

Климатология и метеорология

Климатология және метеорология

Climatology and meteorology

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-73-85.22>

FTAMP 37.23.29
ӨОЖ 551.583

Э. К. Талипова¹, А. С. Нысанбаева², А. А. Тұрсынбай^{3*}

¹ PhD («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; elmira_280386@mail.ru)

² Г.ғ.к., доцент (Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; ayman.nysanbaeva@kaznu.edu.kz)

^{3*} Магистрант (Өл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; ayazhan.0200@bk.ru)

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ОҢТҮСТІГІНДЕГІ ҚҰРҒАҚШЫЛЫҚТЫҢ ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫ МЕН ЖИІЛІГІНЕ КЛИМАТТЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРДІҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

Аннотация. Климаттың өзгеруі құрғақшылыққа бейім өңірлер үшін барған сайын елеулі қауіпке айналады. Соңғы онжылдықтарда Қазақстанның оңтүстік және бастыс аймақтарында орташа жылдық температураның жоғарылауы, жауын-шашынның азаюы және құрғақшылықтың қайталануы басқа аймақтарға қарағанда анық байқалуда. Бұл процестер ауыл шаруашылығына, су ресурстарына және экожүйелерге теріс әсер етіп, экономикалық және азық-түлік қауіпсіздігіне қауіп төндіреді. Құрғақшылық өнімділіктің төмендеуіне, топырақтың деградациясына және су тапшылығының жоғарылауына әкеледі, бұл шөлейттену мәселесін күшейтеді.

Бұл мақалада Қазақстанның оңтүстік аймағындағы заманауи климат өзгерістеріне талдау жүргізіліп, оның құрғақшылықтың қарқындылығы мен жиілігіне әсері бағаланған. Зерттеудің негізгі мақсаты – 1950-2023 жылдар аралығындағы жауын-шашын мен ауа температурасының мәндерін пайдалана отырып стандартталған жауын-шашын (SPI) және булану (SPEI) индекстерін пайдалана отырып, құрғақшылықтың қарқындылығы мен жиілігіне талдау жүргізілді. Сонымен қатар, зерттеу барысында климаттың өзгеру тенденциялары мен құрғақшылық сипаттамаларын бағалау үшін Манн-Кендалл тесті қолданылды. Зерттеу нәтижесі бойынша SPEI нәтижелері 1990 жылдардан кейін құрғақшылық кезеңдерінің қарқындылығы мен жиілігінің SPI көмегімен алынған нәтижелерге қарағанда артуы байқалады. Жалпы екі индекс бойынша да 2019 жылдан бастап құрғақшылықтың күшті және экстремалды деңгейлері тіркеліп келеді.

Түйін сөздер: климат өзгерісі, құрғақшылық, ауа температурасы, атмосфералық жауын-шашын, стандартталған жауын-шашын индексі, Манн-Кендалл тесті.

Кіріспе. Қазіргі уақытта климаттың өзгеруі планетаның әрбір тұрғынына әсер ететін әлемдік қауіпке айналып, ең күрделі мәселелердің бірі болып тұр. Барлық мемлекеттер қазірдің өзінде соңғы жылдардағы ауа температурасының айтарлықтай өзгеруінен орын алған климаттық өзгерістердің салдарын көруде. Жер бетіндегі температураның өзгерісі бүкіл әлемде байқалып, ауа температурасының жаһандық орташа деңгейінің жоғарылауы дәлелденген факт болып саналады. ДМҰ-ның 2022 жылғы жаһандық климаттың жай-күйі туралы мәлімдемесінде жаһандық климаттың өзгеруі туралы ең соңғы деректер келтірілген, атап айтқанда, 2022 жылғы орташа жаһандық температура 1850-1900 жылдардағы орташа температурадан 1,15 °C жоғары болды. 2015-2022 жылдар 1850 жылдан бергі аспаптық бақылау тарихындағы ең жылы сегіз жылды құраған.

Себебі, 1800 жылдардан бастап антропогендік белсенділік климаттың өзгеруінің негізгі қозғаушы факторы болып табылады [1].

Климаттың өзгеруі қарқыны бүкіл әлемде бірдей емес. Еуразия құрлығының орталығында орналасқан және мұхиттан едәуір қашықтыққа алыс орналасқан Қазақстан аумағы жер шарының орташа мәніне қарағанда жылдам қарқынмен жылынуда. 1976-2022 жылдар кезеңінде ауаның орташа жылдық температурасының көтерілу жылдамдығы жер шары үшін әр 10 жыл сайын $+0,18^{\circ}\text{C}$ құрады, ал Қазақстан үшін бұл мән айтарлықтай жоғары: әр 10 жылдыққа $+0,33^{\circ}\text{C}$ тең [2]. Оңтүстік Қазақстан аумағы континентальды климатымен және жоғары температураны қамтамасыз ететін кең дала жазықтарымен ерекшеленеді. 2022 жылы шілде айында аталған аймақта рекордтық жоғары температура мәні тіркелген ($+48^{\circ}\text{C}$). Бұл өз кезегінде Оңтүстік Қазақстандағы климаттың барған сайын экстремалды және қауіпті болып бара жатқанын көрсетеді.

Қазақстан аумағының көп бөлігі қуаң аймақ болып табылады, бірақ эпизодтық құрғақшылық елдің барлық өңірлерінде байқалады. Әртүрлі қарқындылықтағы және ұзақтықтағы құрғақшылықтар жыл сайын дерлік кездеседі [3]. Құрғақшылықты төрт түрге бөлуге болады: метеорологиялық, ауылшаруашылық, гидрологиялық және әлеуметтік-экономикалық [4]. Метеорологиялық құрғақшылық жауын-шашынның аз мөлшерде түсуімен сипатталады. Ауылшаруашылық құрғақшылығы су қорларының ауыл шаруашылығы қажеттіліктерін қанағаттандыруға жеткіліксіз болғанда туындайды. Ал гидрологиялық құрғақшылық кезінде жауын-шашынның жетіспеушілігі ұзақ уақыт сақталып, топырақтағы жер үсті және жер асты су қорларының сарқылуына әкеледі [5].

Құрғақшылық - бұл табиғи құбылыс, және оны туындататын, таралуына және тоқтауына негіз болатын табиғи процестер жеткілікті түрде зерттелмеген. Себебі құрғақшылық әртүрлі формада, қарқындылықта және ұзақтықта пайда болуы мүмкін. Соңғы бірнеше онжылдықта табиғи факторлармен қатар антропогендік қызмет құрғақшылықтың сипаты мен қарқындылығына әсер етті. Құрғақшылықтың табиғи себептеріне мыналар жатады: мұхит температурасының ауытқулары (Эль-Ниньо және Ла-Нинья), құрлықтағы температураның өзгеруі (жер беті температурасының өзгеруі ішкі экожүйелердегі ауа айналымының сипатына әсер етіп, жауын-шашынның сипатын өзгертеді), топырақ ылғалдылығының төмендеуі (бұлттардың қалыптасуына әсер етіп, жауын-шашын болмаған жағдайда жердің қатты құрғауына әкеледі), су тапшылығы кезеңдері. Антропогендік себептеріне мыналар жатады: ауыл шаруашылығы қызметі, су ресурстарын тиімсіз пайдалану, жердің деградациясы және т.б. [6, 7, 8].

Құрғақшылықты дәл және уақтылы бағалау тиімді басқару мен бейімделу шараларын қабылдау үшін өте маңызды. Құрғақшылықты бақылаудың ең жақсы тәсілі – оның басталу және аяқталу уақытын, кезеңділігін анықтау үшін құрғақшылық индекстерін пайдалану. Құрғақшылықты бағалауға арналған көптеген индекстер бар, бірақ зерттеу аймағына және мақсаттарына сәйкес келетін дұрыс индексті таңдау маңызды, себебі әрбір индекс әртүрлі өңірлер үшін және гидрометеорологиялық деректердің қолжетімділігіне байланысты өзгеше болады. Ең танымал индекстер қатарына стандартталған жауын-шашын индексі (SPI), ауа температурасы ескерілетін жауын-шашын және булану стандартталған индексі (SPEI), Палмер құрғақшылық индексі (PDSI) жатады. Бұл индекстер көптеген зерттеулерде кеңінен қолданылады [9, 10, 11].

Бұл жұмыста SPI және SPEI индекстерін қолданылды, себебі олар стандартты және әртүрлі уақыт диапазонында салыстыруға және талдауға оңай. SPI тек жауын-шашын деректерін пайдаланады, ал SPEI температураның мәнін ескереді. Осы индекстер бойынша есептеулер метеорологиялық станциялардың бақылау деректерін пайдалана отырып орындалды.

Бұл зерттеудің негізгі мақсаты – 1950-2023 жылдардағы бақылау кезеңіндегі құрғақшылықты бағалау. Яғни, жауын-шашын мен ауа температурасының ұзақ мерзімді айлық деректерін пайдалана отырып, SPI және SPEI индекстерін есептеп Оңтүстік Қазақстандағы құрғақшылықтың қарқындылығы мен қайталануына климаттың өзгеруінің әсерін зерттеу болып табылады.

Зерттеу нысаны. Оңтүстік Қазақстан дала, шөлейттер мен шөлдерді қоса алғанда, әртүрлі табиғи аймақтарды қамтитын аймақ. Бұл аймақ Өзбекстан, Қырғызстан және Түркменстанмен шектеседі. Оңтүстік Қазақстанның негізгі экономикалық қызметі – ауыл шаруашылығы, оның ішінде суармалы егіншілік, сондай-ақ тау-кен және энергетика өнеркәсібі.

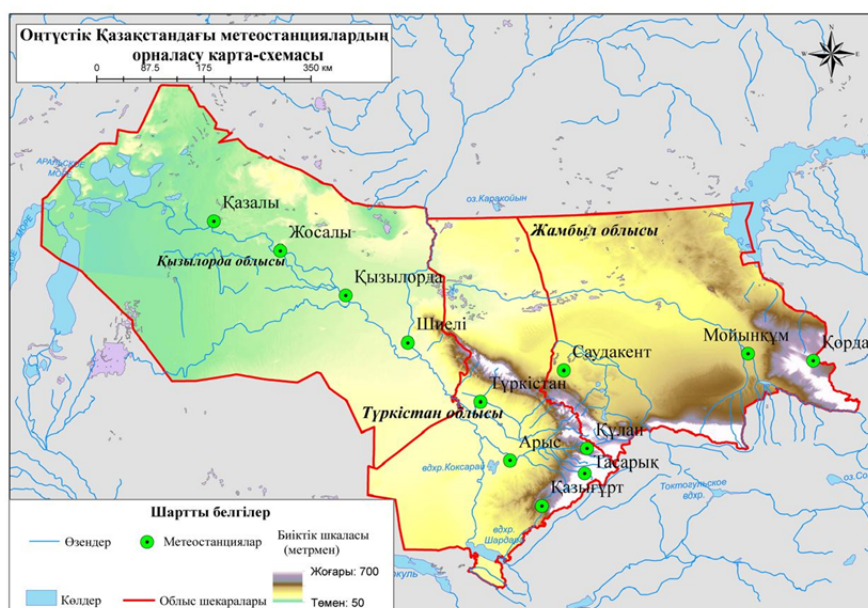
Аймақ батысында Арал теңізінен шығысында Жоңғар қақпасына дейін, солтүстігінде Балқаш көлі мен Бетпақдала шөлді үстіртінен, оңтүстігінде Қазақстан Республикасының шекарасына дейін

созылып жатыр. Оған Қызылқұм шөлінің солтүстік бөлігі, Тянь-Шаньның батыс және солтүстік сілемдері, сондай-ақ Жоңғар Алатауының жоталары кіреді. Аймақтың батыстан шығысқа қарай ұзындығы шамамен 2000 км, ал солтүстіктен оңтүстікке қарай – 700 км [12].

Климаты күрт континенталды және құрғақ. Жылдық жауын-шашын мөлшері 200 мм-ден аспайды. Оңтүстік Қазақстандағы жаз жылдың ең ыстық кезеңдерінің бірі болып саналады. Әсіресе температура 40 °С жоғары болатын шілде-тамыз аралығы Оңтүстік Қазақстан аймағы үшін өте ыстық айлар болып табылады.

Оңтүстік Қазақстанның экономикасы негізінен ауыл шаруашылығына тәуелді. Алайда, су тапшылығы және климаттық өзгерістер суарма жүйелерінің тиімділігін төмендетеді, бұл ауыл шаруашылығы өндірісінің тұрақтылығына қатер төндіреді. Аймақтағы су ресурстары шектеулі, бұл су ресурстарын басқару және құрғақшылықпен күресу мәселелерін аймақтың тұрақты дамуы үшін маңызды етеді.

Құрғақшылық Оңтүстік Қазақстан үшін ұзақ уақыттан бері өзекті проблема болып табылады. Әсіресе жаз айларында, температураның жоғары болуы және жауын-шашынның тапшылығы аймақтың экосистемасы мен ауыл шаруашылығына кері әсер етеді. Құрғақшылықтың негізгі салдары – су тапшылығы, топырақтың құрғауы және егіннің өнімділігінің төмендеуі. Осыған байланысты, климаттың өзгеруі мен құрғақшылықтың қарқындылығы мен жиілігін болжау, сонымен қатар бұл құбылыстардың ауыл шаруашылығына, экожүйелерге және әлеуметтік-экономикалық жағдайға әсерін зерттеу өте маңызды болып табылады [12].



1-сурет – Зерттеу аймағының карта-схемасы

Figure 1 – Map of the study area

Зерттеу материалдары мен әдістері. Ғылыми зерттеуде Оңтүстік Қазақстан аймағындағы құрғақшылықты талдау үшін 1950 жылдан 2023 жылға дейінгі кезеңге арналған РГП «Қазгидромет» мәліметтері қолданылды. Метеорологиялық деректер ретінде 12 метеорологиялық станциядан алынған ауа температурасының (максималды және минималды) және атмосфералық жауын-шашынның тәуліктік қатарлары пайдаланылды.

Стандартталған жауын-шашын индексі (SPI). 2009 жылы Дүниежүзілік метеорологиялық ұйым (ДМУ) 70-тен астам елде зерттеу жұмыстарында қолданылатын құрғақшылықты бақылау үшін стандартталған жауын-шашын индексі (SPI) пайдалануды ұсынды [13]. SPI артықшылықтарына жауын-шашынның мөлшерін ғана ескеретін ыңғайлылықты жатқызуға болады. SPI индексі есептеу әдістемесі өлшенетін бастапқы деректердің географиялық орналасу туралы мәліметтерін пайдалануды көздемейді. Стандартталған жауын-шашын индексі жауын-шашынның көпжылдық таралуын ғана ескереді.

Есептеу жолы жауын-шашынның уақыттық қатарларын гамма таратылымын қолдану арқылы түрлендіруді және одан кейін алынған ықтималдықтарды стандартталған жауын-шашын индексіне нормалауды қамтиды:

$$SPI = F^{-1}G(R), \quad (1)$$

мұндағы G – гамма таратылымының интегралдық функциясы; R – жауын-шашын мөлшері; F^{-1} – кері нормаланған гаусс таратылымы.

SPI индексінің оң мәндері ылғалды жағдайларды сипаттайды. Ал теріс мәндер құрғақшылық жағдайларын білдіреді, және SPI мәні неғұрлым төмен болса, зерттелетін кезең соғұрлым құрғақ болады. SPI есептеу үшін жауын-шашынның уақыттық қатарлары жеткілікті ұзақ болуы керек, кемінде 30 жыл. Стандартталған жауын-шашын индексі ықтималдықтармен байланысты болғандықтан, әрбір нақты нүкте үшін әртүрлі қарқындылықтағы құрғақшылықтың пайда болу ықтималдығын анықтауға болады. Құрғақшылықтың басталуы, егер SPI мәні -1.0-ден төмен болса, белгіленеді, ал құрғақшылықтың аяқталуы индекстің оң мәнге ауысу уақытымен анықталады. Құрғақшылықтың қарқындылығын есептеу үшін құрғақшылық кезеңіндегі барлық SPI мәндерінің сомасы есептеледі.

Стандартталған жауын-шашын және булану индексі (SPEI). $SPEI$ құрғақшылықты анықтауда жауын-шашын мен потенциалды булануды (эвапотранспирацияны) ескеруге мүмкіндік береді. Потенциалды булану (ПБ) – бұл белгілі бір температура мен ылғалдылық жағдайында өсімдіктер мен топырақтан буланып шығатын судың мөлшері. Потенциалды булану температураның жоғарылауымен ұлғаяды, бұл климаттың өзгеруі мен жылынуына байланысты өте маңызды көрсеткіш болып табылады. Сондықтан $SPEI$ индексі температураның әсерін де ескеріп, тек жауын-шашынға ғана емес, жалпы су балансына қатысты дұрыс бағалау жасауға мүмкіндік береді. SPI -ден айырмашылығы, жауын-шашын және булану индексі ($SPEI$) температураның жоғарылауының өсімдіктердің суға қажеттілігіне негізгі әсерін көрсетеді, себебі температура жоғарылаған сайын булану артады, бұл су ресурстарына әсер етеді. $SPEI$ климаттық индексі есептеу әдістемесі жауын-шашын мен булану айырмашылығы мәндерінің таралу тығыздығы функциясын пайдалануға негізделген [10].

Берілген стандартталған жауын-шашын мен булану индексі ($SPEI$) есептеу жолы SPI есептеу процесіне ұқсас. Алайда, $SPEI$ есептеу үшін (2) формуласына жауын-шашынның (R) және потенциалды эвапотранспирацияның (PET) айлық жиынтықтарының айырмашылықтары (D) қолданылады:

$$D_i = R_i - PET_i, \quad (2)$$

мұндағы i – есептеу айының реттік нөмірі.

$SPEI$ индексі жауын-шашын мен булану арасындағы айырмашылықты негізге ала отырып есептеледі және климаттық жағдайлардың өзгеруіне байланысты су тапшылығы мен артықшылығын анықтауға көмектеседі. Сәйкесінше оң мәнді $SPEI$ индексі жауын-шашынның артық болуын көрсетеді. Теріс мәндері су тапшылығын, яғни құрғақшылықты білдіреді.

Құрғақшылықтың қарқындылығын анықтау үшін 1-кестеде көрсетілген SPI және $SPEI$ индекстерінің мәндерінің жіктелуі қолданылады.

Индекс мәндері белгілі бір кезеңдегі жауын-шашынды (1, 3, 6, 9, 12 және 24 айлық немесе одан да ұзақ мерзім) талдауға енгізілген барлық жылдардағы сол кезеңнің жауын-шашын мөлшерімен салыстыруды қамтамасыз етеді. Қысқа мерзімді SPI және $SPEI$ (1-3 ай) жауын-

1-кесте – Стандартталған жауын-шашын индексінің мәндеріне сәйкес құрғақшылық деңгейлері

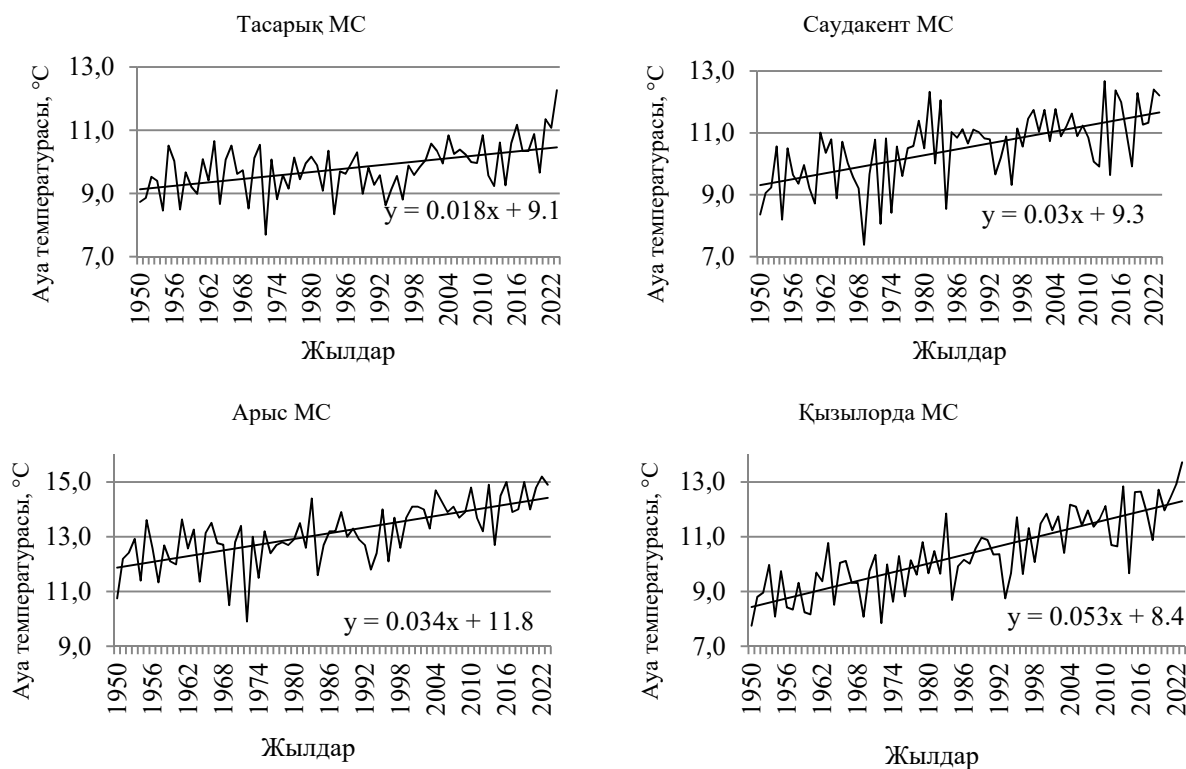
Table 1 – Drought severity levels according to Standardized Precipitation Index (SPI) values

SPI мәні	Құрғақшылық деңгейі
0-ден -0,99 дейін	Әлсіз құрғақшылық
-1,00-ден -1,49 дейін	Орташа құрғақшылық
-1,50-ден -1,99 дейін	Қатты құрғақшылық
-2,00 және одан төмен	Экстремалды құрғақшылық

шашынның қысқа мерзімді ауытқуларын бағалау үшін қолданылады. Сондай-ақ, ауыл шаруашылығы дақылдарына әсер ететін топырақ ылғалдылығын бақылауға пайдаланылады. Орта мерзімді (3-12 ай) маусымдық және жылдық жауын-шашынды талдайды және өзендер мен су қоймаларындағы су қорының әсерін анықтауға мүмкіндік береді. Ұзақ мерзімді (12 ай және одан көп) су ресурстарының ұзақ мерзімді өзгерістерін, мысалы, жерасты сулары мен гидрологиялық циклдерді бағалау үшін қолданылады. Көпжылдық құрғақшылық пен ұзақ мерзімді климаттық үрдістерді талдау үшін пайдаланылады. SPI және SPEI мәндері Climpact бағдарламасын пайдалану арқылы есептелді (<https://ccrc-extremes.shinyapps.io/climpact>).

Манн-Кендалл тесті. Манн-Кендалл тесті – бұл уақыттық қатарлардың трендтерін талдау үшін кеңінен қолданылатын статистикалық параметрлік емес тест. Осы тестке сәйкес, нөлдік гипотеза H_0 трендтің жоқтығын болжайды (деректер тәуелсіз және кездейсоқ реттелген), ал бұл гипотеза альтернативті гипотеза H_1 -ге қарсы тексеріледі, ол трендтің бар екендігін болжайды. Z тест статистикасы трендтің маңыздылығының өлшемі ретінде қолданылады. Оң Z мәні өсу тенденциясын көрсетеді, сәйкесінше теріс Z мәні төмендеу тенденциясын көрсетеді [14].

Нәтижелер және оларды талқылау. Құрғақшылықтың негізгі себептері – жаһандық жылыну және климаттың өзгеруі, бұл кейбір өңірлерде аномальды жоғары температуралардың пайда болуына және атмосфералық жауын-шашынның азаюына әкеліп отыр. Оңтүстік Қазақстанда орташа жылдық температураның өсу тенденциялары артты, яғни 1950-2023 жж. ауа температурасының өзгеру қарқыны $0,18\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ жыл (Тасарық МС) және $0,53\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ жыл (Қызылорда МС) аралығын құраған (2-сурет).

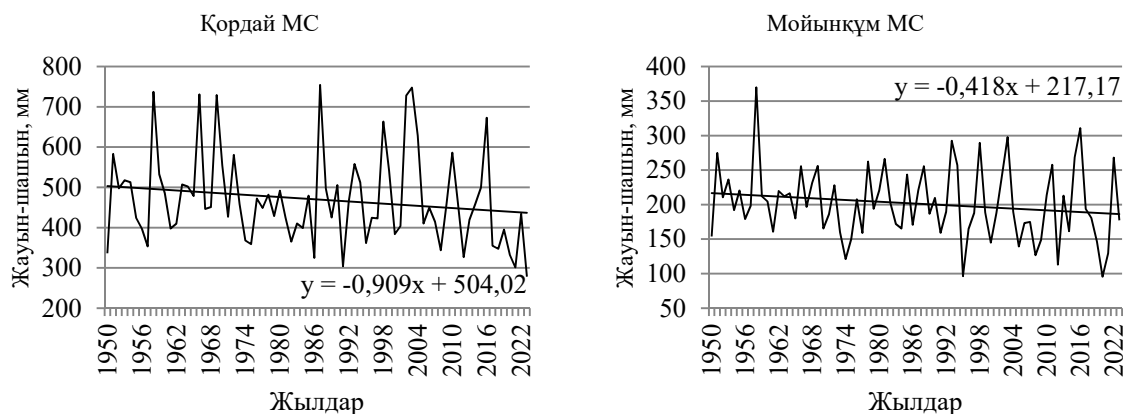


2-сурет – Оңтүстік Қазақстандағы ауа температурасының көпжылдық орташа жүрісі

Figure 2 – Long-term average trend of air temperature in Southern Kazakhstan

Атмосфералық жауын-шашынның зерттелген метеостанциялардағы сызықтық тренд коэффициенттері көпшілік метеостанцияларда елеусіз өзгерістерді сипаттайды. Жылдық жауын-шашын мөлшерінің маңызды теріс трендтері Қордай ($9,09\text{ мм}/10$ жыл) және Мойынқұм метеостанцияларында ($4,18\text{ мм}/10$ жыл) байқалды.

Сызықтық трендтің визуалды талдауы көпжылдық орташа метеорологиялық параметрлердің төмендеу немесе көтерілу тенденциясының бар екенін болжауға мүмкіндік береді. Негұрлым сенімді қорытындыларға монотонды трендтерді анықтауға арналған статистикалық әдістерді



3-сурет – Атмосфералық жауын-шашынның көпжылдық орташа жүрісі

Figure 3 – Long-term average trend of atmospheric precipitation

қолдану арқылы қол жеткізуге болады. Ауа температурасының онжылдық сырғымалы графиктерін тұрғыза отырып, қарқынды жылыну жылдарын анықтау арқылы қарастырылған уақыт аралығы екі кезеңге бөлінді: 1950-1972 және 1973-2022 жж. Екі кезеңдегі трендтің маңыздылығы Манн-Кендалл параметрлік емес тестінің Z-статистикасы бойынша жүргізілді.

Тест нәтижелеріне сәйкес, 1973-2022 жж. ауа температурасының тренді алдыңғы кезеңмен салыстырғанда әлдеқайда маңызды екені анықталды. 1950-1972 жж. керісінше кейбір айларда ауа температурасының төмендеу тенденциясы орын алған. Z-статистикасы бойынша температураның өсу тренді наурыз, мамыр және маусым айларында айқын байқалған (99 % маңыздылық дәрежесі). 1973-2022 жж. берілген аймақтағы Z-статистикасының мәндері Саудакент станциясының 2,76 және Қазығұрт станциясының 6,32 мәндері аралығында өзгерген (2-кесте). Яғни, аймақтың батыс және оңтүстік-батысындағы станцияларында ауа температурасының өсу тенденциясы қарқынды байқалған.

Z мәнінің оң болуы арту тенденциясын, ал теріс болуы төмендеу тенденциясын көрсетеді. 0,1, 0,05 және 0,001 мәнді деңгейлерінде $|Z| > 1,64$, $|Z| > 1,96$ және $|Z| > 2,58$ болған жағдайда елеулі тенденция бар деп есептеледі. Осылайша, берілген зерттеуде гипотезаны талдау үшін 90, 95 және 99% сенімділік деңгейлері қолданылды. 1950-2023 жылдар аралығындағы ауа температурасы деректері бойынша Манн-Кендалл Z-тестінің нәтижелері барлық қарастырылған станцияларда арту тенденциясының елеулі екенін көрсетті.

2-кесте – Ауа температурасының айлық және жылдық мәндері бойынша Манн-Кендалл тестінің Z-статистикасы

Table 2 – Mann-Kendall test Z-statistics for monthly and annual air temperature values

Айлар	Z-статистикасы											
	Қазалы		Қызылорда		Түркістан		Тасарық		Қазығұрт		Саудакент	
	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022
Қаңтар	0,11	1,22	-0,69	1,66	-1,24	2,00	-0,69	2,54	-0,98	3,31	-1,56	1,35
Ақпан	-0,40	2,4	-0,40	2,84	-0,32	3,00	-0,34	2,44	-0,18	2,89	-0,79	1,94
Наурыз	0,58	3,38	0,11	3,61	0,95	3,28	1,00	3,87	1,35	4,04	0,26	2,69
Сәуір	0,26	1,63	0,42	2,18	0,40	0,91	0,40	0,03	1,06	0,95	0,26	1,32
Мамыр	-0,77	2,60	-0,87	4,13	-1,48	4,13	-1,53	2,53	-0,79	3,64	-0,61	2,80
Маусым	0,53	1,65	1,51	3,75	0,03	3,24	0,00	1,36	0,79	3,67	0,42	2,15
Шілде	-0,05	0,00	-0,13	2,30	-2,04	1,38	-1,43	-0,34	-0,93	2,54	-1,77	-0,56
Тамыз	-1,22	1,62	-0,61	4,31	-1,80	2,84	-0,58	1,01	-0,13	3,56	-1,30	1,49
Қыркүйек	0,29	0,36	0,71	2,82	0,05	2,89	0,50	1,46	1,59	3,79	-1,32	0,23
Қазан	0,95	1,77	1,06	2,66	1,38	2,35	1,14	0,15	2,27	1,97	1,62	1,30
Қараша	3,04	-0,23	2,88	0,45	3,09	0,44	2,93	-0,59	3,04	0,03	2,33	-0,10
Желтоқсан	1,35	-0,97	1,19	-0,08	1,77	0,32	1,27	-0,88	1,61	0,29	0,85	-0,31
Жыл	1,06	3,70	1,16	5,44	0,95	4,89	1,19	3,60	1,77	6,32	0,32	2,76

3-кесте – Жауын-шашын мөлшерінің айлық және жылдық мәндері бойынша Манн-Кендалл тестінің Z-статистикасы

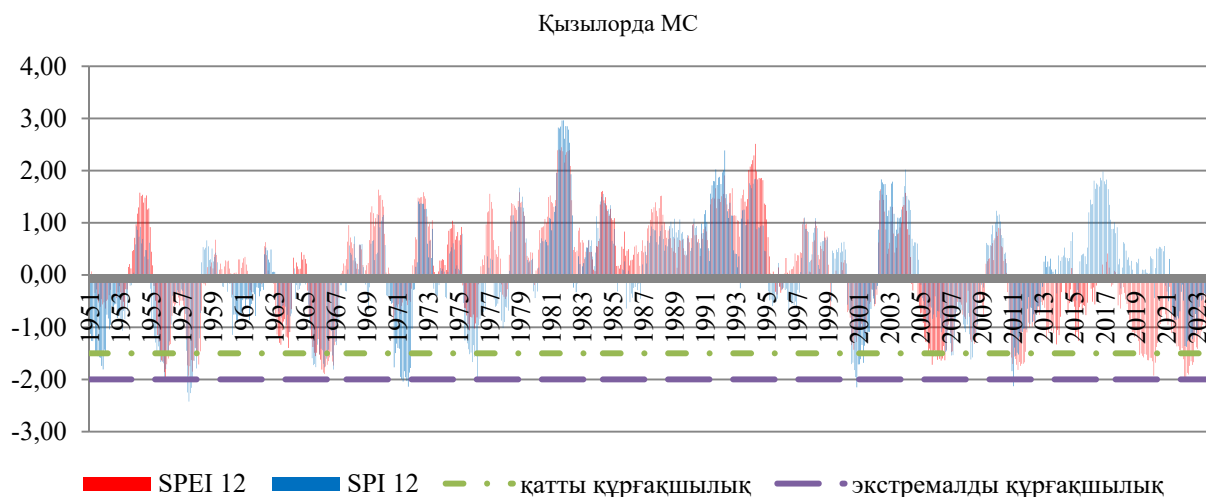
Table 3 – Mann-Kendall test Z-statistics for monthly and annual precipitation values

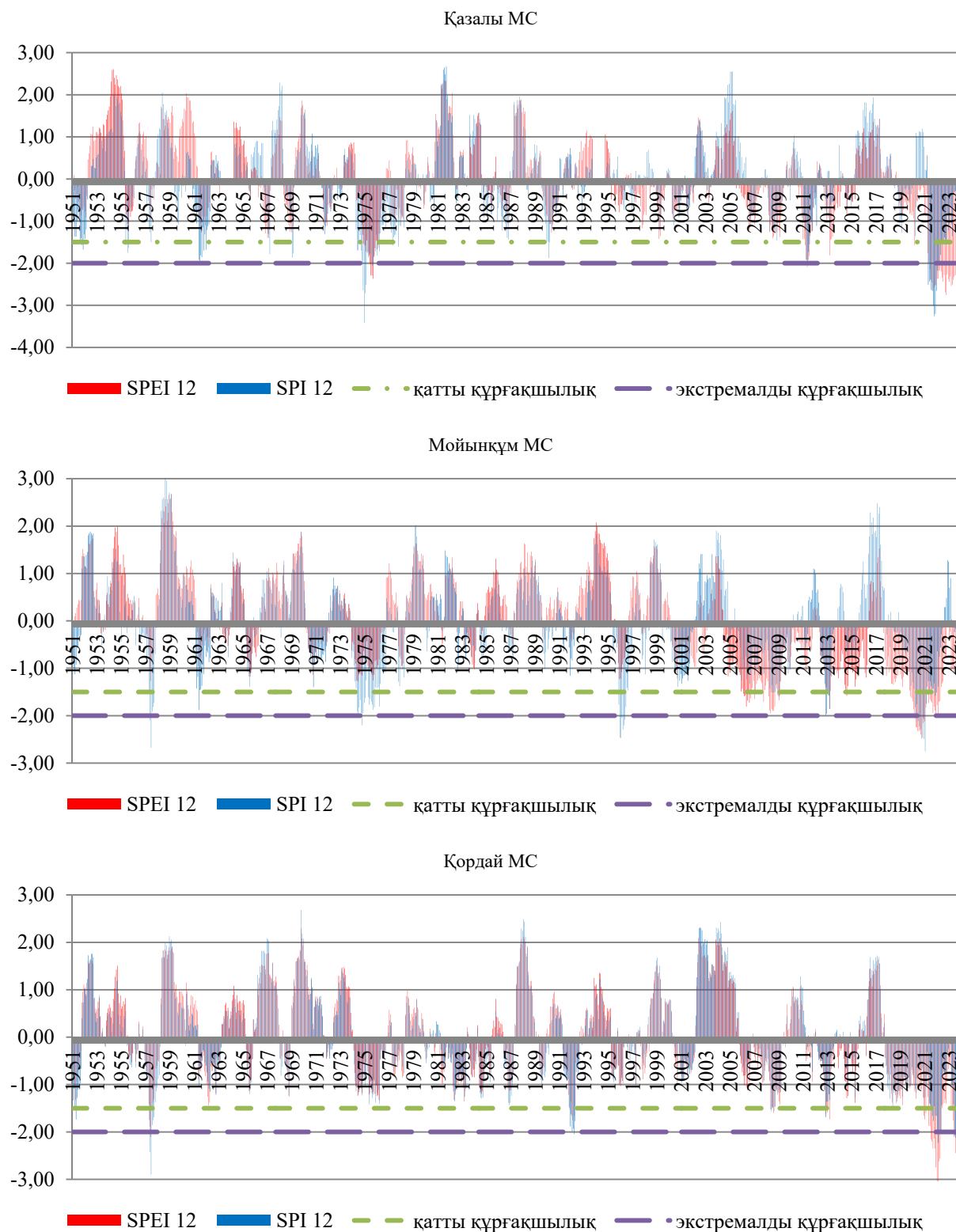
Айлар	Z-статистикасы											
	Қазалы		Қызылорда		Түркістан		Тасарық		Қазығұрт		Саудакент	
	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022	1950-1972	1973-2022
Қаңтар	0,11	-0,42	-0,82	0,23	-1,16	1,55	-0,16	-0,60	-0,50	-0,03	-0,90	2,47
Ақпан	0,05	2,0	-1,67	-0,78	-0,90	-0,39	-0,21	1,05	0,53	1,30	0,69	0,38
Наурыз	-0,50	0,10	0,98	-0,09	-0,63	1,82	0,11	1,62	0,00	1,00	-0,90	0,55
Сәуір	1,03	0,86	0,59	0,78	2,91	-0,33	2,01	0,00	0,95	0,12	1,16	-0,18
Мамыр	-0,51	0,65	-0,39	-1,79	-0,16	-1,00	1,32	-0,15	0,50	0,49	0,48	-0,62
Маусым	0,63	-0,30	-0,48	-1,00	-0,34	1,59	-1,24	2,44	-0,42	2,01	-2,09	1,51
Шілде	-1,27	0,79	-0,24	-1,42	1,60	-0,95	0,29	0,92	0,61	0,72	1,01	0,10
Тамыз	-1,23	0,21	-0,79	-2,10	1,15	1,02	-0,61	1,42	-0,50	1,76	0,03	1,75
Қыркүйек	-1,43	-1,23	0,32	-1,71	0,79	-0,69	-0,03	-0,50	0,81	0,35	0,42	-1,75
Қазан	0,79	-1,71	0,77	-2,27	0,16	0,42	1,16	-0,06	0,55	0,23	0,37	-0,09
Қараша	2,38	-0,57	0,82	-0,19	0,00	0,64	0,37	0,47	0,48	0,90	-0,08	0,63
Желтоқсан	-0,42	0,03	-0,29	-0,29	1,00	-1,03	0,95	-0,35	1,06	-0,19	2,06	-0,85
Жыл	0,00	0,28	1,11	-1,25	0,42	0,17	0,74	0,95	1,37	1,32	0,63	1,46

Құрғақшылықтың басталуы, аяқталуы және қарқындылығы метеостанциялардың тарихи деректеріне негізделген екі индекс арқылы бағаланды. SPI және SPEI көрсеткіштері теріс мәндерге жеткен кезде құрғақшылық басталады және олар оң мәндерге жеткенге дейін жалғасады. Бұл индекстердің оң мәндері ылғалды кезеңдерді көрсетеді. Мысал ретінде кейбір метеостанциялардағы SPI, SPEI индекстерінің көпжылдық динамикасы көрсетілген (4-сурет).

Берілген станцияларда SPI индексі бойынша төменгі мәндер 1957, 1975 және 2021 жылдары байқалды. Мысалы, Қызылорда метеостанциясында 1957 жылы -2,42 мәнімен, Қазалы метеостанциясында 1975 жылы -3,41 және 2021 жылы -3,26 мәндерімен, Мойынқұмда 1957 жылы -2,68 және 2021 жылы -2,75 мәндерімен, сондай-ақ Қордай метеостанциясында 1957 жылы -2,90 мәнімен экстремалды құрғақшылық орын алған. Ал SPEI теріс мәндері барлық станцияларда дерлік 2000 жылдардан бастап байқалады. Яғни SPEI индексі арқылы ауа температурасының соңғы жылдарда қарқынды өсуі салдарынан құрғақшылықтың қарқындылығы мен жиілігінің арта түскенін анық көрсетеді.

Келесі кестеде барлық метеорологиялық станцияларда байқалған орташа деңгейден экстремалды деңгейге дейінгі құрғақ жылдардың каталогы көрсетілген, яғни SPI және SPEI жылдық мәндері -1-ден төмен болған жылдар.





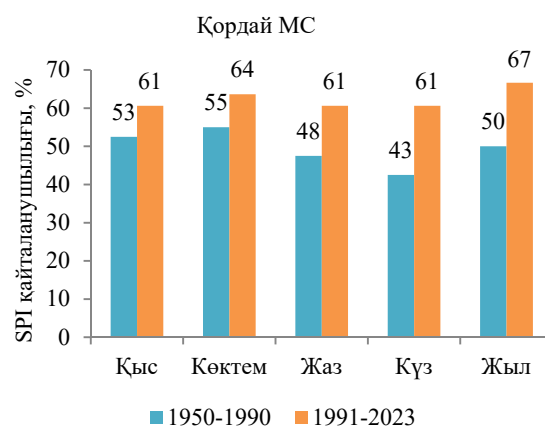
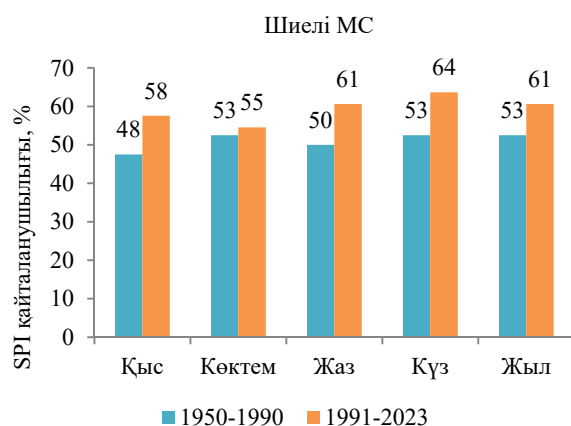
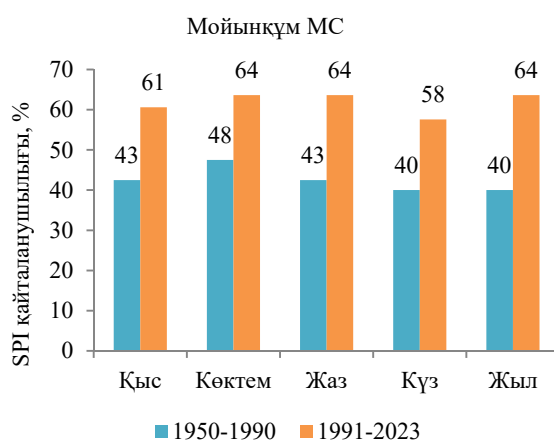
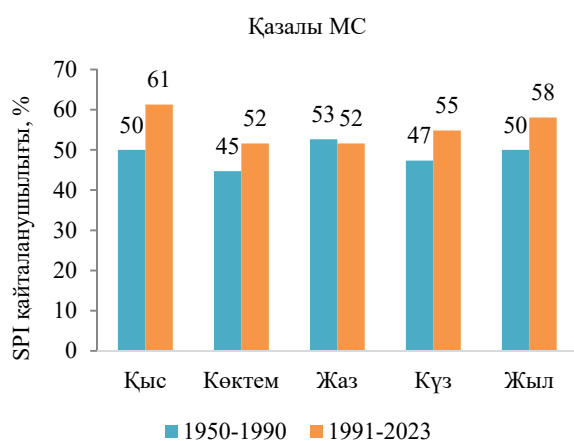
4-сурет – Оңтүстік Қазақстан метеостанцияларындағы
SPI 12 және SPEI 12 индекстерінің көпжылдық динамикасы

Figure 4 – Long-term dynamics of SPI-12 and SPEI-12 indices
at meteorological stations in Southern Kazakhstan

4-кесте – SPI және SPEI -1-ден төмен болған жылдар

Table 4 – Years with SPI and SPEI values below -1

Станциялар	SPI	SPEI
Қазалы	1951, 1961, 1974-1977, 2011, 2021, 2022	1975, 2011, 2021-2023
Қызылорда	1951, 1955, 1957, 1965, 1966, 1971, 2001, 2006, 2011, 2022	1955, 1957, 1963, 1966, 2005, 2006, 2011, 2019-2022
Жосалы	1951, 1955-1957, 1963, 2006, 2011	1955, 1956, 1966, 1975, 1979, 1980, 1986, 1995, 1999, 2000
Шиелі	1951, 1961, 1971, 1996, 2000, 2001, 2012, 2018	1996, 1997, 2000, 2001, 2008, 2011, 2018, 2021-2023
Арыс	1961, 1965, 1971, 1977, 1986, 1989, 1996, 2018, 2020, 2021	1966, 1971, 1986, 1989, 1996, 2000, 2001, 2006, 2011, 2018, 2020, 2021
Қазығұрт	1951, 1957, 1965, 1986, 1989, 1996, 2008, 2021	1951, 1955, 1957, 1961, 1962, 1966, 1975, 1984, 1986, 1989, 1995, 1996, 2008
Тасарық	1951, 1957, 1961, 1962, 1975, 1986, 2008, 2021	1957, 1961, 1975, 1986, 2001, 2008, 2011, 2021
Түркістан	1951, 1957, 1996-2000	1951, 1955, 1957, 1961, 1966, 1975, 2011
Қордай	1957, 1965, 2008, 2018, 2021-2023	1957, 2008, 2018-2023
Құлан	1957, 1965, 1983, 1991, 1996, 2008, 2012	1957, 1983, 1996, 1997, 2008, 2012
Саудакент	1951, 1961, 1965, 1975, 1976, 1983, 1989, 2008, 2020	1965, 1975, 2000, 2006, 2008, 2013, 2018, 2020, 2022
Мойынқұм	1957, 1961, 1974, 1975, 1996, 2008, 2020, 2021	2006-2008, 2013, 2014, 2018-2022

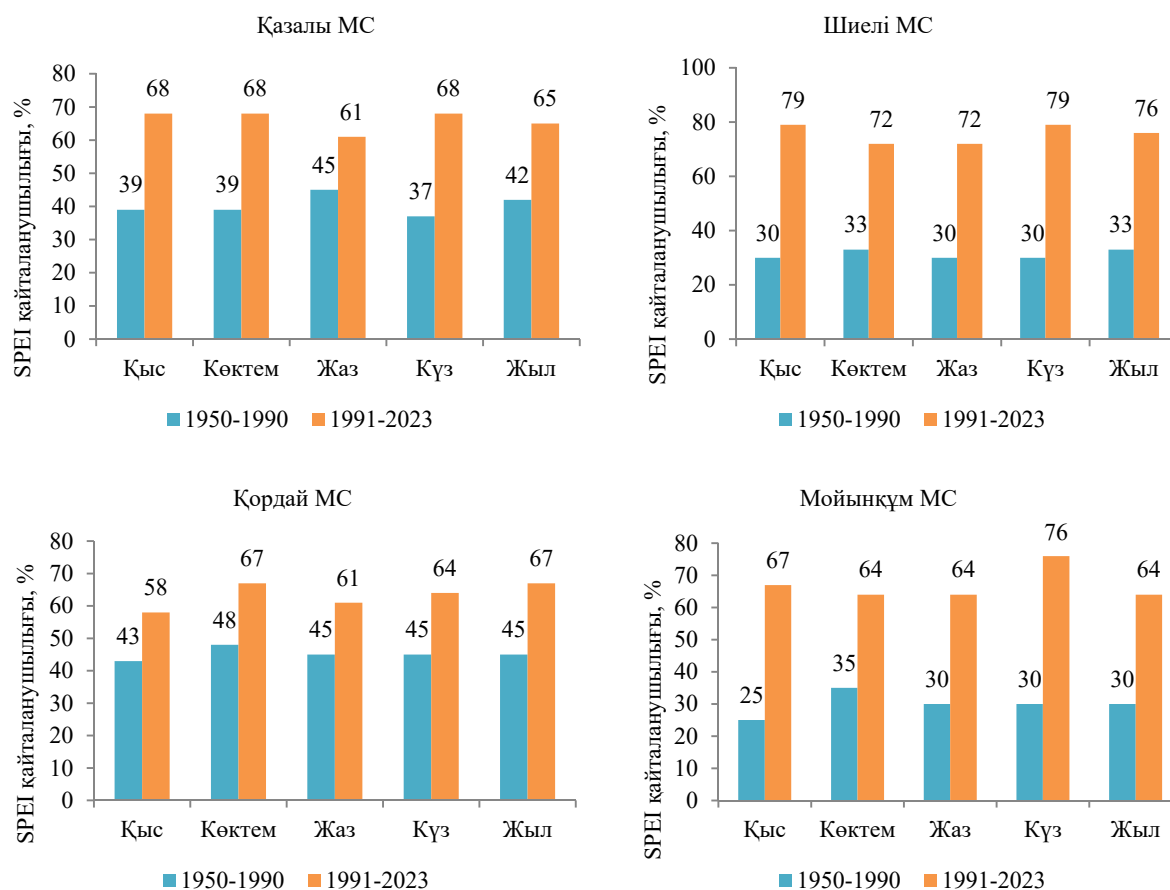


5-сурет – Оңтүстік Қазақстан станцияларындағы SPI индексінің маусымдық қайталанушылығы

Figure 5 – Seasonal recurrence of the SPI index at stations in Southern Kazakhstan

Кесте мәліметтеріне сәйкес барлық станциялардан 1950-1960 жылдардағы құрғақшылық кезеңін байқауға болады. Сонымен қатар, 1990-жылдардан кейін қатты және экстремалды құрғақшылық кезеңдері байқалады, әсіресе аймақта 1999-2000 жж., 2008-2009 жж. және 2021-2022 жж. экстремалды құрғақшылықтар тіркелген. SPEI индексі бойынша құрғақшылық санының көп болуының себебі – жоғары температуралардың буланудың қарқынын арттыруы, бұл өз кезегінде құрғақшылықтардың жиілеуіне және күшеюіне әкеледі.

SPI және SPEI индекстері бойынша қарастырылып отырған метеостанциялар үшін 1950-1990 және 1991-2023 жылдар кезеңінің әр мезгіліне қатысты құрғақшылық жиілігі есептелді және төмендегі суреттерде (5, 6-суреттер) көрсетілген.



6-сурет – Оңтүстік Қазақстан станцияларындағы SPEI индексінің маусымдық қайталанушылығы

Figure 6 – Seasonal recurrence of the SPEI index at stations in Southern Kazakhstan

1950–1990 жылдармен салыстырғанда 1991–2023 жылдары қарастырылған аймақта SPI индексінің қайталанушылығының артуы байқалады. Екі кезеңді салыстырсақ, 1991-2023 жж. көктемгі және жазғы маусымдарда қарастырылған метеостанциялардың көпшілігінде құрғақшылық жиілігі 1950-1990 жж. салыстырғанда 2-3 есе өскен. Мезгілдер бойынша құрғақшылықтың артуы Қордай және Шиелі станцияларында жаз бен күз уақытына, Мойынқұм станциясында көктем және жаз айларына сәйкес келеді. Ал Қазалы станциясында керісінше жаз мезгілінде аздап төмендеу байқалады. Жылдық орташа мәндер бойынша да барлық станцияларда SPI индексінің қайталанушылығы артты, ең үлкен өсім Мойынқұмда тіркелді (40 %-дан 64 %-ға дейін). Жалпы, зерттелген кезеңде барлық станцияларда құрғақшылықтың қайталанушылығының артуы байқалып, бұл климаттың өзгеруінің айқын белгісі ретінде қарастырылуы мүмкін.

SPEI индексі бойынша да екі кезеңді салыстыра отырып соңғы уақытта құрғақшылықтың қарқынды қайталануын байқауға болады. Алынған мәліметтер қазіргі кезеңде құрғақшылықтың қайталану жиілігі 60-70 %-ға дейін артқанын көрсетеді. Әсіресе, Шиелі және Мойынқұм станцияларында айтарлықтай өсім орын алады.

Қорытынды. Осы зерттеудің нәтижелері 1950-2023 жылдар аралығында Оңтүстік Қазақстан аймағында ауа температурасының айтарлықтай статистикалық өсуін көрсетеді, яғни ауа температурасының өсу қарқыны $0,18-0,53$ °C/10 жыл шегінде екені анықталды. Құрғақшылықтың жиілігі мен қарқындылығының өзгеруі осы мәселенің маңызды аспектісі болып табылады. Бұл зерттеудің негізгі мақсаты – климаттық өзгерістердің Оңтүстік Қазақстан аймағындағы құрғақшылықтың қарқындылығы мен жиілігіне әсерін стандартталған жауын-шашын индексі (SPI) және булануды есепке алатын индекс (SPEI) көмегімен бағаланды. SPEI индексі су теңгерімінің өзгерістеріне неғұрлым сезімтал екені анықталды, себебі ол жауын-шашынның әсерін ғана есепке алатын SPI индексіне қарағанда, атмосфералық жауын-шашын мен буланудың әсерін бірге қарастырады. SPEI деректері бойынша, 1990 жылдардан кейін құрғақшылық кезеңдерінің қарқындылығы мен жиілігінің SPI деректеріне қарағанда артуы байқалады. Жалпы екі индекс бойынша да 2019 жылдан бастап құрғақшылықтың қатты және экстремалды деңгейлері тіркеліп келеді.

Қаржыландыру. Бұл ғылыми зерттеу «Жасыл даму контекстінде Батыс Қазақстан өңірінің табиғи-шаруашылық және әлеуметтік-экономикалық жүйелерінің тұрақты дамуы: кешенді талдау, тұжырымдама, болжамдық бағалау және сценарийлер» 1-кіші бағдарлама «Батыс Қазақстан облысының табиғи-шаруашылық жүйелерінің дамуының негізгі факторы ретінде табиғи-ресурстық әлеуетті бағалау» 1.1.3 тапсырма: «Шет елдерде (бірінші кезекте АҚШ, Қытай), сондай-ақ отандық қолданыстағы климаттық әлеуетті бағалаудың (температура, жауын-шашын) әдістерін талдау, алынған мәліметтерді жүйелеу» 1.1.4 тапсырма: «Қазақстанның климаттық белдеулері мен рельефтерінің әртүрлілігін ескере отырып, оның климаттық әлеуетін бағалау әдістемесін әзірлеу» аясында BR21882122 бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру негізінде жасалды.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Дүниежүзілік метеорологиялық ұйым. 2022 жылғы жаһандық климат жағдайы. – Женева: ДМҰ, 2023.
- [2] Қазақстан Республикасының Климаттың Өзгеруі туралы БҰҰ Негіздемелік Конвенциясы бойынша 8-ші Ұлттық хабарламасы және 5-ші екіжылдық есебі. – Астана, 2022. – 491 б.
- [3] Mukherjee S., Mishra A., Trenberth K.E. Climate Change and Drought: A Perspective on Drought Indices // Curr. Clim. Chang. Rep. – 2018. – Vol 4. – P. 145-163.
- [4] Niranga A. Mahesh E. A comprehensive assessment of remote sensing and traditional based drought monitoring indices at global and regional scale // Geomatics, Natural Hazards and Risk. – 2022. – Vol. 13, No. 1. – P. 762-799. – DOI: 10.1080/19475705.2022.2044394.
- [5] Isia I., Hadibarata T., Jusoh M.N.H., Bhattacharjya, R.K., Shahedan N.F., Bouaissi A., Fitriyani N.L., Syafrudin M. Drought Analysis Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index and Standardized Precipitation Index in Sarawak, Malaysia // Sustainability. – 2023. – Vol. 15. Article 734. <https://doi.org/10.3390/su15010734>.
- [6] Wilhite D.A. Drought as a natural hazard: concepts and definitions // Wilhite D.A. ed. Droughts: Global Assessment. – London: Routledge, 2000. – P. 3-18.
- [7] Dai A. Drought under global warming: A review // Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. – 2011. – Vol. 2. – P. 45-65 <https://doi.org/10.1002/wcc.81>.
- [8] Zhang T., Su X., Zhang G., Wu H., Wang G., & Chu J. Evaluation of the impacts of human activities on propagation from meteorological drought to hydrological drought in the Weihe River Basin, China // Science of the Total Environment. – 2022. – Vol. 819. Article 153030 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153030>.
- [9] Zargar A., Sadiq R., Naser B., Khan F.I. A review of drought indices // Environmental Reviews. – 2011. – Vol. 19. – P. 333-349.
- [10] Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index // J. Climate. – 2010. – Vol. 23. – P. 1696-1718.
- [11] Dubey S.K., Sharma D. Spatio-Temporal Trends and Projections of Climate Indices in the Banas River Basin, India // Environmental Processes. – 2018. – Vol. 5. – P. 743-768.
- [12] Оңтүстік Қазақстанның шаруашылық географиясы [Электрондық ресурс]. – URL: https://el.kz/content-5164_4419/.
- [13] Стандартталған жауын-шашын индексі. Пайдаланушы нұсқаулығы. № 1090. – Женева: ДМҰ, б.ж. – 18 б.
- [14] Blain G.C. Removing the influence of the serial correlation on the Mann–Kendall test // Rev. Bras. Meteorol. – 2014. – Vol. 29. – P. 161-170.

REFERENCES

- [1] World Meteorological Organization. Global Climate Overview for 2022. Geneva: WMO, 2023. (in Kaz.).
- [2] The Eighth National Communication and Fifth Biennial Report of the Republic of Kazakhstan under the UN Framework Convention on Climate Change. Astana, 2022. 491 p. (in Kaz.).
- [3] Mukherjee S., Mishra A., Trenberth K.E. Climate Change and Drought: A Perspective on Drought Indices. *Curr. Clim. Chang. Rep.* 2018. Vol. 4. P. 145-163.
- [4] Niranga A. Mahesh E. A comprehensive assessment of remote sensing and traditional based drought monitoring indices at global and regional scale, *Geomatics, Natural Hazards and Risk.* 2022. Vol. 13, No. 1. P. 762-799. DOI: 10.1080/19475705.2022.2044394.
- [5] Isia I., Hadibarata T., Jusoh M.N.H., Bhattacharjya R.K., Shahedan N.F., Bouaissi A., Fitriyani N.L., Syafrudin M. Drought Analysis Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index and Standardized Precipitation Index in Sarawak, Malaysia // *Sustainability.* 2023. Vol. 15. Art. No. 734. <https://doi.org/10.3390/su15010734>
- [6] Wilhite D.A. Drought as a natural hazard: concepts and definitions // Wilhite D.A. ed. *Droughts: Global Assessment* // London: Routledge, 2000. P. 3-18.
- [7] Dai A. Drought under global warming: A review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change.* 2011. Vol. 2. P. 45-65. <https://doi.org/10.1002/wcc.81>
- [8] Zhang T., Su X., Zhang G., Wu H., Wang G., & Chu J. Evaluation of the impacts of human activities on propagation from meteorological drought to hydrological drought in the Weihe River Basin, China // *Science of the Total Environment.* 2022. Vol. 819. Art. No. 153030. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153030>
- [9] Zargar A., Sadiq R., Naser B., Khan F.I. A review of drought indices // *Environmental Reviews.* 2011. Vol. 19. P. 333-349.
- [10] 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. Vol. 23. P. 1696-1718.
- [11] Dubey S.K., Sharma D. Spatio-Temporal Trends and Projections of Climate Indices in the Banas River Basin, India // *Environmental Processes.* 2018. Vol. 5. P. 743-768.
- [12] Economic Geography of South Kazakhstan [Electronic resource]. URL: https://el.kz/content-5164_4419/ (in Kaz.).
- [13] Standardized Precipitation Index. User Guide. WMO, No. 1090. 18 p. (in Kaz.).
- [14] Blain G.C. Removing the influence of the serial correlation on the Mann–Kendall test. *Rev. Bras. Meteorol.* 2014. Vol. 29. P. 161-170.

Э. К. Талипова¹, А. С. Нысанбаева², А. А. Тұрсынбай^{3*}

¹ PhD (АО «Институт географии и водной безопасности», КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; elmira_280386@mail.ru)

² К. г. н., доцент (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; ayman.nysanbaeva@kaznu.edu.kz)

^{3*} Магистрант (КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; ayazhan.0200@bk.ru)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ И ЧАСТОТУ ЗАСУХ В ЮЖНОМ КАЗАХСТАНЕ

Аннотация. Изменение климата становится всё более серьёзной угрозой для регионов с жарким и засушливым климатом, включая Южный Казахстан. В последние десятилетия в этом регионе наблюдаются повышение средней годовой температуры, снижение количества осадков и учащение засух. Эти процессы негативно влияют на сельское хозяйство, водные ресурсы и экосистемы, создавая угрозу экономической и продовольственной безопасности. Засуха приводит к снижению урожайности, деградации почв и увеличению дефицита воды, что усугубляет проблему опустынивания.

Исследуются засушливые условия в Южном Казахстане с учётом изменения климата и его влияния на интенсивность и частоту засух. Основная цель – проведение анализа интенсивности и частоты засух с 1950 по 2023 год с использованием стандартных индексов осадков (SPI) и показателей осадков и испаряемости (SPEI), то есть температуры воздуха. Для анализа использовались долгосрочные данные о температуре воздуха и количестве осадков. Кроме того, для оценки тенденций изменения климата и характеристик засух применялся тест Манна-Кендалла.

Ключевые слова: изменение климата, засуха, температура воздуха, атмосферные осадки, стандартизированный индекс осадков, тест Манна-Кендалла.

E. K. Talipova¹, A. S. Nyssanbayeva², A. A. Tursynbay^{*3}

¹ PhD (JSC "Institute of Geography and Water Security", Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *elmira_280386@mail.ru*)

² Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *ayman.nysanbaeva@kaznu.edu.kz*)

^{3*} Master's student (Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; *ayazhan.0200@bk.ru*)

**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE
ON THE INTENSITY AND FREQUENCY OF DROUGHTS
IN THE SOUTHERN KAZAKHSTAN**

Abstract. Climate change poses an increasing threat to regions with hot and arid climates, such as the Southern Kazakhstan. In recent decades, this area has experienced rising average annual temperatures, declining precipitation, and more frequent droughts. These changes adversely affect agriculture, water resources, and ecosystems, posing serious risks to both economic and food security. Droughts result in reduced crop yields, soil degradation, and heightened water scarcity, thereby accelerating desertification processes.

This study investigates drought conditions in the Southern Kazakhstan in the context of climate change, focusing on changes in drought intensity and frequency. The primary objective is to analyze drought trends from 1950 to 2023 using the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), which incorporates temperature data. Long-term records of precipitation and air temperature were used, and the Mann-Kendall test was applied to identify trends in climate variables and drought characteristics.

Keywords: climate change, drought, air temperature, atmospheric precipitation, Standardized Precipitation Index (SPI), Mann-Kendall test.