вилоятининг жанубида кучли АҚ нинг давомийлиги 10 кунгача ортса, ёз ойларида Бухоро, Қашқадарё ва Сурхондарё вилоятларининг айрим худудларида 15 кунгача давом этади. Сентябрга келиб давомийлик кўрсаткичлари камаю бошлайди, у фақатгина Марказий ва Жануби-шарқий Қизилқум ва Сурхондарё вилоятининг жанубида 10 кунгача, қолган худудларда 5 кунгача камаюди. Октябрга келиб кучли АҚ нинг давомийлиги Ўзбекистон бўйлаб 5 кунни ташкил этади.



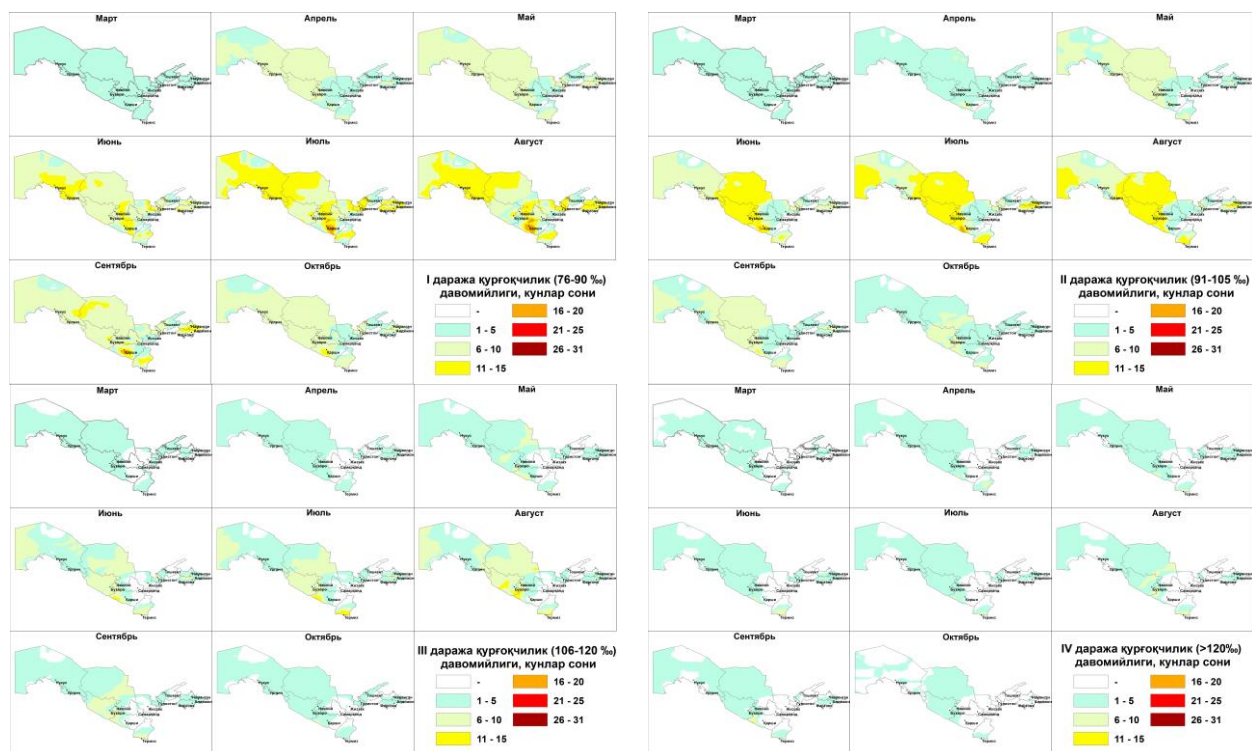
8-расм. Ўзбекистон ҳудудида ТГК индекси бўйича атмосфера қурғоқчилиги даражаларининг такрорланувчанлиги (1991-2020 йй.)

Рис. 8. Повторяемость степеней атмосферной засухи по индексу ТГК на территории Узбекистана (1991-2020 гг.)

Fig. 8. Frequency of atmospheric drought levels according to the THC index in the territory of Uzbekistan (1991-2020)

Экстремал АҚ нинг кўп йиллик ўртача ойлик тақсимооти йил давомида унинг давомийлиги бутун Ўзбекистон бўйлаб 5 кундан ортмаслигини кўрсатди. Апрельдан сентябргача бўлган даврда экстремал АҚ фақат Навоий, Бухоро, Қашқадарё ва

Сурхондарё вилоятларининг айрим ҳудудларида қайд этилган. Таъкидлаш жоизки, суғорма деҳқончилик олиб бориладиган воҳа ҳудудларида кучли ва экстремал АҚ кузатилмаган (9-расм).



9-расм. Ўзбекистон ҳудудида ТГК индекси бўйича атмосфера қурғоқчилиги даражаларининг давомийлиги (1991-2020 йй.)

Рис. 9. Продолжительность степеней атмосферной засухи по индексу ТГК на территории Узбекистана (1991-2020 гг.)

Fig. 9. Duration of atmospheric drought levels according to the THC index in the territory of Uzbekistan (1991-2020)

Хулоса. Бажарилган тадқиқот натижаларига асосланиб қуйидаги хулоса ва тавсияларни бериш мумкин.

1. Тадқиқотда қамраб олинган 30 йиллик даврда нам ёки қурғоқчил келган йилларда бутун Ўзбекистон бўйлаб намланиш даражаси бир хил тақсимотга эга эмас. SPI ва SPEI индексларининг 1 ва 3 ойлик қийматлари бўйича қурғоқчилик кузатилган даврлар тақсимоти ўзаро яқин эканлигига қарамай, SPEI индекси бўйича қурғоқчиликнинг экстремал даражаси ҳар доим ҳам кузатилмайди. Ҳар икки индекс бўйича қиёслаш бажарилган станцияларда 70% га яқин ҳолларда меъёрга яқин намланиш даражаси қайд этилган. Экстремал намланиш ҳолатларининг такрорланувчанлиги 1,0-3,0% ни ташкил этади. 1 ойлик SPI индексидан экстремал қурғоқчилик шароитлари 1,0-3,0% чегараларида қайд этилса, SPEI индексидан бу кўрсаткич камроқ, 0-1,0% ни ташкил этган. 3 ойлик SPI ва SPEI индекслари бўйича ҳам 70% га яқин ҳолларда меъёрга яқин намланиш даражаси қайд этилган. Экстремал намланиш ҳолатларининг такрорланувчанлиги 2,0-3,0% ни ташкил этган. Навоийда бу даражадаги намланиш шароитлари қайд этилмаган. Экстремал даражадаги қурғоқчилик 3 ойлик SPI индекси бўйича Бахмалда киш ва баҳор ойларида,

Учкудукда куз ойларида 2,0-3,0% такрорланувчанликка эга. Навоийда қиш ва куз ойларида мос равишда 3,0-7,0% атрофида экстремал даражада курғоқчилик шароитлари қайд этилган. SPEI индекси тақсимоти экстремал даражадаги курғоқчилик бу станцияларда кузатилмаганлигини кўрсатди.

2. Вегетация даврида кучсиз АҚ нинг кўп йиллик ўртача ойлик давомийлиги республиканинг аксарият ҳудудларида 5 кундан ортмайди. Ёз ойларида кучсиз АҚ республиканинг бир қатор ҳудудларида 15-20 кунгача давомийликка эга. Мўътадил АҚ нинг кўп йиллик ўртача ойлик давомийлиги баҳор ва куз ойларида республика бўйлаб 5-10 кундан ортмайди, ёзда эса 15-20 кунни ташкил этади. Кучли АҚ март-апрель ойларида Ўзбекистон бўйлаб 5 кун, май-сентябрь оралиғида Устюрт, Марказий Қизилқум ва Сурхондарё вилоятининг жанубида 10 кунгача, ёз ойларида Бухоро, Қашқадарё ва Сурхондарё вилоятларининг айрим ҳудудларда 15 кунгача давом этади. Октябрга келиб АҚ бу даражасининг давомийлиги Ўзбекистон бўйлаб 5 кунни ташкил этади. Экстремал АҚ нинг давомийлиги бутун Ўзбекистон бўйлаб 5 кундан ортмайди. Апрельдан сентябргача бўлган даврда экстремал АҚ фақат Навоий, Бухоро, Қашқадарё ва Сурхондарё вилоятларининг айрим ҳудудларида қайд этилади. Суғорма деҳқончилик олиб бориладиган воҳа ҳудудларида кучли ва экстремал АҚ кузатилмайди. Бу ҳолат, катта эҳтимоллик билан, суғориш ишларининг сиртдан буғланиш ва ҳаво намлигига ижобий таъсири билан изоҳланади. Бу таъсирни миқдорий баҳолаш навбатдаги тадқиқотларда амалга оширилади.

3. Ёғинлар миқдори кам бўлган суғорма деҳқончилик юритиладиган минтақаларда SPI ва SPEI индексларидан фойдаланишнинг содда ва қулайлиги курғоқчиликни баҳолашда уларнинг оптимал эканлигини аниқламайди. Бу индекслар энг кам 1 ойлик вақт масштаби учун ҳисобланиб, ёғинлар миқдорининг ҳисоб даври ичидаги тақсимотини инобатга олмайди. Шу сабабли, ҳарорат ва намлик режимининг қисқа вақт оралиқларида қишлоқ хўжалиги экинларининг физиологик ҳолатига таъсирини эътиборга олувчи ТГК индексидан ҳам фойдаланиш тавсия этилади.

Миннатдорлик. Тадқиқот Инновацион ривожланиш агентлигининг молиявий кўмагида бажарилаётган АЛ-5721122072 «Қишлоқ хўжалиги, сув ва энергия ресурсларини барқарор ривожлантириш учун ер усти кузатувлари ва геостационар метеорологик сунъий йўлдошлардан олинган куёш радиацияси маълумотларидан комплекс фойдаланиш» лойиҳаси доирасида амалга оширилди.

Муаллифлар ҳиссаси. **Б.М. Холматжанов:** мақола ғояси, раҳбарлик, натижалар таҳлили. **И.М. Махмудов, Ф.Б. Сафаров, С.У. Бегматов:** маълумотлар базасини шакллантириш, натижалар таҳлили, мақола матнини ёзиш, мақолани расмийлаштириш. **Д.Ў. Ярашев:** SPI ва SPEI индексларини ҳисоблаш, натижалар таҳлили, карталаштириш. **Э.Ю. Рахимов:** SPI ва SPEI индексларининг вақт давомидаги ўзгариш графикларини тузиш, натижалар таҳлили. **Д.Б. Истамов:** SPI, SPEI ва ТГК индексларини ҳисоблаш дастурини ёзиш, ТГК индексини ҳисоблаш. Барча муаллифлар қўлёзманинг нашрга тавсия этилган шаклини ўқиб чиқдилар ва ўз розилигини билдирдилар.

АДАБИЁТЛАР

Бабушкин Л.Н., Когай Н.А. Физико-географическое районирование Узбекской ССР // Научные труды ТашГУ, вып. 231, 1964. – 245 с.

Уткузова Д.Н., Хан В.М., Вильфанд Р.М. Статистический анализ эпизодов экстремальной засушливости и увлажненности на территории РФ // Оптика атмосферы и океана, 28, № 1, 2015. – С. 66-79.

Петров Ю.В., Холматжанов Б.М., Эгамбердиев Х.Т., Ишниязова Ф.А., Буков В.А., Хайдаров М.Б. Новый подход к классификации атмосферной засухи // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды. №1, 2021. - С. 20-36.

Ault T.R. On the essentials of drought in a changing climate // Science, 2020. 368(6488). – P. 256-260. doi:10.1126/science.aaz5492.

Baudoin M-A., Vogel C., Nortje K., Naik M. Living with drought in South Africa: lessons learnt from the recent El Niño drought period // International Journal of Disaster Risk Reduction, 2017. 23: 128–137.

Brunner M.I., Tallaksen L.M. Proneness of European catchments to multiyear streamflow droughts // Water Resources Research, 2019. 55(11), 8881–8894, doi:10.1029/2019wr025903.

Cavus Y., Stahl K., Aksoy H. Drought intensity–duration–frequency curves based on deficit in precipitation and streamflow for water resources management // Hydrology and Earth System Sciences, 2023. 27: 3427–3445. <https://doi.org/10.5194/hess-27-3427-2023>, 2023.

Danandeh Mehr A., Vaheddoost B. Identification of the trends associated with the SPI and SPEI indices across Ankara, Turkey // Theoretical and Applied Climatology, 2020. 139: 1531–1542. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03071-9>

Debele S.E., Kumar P., Sahani J. et al. Nature-based solutions for hydro-meteorological hazards: Revised concepts, classification schemes and databases // Environmental Research, 2019. 179, B, 108799. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108799>

Faye Ch. Comparative analysis of meteorological drought based on the SPI and SPEI indices // HighTech and Innovation Journal, 2022. 3: 15–27. <http://dx.doi.org/10.28991/HIJ-SP2022-03-02>

García-Herrera R., Díaz J., Trigo R.M., et al. A review of the European summer heat wave of 2003 // Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2010. 40: 267–306.

Garreaud R.D., Boisier J.P., Rondanelli R. et al. The central Chile mega drought (2010–2018): A climate dynamics perspective // International Journal of Climatology, 2020. 40(1): 421–439.

Hasan N.A., Dongkai Y., Al-Shibli F. SPI and SPEI drought assessment and prediction using TBATS and ARIMA Models, Jordan // Water, 2023.15: 3598. <https://doi.org/10.3390/w15203598>

Hobbins M., Wood A., Streubel D., Werner K. What drives the variability of evaporative demand across the conterminous United States? // J. Hydrometeorol, 2012. 13: 1195–1214. doi:10.1175/JHM-D-11-0101.1.

Hulme M. Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973–1998 // Global Environmental Change, 2001.11(1): 19–29.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 p. doi:10.1017/9781009157896.

Kholmatjanov B.M., Abdulakhatov E.I., Begmatov S.U. et al. Bioclimatic conditions of the classic tourist route Tashkent-Samarkand-Bukhara-Khiva in Uzbekistan // WSEAS Transactions on environment and development, 2023.19: 1255–1275. DOI: 10.37394/232015.2023.19.114

Kimaiyo J.J., Mati B.M., Sang J.K., et al. Assessment of drought trends in the Upper Ewaso Ng'iro River Basin using the SPI and SPEI // Water Practice & Technology, 2023. 18(8): 1863-1879. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.122>

Liang E., Liu X., Yuan Y. et al. The 1920s drought recorded by tree rings and historical documents in the semi-arid and arid areas of northern China // Climatic Change, 2006. 79(3): 403–432.

Lloyd-Hughes B. The impracticality of a universal drought definition // Theoretical and Applied Climatology, 2014. 117(3–4), 607–611, doi:10.1007/s00704-013-1025-7.

Masante D., McCormick N., Vogt J.V. et al. 2018 – Drought and Water Crisis in South Africa. Joint Research Centre Technical Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. 31. <https://www.preventionweb.net/publications/view/58327>.

- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J.* The Relationship of drought frequency and duration to time scales / Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.
- McVicar T.R., Roderick M.L., Donohue R.J., Li L.T., Van Niel T.G., Thomas A. et al.* Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation. // *J. Hydrol.* 2012. 416–417, 182–205. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.10.024.
- Muller M.* Cape Town's drought: don't blame climate change // *Nature*, 2018. 559: 174–176. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-05649-1>
- Nguyen H., Wheeler M.C., Otkin J.A. et al.* Using the evaporative stress index to monitor flash drought in Australia // *Environmental Research Letters*, 2019. 14(6): 064016.
- Nicholson S.E.* A detailed look at the recent drought situation in the Greater Horn of Africa // *Journal of Arid Environments*, 2014. 103: 71–79.
- Ojha Sh.Sh., Singh V., Roshni T.* Comparison of meteorological drought using SPI and SPEI // *Civil Engineering Journal*, 2021. 7(12): 2130–2149. <http://dx.doi.org/10.28991/cej-2021-03091783>
- Oney M., Anli A.* Regional drought analysis with Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI): Gediz Basin, Turkey // *Journal of Agricultural Sciences*, 2023. 29(4): 1032-1049. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.1030782>
- Pei Z., Fang S., Wang L., Yang W.* Comparative analysis of drought indicated by the SPI and SPEI at various timescales in Inner Mongolia, China // *Water*, 2020. 12(7):1925. <https://doi.org/10.3390/w12071925>
- Peng J., Muller J.-P., Blessing S. et al.* Can we use satellite-based FAPAR to detect drought? // *Sensors*, 2019. 19: 3662. <https://doi.org/10.3390/s19173662>, 2019.
- Peng Y., Peng T., Li Y.* Spatiotemporal characteristics of drought in northwest China based on SPEI analysis // *Atmosphere*, 2023. 14: 1188. <https://doi.org/10.3390/atmos14071188>
- Petrov Yu.V., Abdullaev A.K.* On the problem of air dryness estimation // *Russian Meteorology and Hydrology*, 2010. 35: 715–719. <https://doi.org/10.3103/S1068373910100109>
- Pyarali K., Peng J., Disse M. et al.* Development and application of high resolution SPEI drought dataset for Central Asia // *Scientific Data*, 2022. 9: 172. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01279-5>
- Schubert S.D., Suarez M.J., Region P.J., Koster R.D., Bacmeister J.T.* Causes of long-term drought in the United States Great Plains // *Journal of Climate*, 2004. 17: 485-503.
- Seager R., Hoerling M., Schubert S. et al.* Causes of the 2011–14 California drought // *Journal of Climate*, 2015. 28(18): 6997–7024.
- Sheffield J., Wood E.F., Roderick M.L.* Little change in global drought over the past 60 years // *Nature*, 2012. 491, 435–438. doi:10.1038/nature11575.
- Spinoni J., Naumann G., Vogt J.V., Barbosa P.* The biggest drought events in Europe from 1950 to 2012 // *Journal of Hydrology*, 2015. 3: 509–524.
- Swain D.L., Tsiang M., Haugen M. et al.* The extraordinary California drought of 2013/2014: Character, context, and the role of climate change // *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2014. 95: S3–S7.
- Tomas-Burguera M. et al.* Global characterization of the varying responses of the Standardized Evapotranspiration Index (SPEI) to atmospheric evaporative demand (AED) // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2020. 125: e2020JD0330178. doi:10.1029/2020jd033017
- van Dijk A.I., Beck H.E., Crosbie R.S. et al.* The Millennium Drought in southeast Australia (2001–2009): Natural and human causes and implications for water resources, ecosystems, economy, and society // *Water Resources Research*, 2023. 49: 1040–1057.
- Van Loon A.F.* Hydrological drought explained // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2015. 2: 359–392.
- Vicente-Serrano S.M.* Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, semi-arid region // *Natural Hazards*, 2007. 40: 173–208.
- Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I.* A Multiscalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index // *Journal of Climate*, 2010. 23, 1696–1718.

Wang H., He S. The North China/Northeastern Asia severe summer drought in 2014 // Journal of Climate, 2015. 28: 6667–6681.

Wilhite D., Pulwarty R. Drought as hazard: understanding the natural and social context / In: Drought and Water Crises: Integrating Science, Management, and Policy, CRC Press, 2017. 3–20.

WMO (World Meteorological Organization) and GWP (Global Water Partnership). Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva. 2016.

Zhang X., Duan Y., Duan J. et al. A daily drought index based on evapotranspiration and its application in regional drought analyses // Science China Earth Sciences, 2022. 65(2): 317–336. <https://doi.org/10.1007/s11430-021-9822-y>

Ziari A., Medjerab A. Impact of drought in Northeastern Algeria: comparative study of the SPI and SPEI indices // Revista De Gestão Social E Ambiental, 2024. 18(9): e06591. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n9-078>

ОЦЕНКА ЗАСУХИ В УЗБЕКИСТАНЕ НА ОСНОВЕ ИНДЕКСОВ SPI, SPEI И ТЕРМОГИГРОМЕТРИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА СУХОСТИ ВОЗДУХА (ТГК)

Б.М. ХОЛМАТЖАНОВ^{1,2}, С.У. БЕГМАТОВ¹, Д.У. ЯРАШЕВ¹, И.М. МАХМУДОВ¹,
Б.Х. АХМУРАТОВА², Ф.Б. САФАРОВ³, Э.Ю. РАХИМОВ⁴, Д.Б. ИСТАМОВ⁵

¹ Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, sardor0752@gmail.com

² Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, b.holmatjanov@nuu.uz

³ Агентство гидрометеорологической службы, sfazizbek@gmail.com

⁴ Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан, ejurakhimov@gmail.com

⁵ Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистан, istamov@uzsci.net

Аннотация. В исследовании использовались данные об атмосферных осадках, температуре воздуха и температуре точки росы базы данных реанализа ERA5 Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды. Количественно оценено распределение 1- и 3-месячной метеорологической засухи на территории Узбекистана в 1991-2020 гг. на основе широко используемых в мире индексов SPI и SPEI. Полученные результаты показали, что на территории республики с различными (пустыня, оазис и горы) природно-географическими условиями степень увлажненности около нормы по этим индексам, фиксируется в случаях около 70%. Повторяемость экстремальной засухи не превышает 3,0% по 1-месячным индексам и 7,0% по 3-месячным. По индексу ТГК определено, что на территории республики преобладает преимущественно слабая и умеренная атмосферная засуха (АЗ). В период с апреля по сентябрь экстремальная АЗ фиксируется лишь в некоторых районах Навоийской, Бухарской, Кашкадарьинской и Сурхандарьинской областей. В оазисах, где ведется орошаемое земледелие, сильная и экстремальная АЗ не наблюдается.

Индексы SPI и SPEI рассчитываются для временного масштаба не менее 1 месяца и не учитывают распределение осадков в пределах расчетного периода. Поэтому в коротких временных интервалах рекомендуется использовать индекс ТГК для учета влияния температурно-влажностного режима на физиологическое состояние сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: засуха, количество осадков, температура воздуха, температура точки росы, ERA5, SPI, SPEI, ТГК, Узбекистан.

ASSESSMENT OF DROUGHT IN UZBEKISTAN BASED ON SPI, SPEI INDICES AND THERMOHYGROMETRIC COEFFICIENT OF AIR DRYNESS (THC)

**B.M. KHOLMATJANOV^{1,2}, S.U. BEGMATOV¹, D.U. YARASHEV¹,
I.M. MAKHMUDOV¹, B.KH. AKHMURATOVA², F.B. SAFAROV³,
E.YU. RAKHIMOV⁴, D.B. ISTAMOV⁵**

¹ Hydrometeorological Research Institute, sardor0752@gmail.com

² National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, b.xolmatjanov@nuu.uz

³ Agency of Hydrometeorological Service, sfazizbek@gmail.com

⁴ National Research Institute of Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan, eyurakhimov@gmail.com

⁵ Institute of Physics and Technics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, istamov@uzsci.net

Abstract. *The study used data on atmospheric precipitation, air temperature and dew point temperature from the ERA5 reanalysis database of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. The distribution of 1 and 3-month meteorological drought in Uzbekistan in 1991-2020 was quantitatively estimated based on the SPI and SPEI indices, which widely used in the world. The results showed that in the territory of the republic with different (desert, oasis and mountains) natural and geographical conditions, the moisturizing level near the norm according to these indices is recorded in cases of about 70%. The repeatability of extreme drought does not exceed 3.0% for 1-month indices and 7.0% for 3-month indices. According to the THC index, it was determined that weak and moderate atmospheric drought (AD) prevails in the territory of the republic. In the period from April to September, extreme AD is recorded only in some areas of the Navoi, Bukhara, Kashkadarya and Surkhandarya regions. In oases where irrigated agriculture is carried out, severe and extreme AD is not observed.*

The SPI and SPEI indices are calculated for a time scale of at least 1 month and do not take into account the distribution of precipitation within the calculation period. Therefore, in short time intervals, it is recommended to use the THC index to take into account the effect of temperature and humidity conditions on the physiological state of agricultural plants.

Keywords: *drought, precipitation, air temperature, dew point temperature, ERA5, SPI, SPEI, THC, Uzbekistan.*

REFERENCES

Babushkin L.N., Kogay N.A. Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye Uzbekskoy SSR [Physical geographical zoning of the Uzbek SSR] // Nauchniye trudi TashGU, vip. 231, 1964. – 245 s. (in Russian)

Utkuzova D.N., Han V.M., Vilfand R.M. Statisticheskiy analiz epizodov ekstremalnoy zasushlivosti i uvlajnenosti na territorii RF [Statistical analysis of extreme drought and wet conditions in Russia] // Optika atmosfery i okeana, 28, № 1, 2015. – S. 66-79. (in Russian)

Petrov Yu.V., Kholmatjanov B.M., Egamberdiev Kh.T, Ishniyazova F.A., Bukov V.A., Khaydarov M.B. Noviy podhod k klassifikatsii atmosferynoy zasuhi [A new approach to the atmospheric drought classification] // Gidrometeorologiya i monitoring okruzhayushchey sredy. №1, 2021. – S. 20-36. (in Russian)