

КӨПЖЫЛДЫҚ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ МӘЛІМЕТТЕРІ НЕГІЗІНДЕ ЖАЙЫҚ-КАСПИЙ СУШАРУАШЫЛЫҚ АЛАБЫНДАҒЫ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРҒАҚШЫЛЫҚТЫ БАҒАЛАУ

С.К. Алимкулов¹ *д.э.к.*, Л.К. Махмудова¹ *д.э.к.*, А.А. Турсунова¹ *д.э.к.*, Э.К. Талипова¹ *PhD*,
Л.М. Биримбаева^{1,2,*}

¹«География және су қауіпсіздігі» Акционерлік қоғамы, Алматы, Қазақстан

²әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: birimbayeva_l@mail.ru

Мақалада Жайық-Каспий сушаруашылық алабы аумағындағы гидрологиялық құрғақшылықтың басталуы мен аяқталуын анықтау мәселесі қарастырылады. Құрғақшылық көрсеткіші ретінде Дүниежүзілік метеорологиялық ұйым ұсынған жауын-шашынның стандартталған индексі (SPI) таңдалды. SPI Generator бағдарламасын қолдану негізінде аспаптық бақылаулар басталғаннан бастап 2020 жылға дейін, өте қатты және экстремалды құрғақшылықтың сипаттамалары анықталды. Зерттеу нәтижесі бойынша қарастырылып отырған аумақта құрғақшылық кезеңдерін бағалауда SPI индексі қолдану тиімді екені анықталды, және гидрологиялық құрғақшылықтың түрлерін ажыратуға және олардың басталу, аяқталу уақыттарын анықтауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері су ресурстарына тәуелді ауыл шаруашылығы мен басқа салалар үшін практикалық маңыздылыққа ие, құрғақшылықтың түрлері мен мерзімдері туралы ақпаратты қарастырылып отырған аймақтың су ресурстарын басқарудың тиімді стратегияларын әзірлеу және гидрологиялық құрғақшылықтың жағымсыз әсерін азайту мақсатында пайдалануға болады.

Түйін сөздер: метеорологиялық, ауылшаруашылық және гидрологиялық құрғақшылықтар, жауын-шашын тапшылығы, сушаруашылық алап, стандартталған жауын-шашын индексі

Қабылданды: 18.01.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-112-1-26-38

КІРІСПЕ

Гидрологиялық құрғақшылық әртүрлі гидрометеорологиялық үдерістерден (жауын-шашынның болмауы, қар жамылғысының азаюы, буланудың жоғары болуы) туындайды, бұл факторлардың маңыздылығы гидроклимат пен құрғақшылық категориясына байланысты өзгереді. Құрғақшылыққа әкелетін түрлі процестердің салыстырмалы ылғалдылығы уақыт өте келе және климаттың өзгеруіне байланысты өзгереді деген пікір қалыптасқан. Бұл өзгерістер құрғақшылықтың қарқындылығына, ұзақтығына және тапшылығына әсер етуі мүмкін, себебі құрғақшылықтың түрлі процестері әртүрлі аспектілермен байланысты. Мысалы, жауын-шашын тапшылығынан туындаған және құрғақ маусым бойы созылатын құрғақшылық тек жауын-шашын тапшылығынан туындаған

құрғақшылықтан айырмашылығы – ол ұзақ құрғақшылық кезеңімен ерекшеленеді. Бұл тұжырым климаттың жылынуына байланысты құрғақ жағдайларға көшу құрғақшылықты күшейтуі мүмкін деген маңызды мәселені көтереді. Демек, гидрологиялық құрғақшылықтың қалыптасуы барысындағы өзгерістерді түсіну олардың болашақта болуы мүмкін өзгерістерін болжаудың кілті болып табылады (Brunner және т.б., 2022). Түрлі ғылыми зерттеулерде метеорологиялық, ауылшаруашылық және гидрологиялық құрғақшылықтардың жиілігі мен ұзақтығының өткен және келешек өзгерістері қарастырылған (Markonis және т.б., 2021; Stahl және т.б., 2010). Гидрологиялық құрғақшылықтардың пайда болу жағдайы туралы әртүрлі көзқарас қалыптасқан.

Мысалы, (Van Lanen, 2013; Van Loon A.F. and Laaha G., 2015) зерттеушілері гидрологиялық құрғақшылықтың пайда болу процестеріне негізделген сапалы классификациясын ұсынған. Жіктеу әрқайсысы белгілі бір процесспен немесе процестердің үйлесімімен сипатталатын құрғақшылықтың сегіз түрін қамтиды:

- жауын-шашын тапшылығының құрғақшылығы (ұзақ уақыт жауын-шашынның болмауынан пайда болады);
- жаз-күз кезеңінде жауын-шашынның жетіспеушілігінен туындап, қардың жиналу кезеңіне дейін созылатын құрғақшылық;
- көктем маусымында жауын-шашын тапшылығынан пайда болып, құрғақ маусымға дейін жалғасатын құрғақшылық;
- қарлы маусымда (қараша-наурыз) әдеттегіден төмен температурадан туындайтын суық-қарлы құрғақшылық, яғни бұл кезде жиналған қар ағынды суларына үлесін қоспайды;
- қарлы маусымда әдеттегіден жоғары температурадан туындайтын жылы қар маусымының құрғақшылығы;
- негізгі қорек көзі қар жамылғысы болып табылатын өзен алаптарындағы еріген қар суының жетіспеушілігінен туындайтын құрғақшылық;
- өзен алабында мұздықтардың жетіспеушілігінен немесе мүлдем болмауынан туындайтын құрғақшылық;
- құрғақшылыққа әкелетін кешенді процестерден туындайтын аралас құрғақшылық.

Өз кезегінде, (Brunner және т.б., 2022; Faquseh H. and Grossi G., 2024; Giroto және т.б., 2024) зерттеушілер жауын-шашын тапшылығы, температура және қар суының эквиваленттік ауытқулары (SWE) туралы ақпаратты пайдалана отырып, стандартталған құрғақшылықты жіктеу схемасын енгізді. Стандартталған жіктеу схемасы берілген құрғақшылық құбылысын сегіз түрдің біріне жіктейтін нақты ережелер жиынтығын анықтайды.

Гидрологиялық құрғақшылықтың жауын-шашын тапшылығымен байланысын анықтау, көбінесе алаптың гидрологиялық сипаттамаларына жерді пайдалану, жердің деградациясы және басқа да сипаттағы

факторларының бір мезгілде әсер етуіне байланысты қиындай түседі. Өзеннің жоғарғы ағысындағы жерді пайдалану барысындағы инфильтрация жылдамдығы және жер үсті ағындысы сияқты гидрологиялық сипаттамаларды өзгертуі мүмкін, нәтижесінде өзеннің төменгі ағысындағы гидрологиялық құрғақшылықтың ықтималдығын арттырады. Метеорологиялық құрғақшылықтың пайда болу жиілігіне қарамастан су тапшылығы жағдайларының жиілеуіне әкелетін антропогендік факторлардың бірі – бұл жерді пайдалану кезіндегі өзгерістер болып табылады.

А.М. Владимировтың көзқарасы бойынша (Владимиров, 2012) топырақ құрғақшылығы топырақтық-атмосфералық құрғақшылықтың жалғасы болып табылатын гидрологиялық құрғақшылықты тудыруы мүмкін, нәтижесінде өзендерді қоректендіретін жер асты суларының жоғарғы сулы қабаттарының суы азайып, құрғайды. Топырақтық-атмосфералық құрғақшылық су ағындысының азаюына әкеледі. Бұл кезеңде кішігірім өзендер құрғайды, орташа өзендер тек терең жатқан жер асты суларымен қоректенеді, ал ірі өзендерде су ағындысының азаюы орташа өзендерден келетін судың ағындысына, яғни оған терең сулы горизонттардан келетін су ағындысына, сондай-ақ құрғақшылық орын алған су жинау алабының ауданына, аумақтағы өсімдіктер түрі мен климаттық белдеу ерекшеліктеріне байланысты болады.

Құрғақшылық атмосферадан басталып, кейін топырақ пен гидрологиялық құрғақшылыққа өтетіндіктен, гидрологиялық құрғақшылық осы тізбектің соңғы буыны және су ресурстары азаюының көрсеткіші болып табылады. Кейбір жағдайда, сабалық кезеңде гидрологиялық құрғақшылық тіпті жауын-шашын мен топырақтың жеткілікті ылғалдылығы жағдайында да болуы мүмкін, бірақ бұл кезде өзендерді қоректендіретін сулы горизонттардың сарқылуы орын алады (G. Wong, H.A.J. Van Lanen and P.J.J.F. Torfs, 2013). Гидрологиялық құрғақшылықты қалыптастыратын факторлар (Владимиров, 2008): а) гидрогеологиялық – өзеннің немесе көлдің сумен қоректену түрі, жер асты суларының тереңдігі мен қоректену режимі, жер асты суларының қоректену жағдайлары

мен өзенмен гидравликалық байланыс түрі; ә) морфометриялық – арнаның эрозиялық тілімдену тереңдігі, су жинау алабы; б) метеорологиялық – ауа температурасы, топырақ температурасы, судың булануы, топырақ бетінен булану, өсімдіктерден булану; в) антропогендік – жер суаруға су алу, өнеркәсіп салаларына су алу, коммуналдық-тұрмыстық қажеттіліктерге су алу, ауыл шаруашылығы қажеттіліктеріне су алу.

Алғашқы үш фактор табиғи сипатқа ие, дегенмен қазіргі кезеңде қалыптасқан климаттық өзгерістерге де антропогендік әсер бар. Төртінші фактор толығымен адам іс-әрекетімен байланысты. Бұл фактор ауыл шаруашылығы мен өнеркәсіптің қарқынды дамыған аймақтарында айқын көрінеді. Жазық өзендер алаптары үшін бұл фактор өте маңызды. Жазық өзендердің су жинау алабында жер үсті және жер асты суларын пайдаланатын көптеген нысандардың болуы су ресурстарының қосымша сарқылуына әкеледі. Суды қарқынды пайдалану жер асты суларының ең терең горизонттарының көп ғасырлық қорларының сарқылуына ықпал етуі мүмкін, бұл өз кезегінде қарастырылып отырған аумақта жалпы құрғақшылықтың орын алу қаупін тудырады.

Құрғақшылықтың өзгеруін талдаудың кең таралған тәсілдерінің бірі арнайы индекстерді қолдануға негізделген, олар бір жағынан ауылшаруашылық немесе гидрологиялық құрғақшылықтың пайда болу жағдайларын көрсететін шамалармен байланысты (топырақтың ылғалдылығы, ағынды су) болса, екінші жағынан стандартты гидрометеорологиялық бақылаулардың қолда бар деректері бойынша есептелуі мүмкін.

Жұмыстың мақсаты – Жайық-Каспий сушаруашылық алабы (США) аумағында гидрологиялық құрғақшылықтың басталуын анықтау және болжау үшін стандартталған жауын-шашын индексі (SPI) пайдалану мүмкіндігі мен тиімділігін тексеру.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу аймағы

Жайық-Каспий США аумағында өзен желісінің таралу ерекшеліктері оңтүстік-батыста Каспий теңізінің, ал солтүстік-

шығыста–ОңтүстікОралдыңтаутүзілімдерінің болуына байланысты, сондықтан өзендердің ағу бағыты солтүстік-шығыстан оңтүстік-батысқа қарай. Қарастырылып отырған алапта жүзден астам өзен (уақытша су ағындары), оның ішінде ұзындығы 200 км-ден асатын 12 өзен бар, негізгі өзен – Жайық (Орал), жалпы ұзындығы 2534 км. Жайық өзені Ресей Федерациясы аумағында қалыптасады, Оңтүстік Оралдан бастау алып, Каспий теңізіне құяды, Қазақстан Республикасы аумағындағы ұзындығы 1084 км құрайды (1-сурет).

Каспий теңізі планетадағы ең үлкен тұйық су айдыны болып табылады және жаһандық гидроклиматтық жүйеде таптырмас рөл атқарады. Каспий теңізінің қарастырылып отырған аймақтың су теңгерімін реттеуде маңызы зор. Гидрологиялық құрғақшылық Каспий теңізінің деңгейіне де әсер етуі мүмкін, себебі теңіз деңгейі кіріс (жауын-шашын, өзен ағындысы) және шығыс (булану) бөлігі арасындағы тепе-теңдікке байланысты. Ұзақ мерзімге созылған құрғақшылық кезінде жауын-шашын мөлшері азайып, Каспий теңізіне құятын өзендердегі су деңгейінің төмендеуі орын алуы мүмкін.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Ғылыми зерттеуде Жайық-Каспий США-ның жазық өзендеріндегі орын алып жатқан гидрологиялық құрғақшылықты зерттеу үшін «Қазгидромет» РМК кадастрлық материалдары пайдаланылды (аспаптық бақылаулар басталғаннан бастап 2020 жылға дейін). Нәтижелерді өңдеу және модельдеу барысында MS Excel, STATISTICA, SPI Generator бағдарламалары қолданылды (McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J., 1993; Edwards D.C., McKee T.B., 1997; Ali Danandeh және т.б., 2020, <https://drought.unl.edu/monitoring/SPI/SPIProgram.aspx>).

SPI Generator бағдарламасы жауын-шашын деректерін түрлі уақыт масштабтарында (апталық, айлық) қолдап, SPI деректерімен қоса құрғақшылық жиілігі мен кезең деректерін есептеп шығарады. Жауын-шашынның стандартталған индексі (SPI) метеостанциядағы жауын-шашынның тарихи деректері негізінде есептеледі, мұнда белгілі бір уақыт аралығында жинақталған жауын-шашын мөлшері сол жердегі сәйкес кезеңнің

барлық деректерімен салыстырылады. Бұл бағдарламада есептелген SPI гамма-сәулелік таралатын тарихи жауын-шашын деректерін ұсынуға негізделген. Оң SPI мәндері ылғалды жағдайға сәйкес келеді; SPI неғұрлым жоғары болса, уақыт кезеңі соғұрлым ылғалды болады. Теріс SPI мәндері құрғақшылық жағдайын білдіреді; SPI неғұрлым төмен болса, уақыт кезеңі соғұрлым ерекше құрғақ болады.

SPI-дің басты артықшылығы – оның деректерін түрлі климаттық аймақтар үшін

салыстыруға болады. SPI метеостанциядағы жауын-шашынның мөлшерін сол станцияның өзіндік жауын-шашын тарихымен салыстыратындықтан, әр түрлі станциялардағы SPI деректерін әдетте тікелей салыстыруға болады, өйткені ол жауын-шашынның тек өңделмеген ауытқуын ғана емес, сонымен қатар жауын-шашынның қалыптан қаншалықты тыс екенін көрсетеді (<https://drought.unl.edu/monitoring/SPI/SPIProgram.aspx>).



Сур. 1. Жайық-Каспий сушаруашылық алабы

Гидрологиялық құрғақшылық көрсеткіштері

Құрғақшылықты зерттеу су ресурстарын басқарудың маңызды бөлігі болып табылады. Дер кезінде әрекет ету және құрғақшылықтың зардаптарымен күресу үшін келесі құрамдас бөліктерді қамтитын құрғақшылықты ерте хабарлау жүйесі болуы керек: – құрғақшылық мониторингі

(құрғақшылықтың басталуының бастапқы кезеңін анықтау үшін аймақтың қазіргі климаттық және гидрологиялық жағдайын бағалау); – құрғақшылықтың дамуын болжау және оның ұзақтығы мен қарқындылығын бағалау; – құрғақшылықтың алдын алу және оның салдарын жою жөніндегі шаралар жүйесін қамтитын құрғақшылық тәуекелдерін басқару жоспары.

Құрғақшылықты бағалау үшін бірнеше тәсілдерді қолдануға болады. Бұл бағалаудың дәлдігін едәуір арттырады. Бұл мақалада гидрологиялық құрғақшылықты бағалау мақсатында стандартталған жауын-шашын индексі (SPI) қолданылды.

SPI есептеу әдістемесі. Бұл әдіс жауын-шашын мөлшері гамма таралуға бағынады деген болжамға негізделген. (Edwards D.C., McKee T.B., 1997) сәйкес SPI есептеу алгоритмі келесідей: – жауын-шашын деректеріне сүйене отырып, келесідей гамма-таралу функциясы құрастырылады:

$$f_{\alpha,\beta} = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \times x^{\alpha-1} \times e^{-x/\beta}, x > 0 \tag{1}$$

SPI индексінің градациялары

Кесте 1

SPI мәндерінің аралықтары	Аумақтың құрғақтық категория сипаттамасы
≥2,0	экстремалды ылғалды
1,5 тен 1,99 дейін	өте ылғалды
1,0 ден 1,49 дейін	орташа ылғалды
0,0 ден 0,99 дейін	жайлы ылғалды
-0,99 дан 0,0 дейін	әлсіз құрғақшылық
-1,49 дан -1,0 дейін	орташа құрғақ
-1,99 дан -1,5 дейін	өте қатты құрғақ
≤-2,0	экстремалды құрғақ

(Handbook of Drought Indicators and Indices, 2016) нұсқаулығына сәйкес SPI мәні -1 немесе одан төмен түскен кезде құрғақшылық орын алады. SPI мәні оң мәндерге жеткенде құрғақшылық аяқталады. Жауын-шашынның ауытқуларына әр түрлі табиғи компоненттер әр түрлі әсер етеді:

- топырақ ылғалдылығының өзгеруі жауын-шашынның қысқа мерзімді ауытқуларына жауап береді;
- жер асты суларының және өзен ағындысының жағдайлары жауын-шашынның ұзақ мерзімді ауытқуларын көрсетеді.

Демек, құрғақшылық түрлерінің басталуынаықтау үшін келесі масштаб бойынша жауын-шашынның болмау мерзімі қолданылады:

- 1...2 ай – метеорологиялық құрғақшылық үшін;
- 1...6 ай – ауылшаруашылық құрғақшылығы үшін;
- 6...24 және одан да көп ай – гидрологиялық құрғақшылық үшін.

Дегенмен, 9 айлық SPI маусымдық

мұндағы α және β – пішін мен масштабтың оң параметрлері, $x > 0$ жауын-шашын мөлшері, $\Gamma(\alpha)$ – Эйлер гамма-функциясы, бұл функцияның параметрлері таңдалған уақыт шегінде әрбір метеостанция үшін анықталады;

– таралу тығыздығына негізделген стандартты қалыпты таралған кездейсоқ шаманың жинақталған ықтималдық функциясы тұрғызылады;

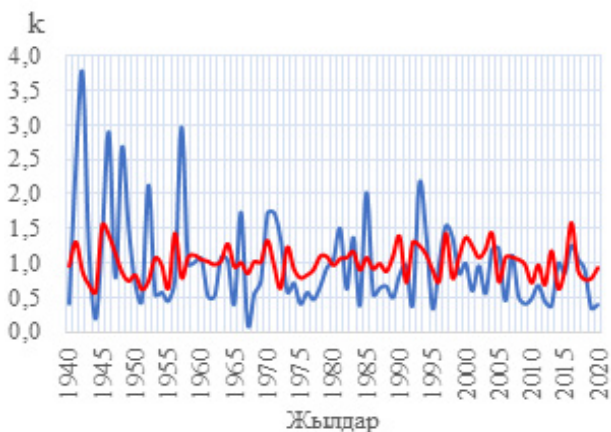
– алынған қалыпты таралудың көмегімен жауын-шашын мөлшері SPI индексінің формасына келтіріледі, SPI градациялары 1-кестеде келтірілген.

құрғақшылықты гидрологиялық сипатқа ие болуы мүмкін ұзақ мерзімді құрғақшылықпен байланыстырады, ал 12 айлық немесе одан да ұзақ SPI өзен ағындыларының, су қоймаларының деңгейінің және жер асты су деңгейінің айтарлықтай төмендеуімен байланысты.

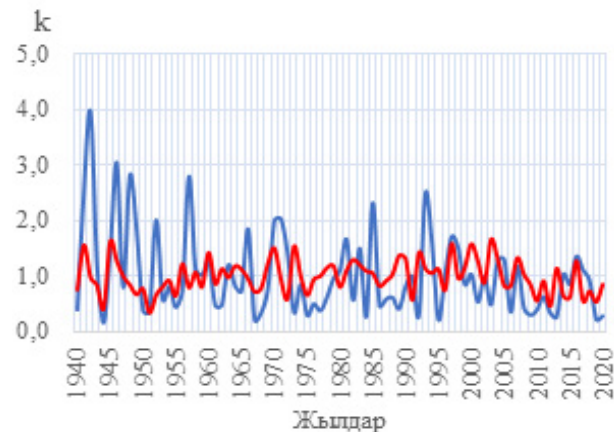
НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Жазықөзендердегі ағындыны арттыруға ықпал ететін ең негізгі табиғи фактор ол жауын-шашын. Демек, жауын-шашын талдауына негізделген құрғақшылық критерийін қолдану өте орынды. Гидрологиялық құрғақшылықты болжауда SPI индексіні пайдалану мүмкіндігі жауын-шашынның уақыттық қатарлары мен гидрологиялық сипаттамаларды салыстыру арқылы тексерілді. 2-суретте қарастырылып отырған аумақтағы орташа көпжылдық өзен ағындысы мен оған жақын маңайда орналасқан метеорологиялық станциялар (МС) бойынша жауын-шашынның жылдық мөлшерінің өзгеру динамикасы көрсетілген (деректер алдын ала өлшемсіз, жүйелі түрге келтірілген).

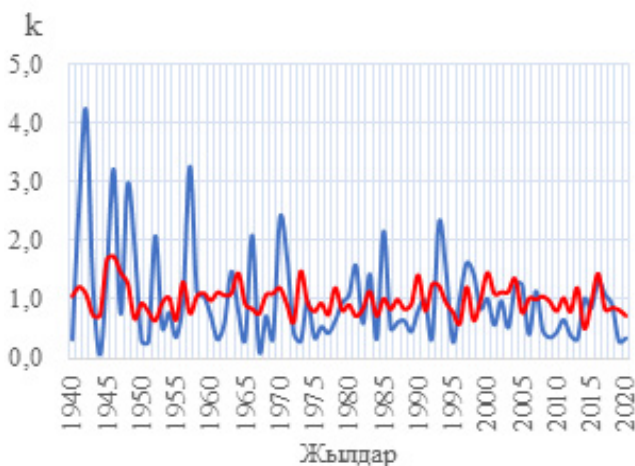
Елек өз. – Шелек а. ГБ
Ақтөбе МС



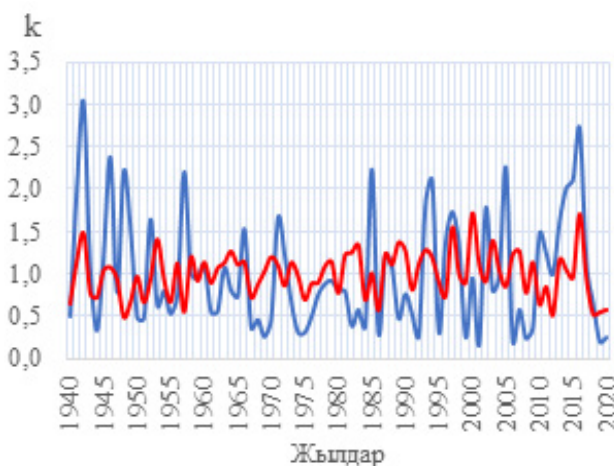
Үлкен Қобда өз. – Қобда а. ГБ
Ильинский МС



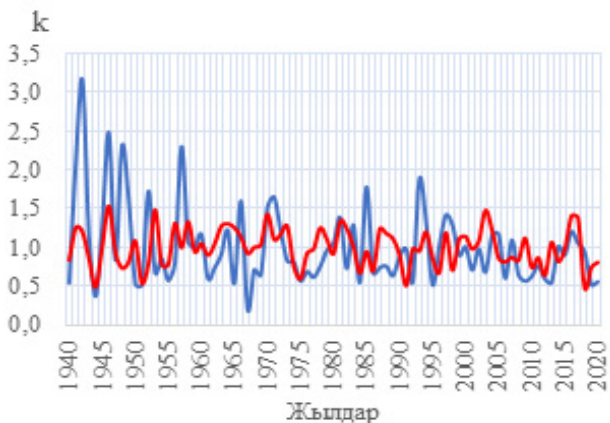
Шыңғырлау өз. – Кеңтүбек а. ГБ
Шыңғырлау МС



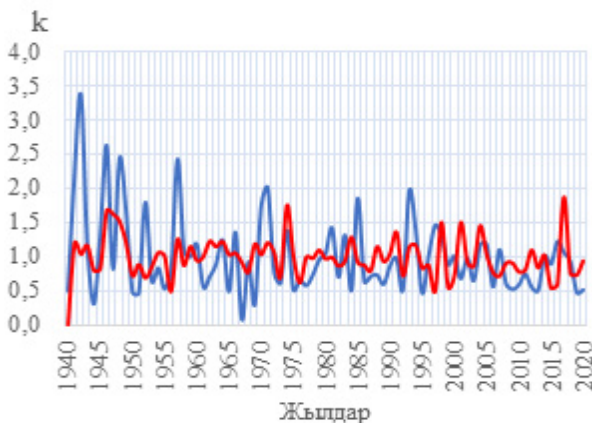
Темір өз. – Сағашали а. ГБ
Темір МС



Жем өз. – Жағабұлақ а. ГБ
Эмба МС



Өленті өз. – Жымпиты а. ГБ
Жамбейгі МС



Сур. 2. Жүйелі түрге келтірілген орташа жылдық су өтімі және жылдық жауын-шашын мөлшерінің өзгеру динамикасы

2-суреттен қарастырылып отырған өзендердің орташа жылдық су ағындысының өзгеруі, негізінен синхронды және жа-

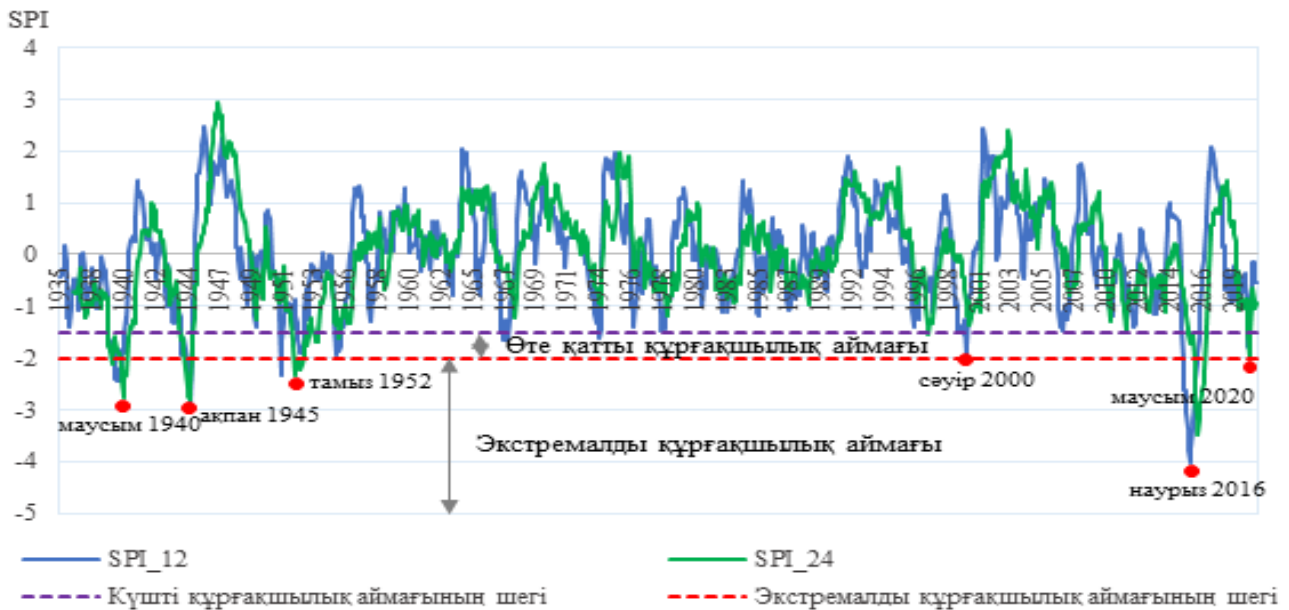
уын-шашынның жүрісімен байланысты, бірақ сәл кешігіп жатқаны анық көрінеді. Сонымен қатар, көрсетілген графиктердің тенденция

өзгерістері ұқсас, яғни бұл қарастырылып отырған су нысандарының сулылығы сыртқы, атап айтқанда табиғи факторлармен байланысты деген гипотезаны растайды. Осылайша, өзен ағындысының көбеюіне ықпал ететін ең негізгі табиғи фактор жауын-шашын болып табылады.

Құрғақшылықты анықтаудың ең ақпараттық көрсеткіші болып жауын-шашынның айлық мөлшерінен есептелетін SPI индекстері табылады. SPI индексінің теріс

мәндері әртүрлі дәрежедегі гидрологиялық құрғақшылықтың басталуын білдіреді және көп жағдайда олар қарастырылып отырған аумақтың өзендерінің суы аз циклдеріне сәйкес келеді. Құрғақшылықтың басталуын, аяқталуын және қатандығын бағалау үшін 6, 9, 12 және 24 айлық жауын-шашынның мөлшерінен алынған айлық деректер пайдаланылды. SPI₁₂ және SPI₂₄ индекстері бойынша алынған нәтижелер 3-суретте көрсетілген.

Шынғырлау МС



Жамбейті МС



Сур. 3. SPI индекстері бойынша гидрологиялық құрғақшылық

Суреттерде өте қатты гидрологиялық құрғақшылықты көрсететін SPI индексінің өзгеру циклдары анықталды (Шыңғырлау МС: өте қатты құрғақшылық – 2020 ж., экстремалды құрғақшылық – 2016 ж.; Жамбейті МС: өте қатты құрғақшылық – 2019 ж., экстремалды құрғақшылық – 2015 ж.).

SPI Generator бағдарламасын қолдану құрғақшылықты және оның параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді. 2-кестеде SPI₂₄ бойынша мәндері -2 белгісінен төмен бүкіл кезең үшін анықталған экстремалды құрғақшылықты талдау деректері келтірілген.

Кесте 2

24 айлық уақыт масштабында SPI арқылы анықталған экстремалды гидрологиялық құрғақшылық параметрлері

Құрғақшылықтың басталуы	Құрғақшылықтың аяқталуы	Құрғақшылықтың ұзақтығы, айлар	SPI _{24жж}	SPI жиынтығы	SPI _{орт.}
Ақтөбе МС					
07/1930	10/1941	135	-3,25	-213	-1,58
05/1951	07/1957	74	-2,48	-97	-1,31
Жамбейті МС					
06/1937	11/1941	53	-2,46	-85	-1,60
05/1951	11/1954	42	-2,31	-49	-1,16
10/2015	07/2016	9	-2,73	-15	-1,64
Шыңғырлау МС					
08/1939	08/1941	24	-2,76	-40	-1,66
11/1944	09/1945	10	-2,81	-19	-1,87
08/1952	12/1956	52	-2,32	-67	-1,29
07/2016	09/2017	14	-3,47	-31	-2,23
Аяққум МС					
12/1951	06/1953	18	-3,07	-33	-1,82
07/1975	05/1978	34	-2,51	-56	-1,64
06/1985	07/1988	37	-2,26	-51	-1,38
Эмба МС					
07/1930	07/1932	24	-2,13	-22	-0,91
05/1934	04/1942	95	-2,48	-127	-1,33
12/1944	07/1946	19	-2,05	-28	-1,45
Казенка МС					
03/1973	05/1974	14	-2,18	-14	-0,98
11/1975	11/1977	24	-2,21	-38	-1,58
10/1996	02/1998	16	-2,20	-14	-0,87
05/2009	01/2011	20	-2,57	-26	-1,30
Қараулкелді МС					
06/1940	08/1941	14	-2,07	-18	-1,27
09/1949	06/1953	45	-3,14	-79	-1,76
Қос-Істек МС					
09/1976	04/1979	31	-2,05	-32	-1,03
Мұғалжар МС					
06/1936	05/1941	59	-2,68	-86	-1,45
03/1950	04/1954	49	-2,47	-65	-1,33
Шалқар МС					
04/1944	08/1946	28	-3,38	-60	-2,14
06/1951	05/1953	23	-2,89	-35	-1,51
10/1955	04/1958	30	-3,31	-48	-1,59
11/1976	04/1978	17	-2,55	-26	-1,55
Ұйыл МС					
12/1936	04/1942	64	-3,22	-139	-2,17
Орал МС					
10/1950	03/1957	77	-2,71	-131	-1,70

2-кестеден көріп тұрғанымыздай қарастырылып отырған ауданда құрғақшылықтың ұзақтығы 9 айдан (Жамбейті МС, 2015...2016 жж.) 135 айға (Ақтөбе МС, 1930...1941 жж.) дейін кең ауқымда өзгерген, SPI индексінің ең төменгі мәні -3,47 (Шыңғырлау МС, 2016...2017 жж.) құрады. Қазіргі кезеңде қарастырылып отырған алаптағы ірі гидрологиялық құрғақшылық 2016...2017 жылдар аралығында, 14 айға созылған. 3-кестеде SPI_6, SPI_9 және SPI_12 ай бойынша 2018 жылдан 2020 жылға дейінгі Шыңғырлау МС мәліметтеріне есептелген мәндері келтірілген.

Зерттеліп отырған аумақ өзендеріндегі ағындының көпжылдық тербелістерін зерт-

теу және талдау кезінде келесідей сулылығы аз кезеңдер анықталды: Шыңғырлау өзенінде 2001...2020 жж.; Елек өзенінде 2006...2015 жж., 2018...2020 жж.; Темір өзенінде 2006...2009 жж., 2018...2020 жж.; Өленті өзенінде 2008...2015 жж., 2018...2020 жж.; Ор өзенінде 2006...2020 жж.

Есептелген мәндерді талдау кезінде қарастырылып отырған аумақта топырақ ылғалдылығының тапшылығынан (SPI_6) маусымдық ұзақ мерзімді құрғақшылыққа (SPI_9) бірте-бірте өтуін және өзен ағындысының айтарлықтай азаюын (SPI_12) байқауға болады. Құрғақшылықтың аяқталуы сәйкес индекстер оң мәндерге жеткенде орын алады.

Кесте 3

2018...2020 жж. аралығындағы Шыңғырлау МС бойынша SPI индексінің -2-ден төмен мәндері

Мерзімі	SPI_6	SPI_9	SPI_12
11/2018	-0,54	-0,41	-0,29
12/2018	-1,24	-0,43	-0,67
01/2019	-1,18	-0,51	-0,80
02/2019	-0,85	-1,17	-0,95
03/2019	-0,11	-1,05	-0,43
04/2019	-0,34	-0,57	-0,21
05/2019	0,16	0,05	-0,46
06/2019	0,02	-0,11	-0,91
07/2019	-0,12	-0,74	-0,88
08/2019	0,03	-0,54	-0,54
09/2019	-0,59	-0,57	-0,61
10/2019	-0,87	-0,50	-0,96
11/2019	-1,21	-0,32	-0,75
12/2019	-0,98	-0,69	-0,64
01/2020	-0,46	-0,78	-0,42
02/2020	-0,54	-1,14	-0,36
03/2020	-0,13	-0,81	-0,63
04/2020	-0,08	-0,71	-0,96
05/2020	-0,95	-1,30	-1,77
06/2020	-1,70	-1,41	-1,85
07/2020	-1,06	-0,71	-1,15
08/2020	-0,13	-0,14	-0,50
09/2020	-0,01	-0,04	-0,14
10/2020	-0,03	-0,24	-0,14
11/2020	-0,07	-0,57	-0,53
12/2020	0,45	-0,59	-0,53

ҚОРЫТЫНДЫ

Жұмыс қорытындысы бойынша гидрологиялық құрғақшылықты бақылаудың тиімді құралы ретінде SPI индексін ұсынуға болады. Қарастырылып отырған сушаруашылық алабында метеорологиялық деректерді пайдалана отырып, өте қатты және экстремалды құрғақшылықтың түрлері мен мерзімдері анықталды. Зерттеу нәтижесі негізінде келесі қорытындылар алынды:

- SPI индексі құрғақшылық кезеңдерін анықтауда нәтижелілігін көрсетті, бұл гидрологиялық құрғақшылықтың саралау жұмыстарын жүргізуге мүмкіндік берді (SPI индексін қолдана отырып метеорологиялық деректерді талдау негізінде құрғақшылық түрлері мен пайда болу мерзімдері анықталды);

- қазіргі уақытта су нысандарының сулылығы мәселесінде табиғи факторлар шешуші рөл атқарады, және де табиғи факторлардың гидрологиялық режимге әсерін түсіну және ескеру – құрғақшылықтың пайда болу мерзімін болжау мен оның алдын алу шараларының тиімділігін арттырудың негізгі элементіне айналады;

- зерттеу нәтижелері су ресурстарын басқару және климат өзгерістеріне бейімделу стратегияларын әзірлеуге негіз бола алады;

- алынған қорытындылар су ресурстарына тәуелді ауыл шаруашылығы мен басқа салалар үшін практикалық маңыздылыққа ие, құрғақшылықтың түрлері мен мерзімдері туралы ақпаратты қарастырылып отырған аймақтың су ресурстарын басқарудың тиімді стратегияларын әзірлеу және гидрологиялық құрғақшылықтың жағымсыз әсерін азайту үшін пайдалануға болады.

Бұл ғылыми зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетінің «Жасыл даму контекстінде Батыс Қазақстан өңірінің табиғи-шаруашылық және әлеуметтік-экономикалық жүйелерінің тұрақты дамуы: кешенді талдау, тұжырымдама, болжамдық бағалау және сценарийлер» № BR 1882122-OT-23 бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру негізінде жасалды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Владимиров А.М. Классификация гидрологических засух // Ученые записки РГГМУ № 23. Научно-теоретический журнал – СПб.: РГГМУ. – 2012. – С. 5-12.

2. Владимиров А.М. Факторы формирования экстремального стока в маловодный сезон. – СПб. Ученые Записки РГГМУ. – № 7. – 2008. – С. 13-22.

3. Подлипенская Л.Е., Кусайко Н.П., Ладыш И.А. и Долгих Е.Д. Мониторинг гидрологических засух по результатам многолетних данных Центра гидрометеорологии города Луганска. – Экологический вестник Донбасса. – №2. – 2021. С. 83-91.

4. Ali Danandeh, Mehr Ali, Unal Sorman, Ercan Kahya and Mahdi Hesami Afshar (2020). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. Hydrological Sciences Journal. 65:2, 254-268, doi:10.1080/02626667.2019.1691218.

5. Brunner M.I., Götte J., Schlemper C. and Van Loon A.F. (2023). Hydrological drought generation processes and severity are changing in the Alps. Geophysical Research Letters, 50, e2022GL101776. <https://doi.org/10.1029/2022GL101776>

6. Edwards D.C., McKee T.B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report No. 97 - 2. Colorado State University, Fort Collins Colorado, 155 pp.

7. G. Wong, H.A.J. Van Lanen and P.J.J.F. Torfs (2013). Probabilistic analysis of hydrological drought characteristics using meteorological drought. Hydrological Sciences Journal, 58:2, 253-270, doi:10.1080/02626667.2012.753147

8. Giroto M., Formetta G., Azimi S., Bachand C., Cowherd M., De Lannoy G. and Massari C. (2024). Identifying snowfall elevation patterns by assimilating satellite-based snow depth retrievals. Science of The Total Environment, 906, 167312.

9. Faquseh H. and Grossi G. (2024). Trend analysis of precipitation, temperature and snow water equivalent in Lombardy region, northern Italy. Sustainable Water Resources Management, 10(1), 18.

10. Markonis Y., Kumar R., Hanel M., Rakovec O., Máca P. and Aghakouchak A. (2021). The rise of compound warm-season droughts in Europe. Science Advances, 7(6), eabb9668. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb9668>

11. McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, January 17-22, Anaheim, California, pp. 179-184.

12. <https://drought.unl.edu/monitoring/SPI/SPIProgram.aspx>

13. Stahl K., Hisdal H., Hannaford J., Tallaksen L.M., Van Lanen H.A., Sauquet E. (2010). Streamflow trends in Europe: Evidence from a dataset of near-natural catchments. Hydrology and Earth System Sciences, 14(12), 2367–2382. <https://doi.org/10.5194/hess-14-2367-2010>

14. Van Lanen H.A., Wanders N., Tallaksen L.M. and Van Loon A.F. (2013). Hydrological drought across the world: Impact of climate and physical catchment structure. Hydrology and Earth System Sciences, 17(5), 1715–1732. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1715-2013>

15. Van Loon A.F. and Laaha G. (2015). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. Journal of Hydrology, 526, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.059>

16. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP),

2016: 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.

REFERENCES

- Vladimirov A.M. Klassifikatsiya gidrologicheskikh zasukh // Uchenye zapiski RGGMU № 23. Nauchno-teoreticheskii zhurnal – SPb.: RGGMU. – 2012. – P. 5-12.
- Vladimirov A.M. Faktory formirovaniya ekstremal'nogo stoka v malovodnyi sezon. – SPb. Uchenye Zapiski RGGMU. – № 7. – 2008. – P. 13-22.
- Podlipenskaya L.E., Kusaiko N.P., Ladysh I.A. i Dolgikh E.D. Monitoring gidrologicheskikh zasukh po rezul'tatam mnogoletnikh dannykh Tsentra gidrometeorologii goroda Luganska. – Ekologicheskii vestnik Donbassa. – №2. – 2021. P. 83-91.
- Ali Danandeh, Mehr Ali, Unal Sorman, Ercan Kahya and Mahdi Hesami Afshar (2020). Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. Hydrological Sciences Journal. 65:2, 254-268, doi:10.1080/02626667.2019.1691218.
- Brunner M.I., Götte J., Schlemper C. and Van Loon A.F. (2023). Hydrological drought generation processes and severity are changing in the Alps. Geophysical Research Letters, 50, e2022GL101776. <https://doi.org/10.1029/2022GL101776>
- Edwards D.C., McKee T.B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report No. 97 - 2. Colorado State University, Fort Collins Colorado, 155 .
- G. Wong, H.A.J. Van Lanen and P.J.J.F. Torfs (2013). Probabilistic analysis of hydrological drought characteristics using meteorological drought. Hydrological Sciences Journal, 58:2, 253-270, doi:10.1080/02626667.2012.753147
- Giroto M., Formetta G., Azimi S., Bachand C., Cowherd M., De Lannoy G. and Massari C. (2024). Identifying snowfall elevation patterns by assimilating satellite-based snow depth retrievals. Science of The Total Environment, 906, 167312.
- Faquseh H. and Grossi G. (2024). Trend analysis of precipitation, temperature and snow water equivalent in Lombardy region, northern Italy. Sustainable Water Resources Management, 10(1), 18.
- Markonis Y., Kumar R., Hanel M., Rakovec O., Máca P. and Aghakouchak A. (2021). The rise of compound warm-season droughts in Europe. Science Advances, 7(6), eabb9668. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb9668>
- McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, January 17-22, Anaheim, California, 179-184.
- <https://drought.unl.edu/monitoring/SPI/SPIProgram.aspx>
- Stahl K., Hisdal H., Hannaford J., Tallaksen L.M., Van Lanen H.A., Sauquet E. (2010). Streamflow trends in Europe: Evidence from a dataset of near-natural catchments. Hydrology and Earth System Sciences, 14(12), 2367–2382. <https://doi.org/10.5194/hess-14-2367-2010>
- Van Lanen H.A., Wanders N., Tallaksen L.M. and Van Loon A.F. (2013). Hydrological drought across the world: Impact of climate and physical catchment structure. Hydrology and Earth System Sciences, 17(5), 1715–1732. <https://doi.org/10.5194/hess-17-1715-2013>
- Van Loon A.F. and Laaha G. (2015). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. Journal of Hydrology, 526, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.059>
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: 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.

ОЦЕНКА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЗАСУХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЛЕТНИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЖАЙЫК-КАСПИЙСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА

С.К. Алимкулов¹ к.г.н., Л.К. Махмудова¹ к.г.н., А.А. Турсунова¹ к.г.н., Э.К. Талипова¹ PhD, Л.М. Биримбаева^{1,2*}

¹АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: birimbayeva_l@mail.ru

В статье рассматривается проблема эффективного выявления начала и окончания гидрологической засухи на территории Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна. В качестве индикатора-предиктора засухи выбран стандартизированный индекс осадков (SPI), рекомендованный Всемирной метеорологической организацией. На основе применения приложения SPI Generator определены характеристики сильных и экстремальных засух от начала инструментальных наблюдений по 2020 г. Результаты исследования показали эффективность применения индекса SPI в выявлении засушливых периодов рассматриваемой территории, что позволило провести дифференцированную диагностику гидрологических засух с определением сроков их проявления. Полученные выво-

ды имеют практическую значимость для сельского хозяйства и других отраслей, зависящих от водных ресурсов, информация о видах и сроках засух может быть использована для разработки эффективных стратегий по управлению водными ресурсами рассматриваемого региона и минимизации негативных последствий от гидрологических засух.

Ключевые слова: метеорологические, сельскохозяйственные и гидрологические засухи, дефицит осадков, водохозяйственный бассейн, стандартизированный индекс осадков

ASSESSMENT OF HYDROLOGICAL DROUGHTS BASED ON THE RESULTS OF LONG-TERM HYDROMETEOROLOGICAL DATA OF THE ZHAIYK-CASPIAN WATER BASIN

S. Alimkulov¹ *candidate of geographical sciences*, **L. Makhmudova**¹ *candidate of geographical sciences*, **A. Tursunova**¹ *candidate of geographical sciences*, **E. Talipova**¹ *PhD*, **L. Birimbayeva**^{1,2*}

¹JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan

²al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: birimbayeva_l@mail.ru

The article considers the problem of effective detection of the beginning and end of hydrological drought in the territory of Zhayk-Caspian water basin. Standardized Precipitation index (SPI) recommended by the World Meteorological Organization selected as drought predictor indicator. Based on the SPI Generator Application determined the characteristics of severe and extreme droughts from the beginning of instrumental observations to 2020 year. The results of the studies showed the effectiveness of the SPI index in detecting dry periods of the area under consideration, which allowed a differentiated diagnosis of hydrological droughts and their timing. The findings have practical relevance for agriculture and other water-dependent industries, information on the types and timing of droughts can be used to develop effective strategies to manage the water resources of the region and minimize the negative impacts of hydrological droughts.

Keywords: meteorological, agricultural and hydrological droughts, precipitation deficit, water basin, standardized precipitation index

Авторлар туралы мәліметтер/Сведения об авторах/Information about authors:

Алимкулов Саят Курбанбаевич - география ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), «География және су қауіпсіздігі» АҚ басқарма төрағасының орынбасары, Алматы, sayat.alimkulov@mail.ru

Махмудова Ляззат Камаловна- География ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), «География және су қауіпсіздігі» АҚ жетекші ғылыми қызметкер, Алматы, mlk2002@mail.ru

Турсунова Айсулу Алашевна - География ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), «География және су қауіпсіздігі» АҚ су ресурстары зертханасының меңгерушісі, Алматы, ais.tursun@bk.ru

Талипова Эльмира Кайратовна – PhD, «География және су қауіпсіздігі» АҚ аға ғылыми қызметкер, Алматы, elmira_280386@mail.ru

Биримбаева Ляззат Муратбековна- «География және су қауіпсіздігі» АҚ ғылыми қызметкер, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, birimbayeva_l@mail.ru

Алимкулов Саят Курбанбаевич- кандидат географических наук, ассоциированный профессор (доцент), Заместитель Председателя Правления АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, sayat.alimkulov@mail.ru

Махмудова Ляззат Камаловна- кандидат географических наук, ассоциированный профессор (доцент), ведущий научный сотрудник АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, mlk2002@mail.ru

Турсунова Айсулу Алашевна - кандидат географических наук, ассоциированный профессор (доцент), заведующий лабораторией водных ресурсов АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, ais.tursun@bk.ru

Талипова Эльмира Кайратовна – PhD, старший научный сотрудник АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, elmira_280386@mail.ru

Биримбаева Ляззат Муратбековна- научный сотрудник АО «Институт географии и водной безопасности», Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, birimbayeva_l@mail.ru

Alimkulov Sayat - Candidate of geographical sciences, associate professor (docent), Vice Chairman of the Board JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, sayat.alimkulov@mail.ru

Makhmudova Lyazzat - Candidate of geographical sciences, associate professor (docent), Leading researcher, JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, mlk2002@mail.ru

Tursunova Aysulu - Candidate of geographical sciences, associate professor (docent), Head of the Water resources Laboratory, JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, ais.tursun@bk.ru

Talipova Elmira – PhD, Senior researcher, JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, elmira_280386@mail.ru

Birimbayeva Lyazzat - Researcher, JSC «Institute of Geography and water security», Study place al-Farabi Kazakh National University, Almaty, birimbayeva_l@mail.ru

Авторлардың қосқан үлесі/ Вклад авторов /Authors contribution

Алимкулов Саят Курбанбаевич - тұжырымдаманы әзірлеу

Махмудова Ляззат Камаловна - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Турсунова Айсулу Алашевна - әдістемені әзірлеу

Талипова Эльмира Кайратовна – статистикалық талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Биримбаева Ляззат Муратбековна- бағдарламалық жасақтама жасау, статистикалық талдау жүргізу

Алимкулов Саят Курбанбаевич - разработка концепции

Махмудова Ляззат Камаловна - разработка концепции, разработка методологии, подготовка и редактирование текста, визуализация

Турсунова Айсулу Алашевна - разработка методологии

Талипова Эльмира Кайратовна – проведение статистического анализа, подготовка и редактирование текста, визуализация

Биримбаева Ляззат Муратбековна - создание программного обеспечения, проведение статистического анализа

Alimkulov Sayat - concept development

Makhmudova Lyazzat - concept development, methodology development, preparing and editing the text, visualization

Tursunova Aysulu - methodology development

Talipova Elmira – conducting statistical analysis, preparing and editing the text, visualization

Birimbayeva Lyazzat - creating software, conducting statistical analysis