



Ғылыми мақала

## ЖАЙЫҚ-КАСПИЙ СУ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛАБЫНДАҒЫ КӨКТЕМГІ СУ ТАСҚЫНЫ АҒЫНДЫСЫН БАҒАЛАУ: ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ ЖӘНЕ СЦЕНАРЛЫҚ БОЛЖАМЫ

Саят К. Алимкулов<sup>1</sup> г.ғ.к., қауымдастырылған профессор , Ляззат К. Махмудова<sup>1</sup> г.ғ.к.,  
қауымдастырылған профессор , Эльмира К. Талипова<sup>1,2</sup> PhD , Жанибек Ж. Смагулов<sup>1</sup> ,  
Ақгүлім М. Сайлаубек<sup>1,2\*</sup> 

<sup>1</sup>«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; [sayat.alimkulov@mail.ru](mailto:sayat.alimkulov@mail.ru) (СКА), [mlk2002@mail.ru](mailto:mlk2002@mail.ru) (ЛКМ),  
[elmira\\_280386@mail.ru](mailto:elmira_280386@mail.ru) (ЭКТ), [zh.zh.smagulov@mail.ru](mailto:zh.zh.smagulov@mail.ru) (ЖЖС), [gulima97life@gmail.com](mailto:gulima97life@gmail.com) (АМС)

<sup>2</sup> әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; [elmira\\_280386@mail.ru](mailto:elmira_280386@mail.ru) (ЭКТ), [gulima97life@gmail.com](mailto:gulima97life@gmail.com) (АМС)

Автор корреспонденг: Ақгүлім М. Сайлаубек, [gulima97life@gmail.com](mailto:gulima97life@gmail.com)

### ТҮЙІН СӨЗДЕР

максималды ағынды,  
көктемгі су тасқыны,  
өзен ағындысының  
трансформациясы,  
сценарийлік болжау,  
СМІР6

### АБСТРАКТ

Зерттеу жұмысында Жайық-Каспий су шаруашылығы алабындағы көктемгі су тасқыны ағынды сипаттамалары қазіргі кезең үшін кешенді түрде талданып, 2030, 2040 және 2050 жылдарға арналған болжамды өзгерістері СМІР6 климаттық сценарийлері (SSP3-7.0 және SSP5-8.5) негізінде жасалды. 34 гидрологиялық бекетте жүргізілген бақылау деректерін талдау нәтижесі көктемгі ағынды көлемінің 35 % азайғанын, су тасқыны ұзақтығының қысқарғандығын және жекелеген өзендерде максималды су өтімінің 45 % дейін төмендегенін көрсетті. Ауа температурасының жоғарылауы, жылымықтардың жиілеуі және күзгі ылғалданудың азаюы максималды су өтімінің төмендеуіне және ағындының маусымдық ағынды режимінің қайта бөлінуіне алып келетіні анықталды. Сценарийлік болжамдар айқын түрде кеңістіктік әртекстілікті көрсетті – кейбір өзендерде максималды су өтімінің 72 % дейін ұлғаюы күтілсе, ал біршама өзендерде су өтімінің 35 % дейін тұрақты төмендеуі байқалады. Алынған нәтижелер, су ресурстарын басқаруда өзен алаптарының аймақтық ерекшеліктерін, кіші және орта өзендердің климаттық өзгерістерге сезімталдығын ескеретін адаптивті суды басқару жүйесіне көшу қажеттігін көрсетеді.

### Мақала жайында:

Жіберілді: 30.09.2025  
Қайта қаралды: 06.10.2025  
Қабылданды: 06.10.2025  
Жарияланды: 08.10.2025

### Дәйексөз үшін:

Алимкулов С., Махмудова  
Л., Талипова Э., Смагулов Ж.,  
Сайлаубек А. Жайық-Каспий  
су шаруашылығы  
алабындағы көктемгі су  
тасқыны ағындысын бағалау:  
қазіргі жағдайы және  
сценарлық болжамы // *Гидрометеорология и  
экология*, 119 (4), 2025, 95-  
109.

### 1. КІРІСПЕ

Климаттық тұрақсыздық жағдайында өзендердің су тасқыны ағындысының қазіргі заманғы өзгерістерін бағалау және оны сценарлық болжау қазіргі гидрологияның негізгі міндеттерінің бірі болып табылады. Жайық-Каспий су шаруашылығы алабы (США) сынды жартылай құрғақ аумақтарда жылдық ағындының негізгі үлесін (80...90 % дейін) су тасқыны ағындысы құрайды және салыстырмалы түрде қысқа көктемгі кезеңге келеді [1]. Ағындының маусымдық әртекстілігі аумақтың климаттық өзгерістерге осалдығын күшейте отырып, су тасқыны мен су тасуы сынды қауіптерді басқару кезінде ескеруді талап етеді.

Ресей аумағында климаттың өзгеруінен туындаған өзен ағындысының тербелісін зерттеу жұмыстары (Frolova, 2017; Wang, 2022; Медведев, 2023) [2-4] жылдық ағынды бойынша айтарлықтай ұзақ мерзімді үрдістерді анықтамағанымен, соңғы онжылдықта ағындының жыл ішілік маусымдық таралуы елеулі өзгеріске ұшырағанын көрсетті. Атап айтқанда, қысқы сабалық кезеңдегі ағынды көлемі айтарлықтай артты. Қысқы ағындының артуы жылымықтардың жиілеуімен байланысты болып, қысқы сабалық кезеңде су тасқындарының жиі көрініс беруіне алып келді. Ал, көктемгі ағынды мен қардың еруінен туындайтын тасқындар көктем

алдындағы қардағы су қорының азаюына байланысты қысқарды. Маусымдық ағынды трансформациясының осыған ұқсас ерекшеліктері Ресей аумағындағы Жайық өзені алабында да байқалады. Көпжылдық өзгергіштікті талдау нәтижелері көктемгі су тасқыны ағындысының азаюын және қысқы ағындының бір мезгілде ұлғаю тенденциясын анық көрсетеді [5]. Сивохип Ж.Т. [6] ғылыми зерттеу жұмысында Жайық өзенінің алабында ағындының жыл ішілік таралуы трансформациясының қазіргі заманғы үрдісі байқалады: сабалық кезеңнің үлесі (әсіресе қысқы) артып, көктемгі су тасқынының үлесінің азайғанын алға тартады. Мұндай маусымдық өзгерістер гидрологиялық тұрақсыздықты күшейтіп, экстремалды су тасқындарының пайда болу ықтималдығын арттырады. Айқын мысал ретінде 2024 жылдың көктем маусымында орын алған Жайық өзені алабындағы су тасқыны жағдайын атауға болады [7...8]. Danilovich I.S. және Laiskhanov S. [9...10] ғылыми зерттеулері климаттық жағдайлардың өзгеруіне байланысты ағындының экстремалды мәндері күшейетінін растайды, бұл өзгерістерге қардың ерте еруі, қысқы жауын-шашынның артуы және ауа температурасының көтерілуі жатады. Аталған процесстер су тасқыны мен құрғақшылық қауіптерін күшейтіп, су ресурстарын нақтырақ сценарийлік болжауға көшу қажеттілігін туындатады. Бұл ретте жаңа буынның климаттық модельдерін, соның ішінде CMIP6 үлгілерін пайдалану маңыздылығы артуда.

CMIP6 ансамбльдерін қолдана отырып, су тасқыны ағындысын сценарийлік болжау тек қана климаттық тенденцияларды ғана емес, сонымен қатар әлеуметтік-экономикалық траекториялар мен парниктік газдардың шығарындыларына байланысты кең ауқымды тұрақсыздықтарды да ескеруге мүмкіндік береді [11...13]. CMIP6 түрлі әлеуметтік-экономикалық даму сценарийлері жағдайында, климаттық параметрлерді талдаудың кең мүмкіндіктерін ұсынады - орташа деңгейдегі (SSP1) сценарийден бастап жоғары эмиссиялық (SSP5) сценарийге дейін. Дегенмен, ғаламдық климат модельдерінің (GCM) нәтижелерін белгілі бір аумаққа бейімдеу үшін түзету әдістерін қолдану қажет, өйткені бұл модельдердің кеңістіктік ажыратылымдылығы салыстырмалы түрде төмен және олар ағынды қалыптасуының жергілікті ерекшеліктерін ескере бермейді [14]. Осыған байланысты атмосфера мен мұхиттың жалпы циркуляциясының модельдерін (АМЖЦМ) динамикалық даунскейлинг (масштабты төмендету әдісі) жасау күрделі орография мен климаттық процесстердің жоғары кеңістіктік әртектілігі жағдайында аумақтық климаттық проекциялардың дәлдігін арттыруға арналған аса маңызды құрал болып табылады. Динамикалық даунскейлинг барысында белгілі бір жүйелі қателіктердің болуына қарамастан, ол физикалық тұрғыдан үйлестірілген аумақтық бағалауларды қамтамасыз етеді және климаттық айнымалылардың толық спектрін жоғары дәрежеде дәл сипаттайтын сапалы климаттық деректерді алуға мүмкіндік береді.

Қазіргі таңда халықаралық климаттық деректер қорының ішінде тек қана сектораралық ықпал модельдерін салыстыру жобасы (ISIMIP) (<https://www.isimip.org/>) Орталық Азия аумағы үшін CMIP6 сценарийлері негізінде динамикалық даунскейлингтен өткен модельдеу нәтижелерін ұсынады. Осы бастама аясында CMIP6 климаттық модельдері, аумақтың орографиясы мен климаттық жағдайлардың ерекшеліктерін ескере отырып қосымша калибрленді, бұл қарастырылып отырған зерттеу ауданы үшін шынайы әрі қолданбалы бағалауларды қамтамасыз етеді.

Жайық–Каспий алабының қазақстандық бөлігіндегі климаттың болашақтағы өзгерістерін бағалау үшін үш жалпы әлеуметтік-экономикалық жол (SSP) шеңберінде ISIMIP жобасының үшінші фазасындағы жоғары ажыратылымдықтағы (0.25×0.25) және динамикалық төмендетілген CMIP6 климаттық модельдері, атап айтқанда SSP3-7.0 және SSP5-8.5 сценарийлері пайдаланылды, олар базалық сценарийлер болып табылады: халықтың өсуі, технологиялық прогресс, экономикалық даму, урбанизация

және денсаулық сақтау, білім беру, жерді пайдалану және энергетикалық инвестицияларға негізделген болашақ жолдарды сипаттайды [15].

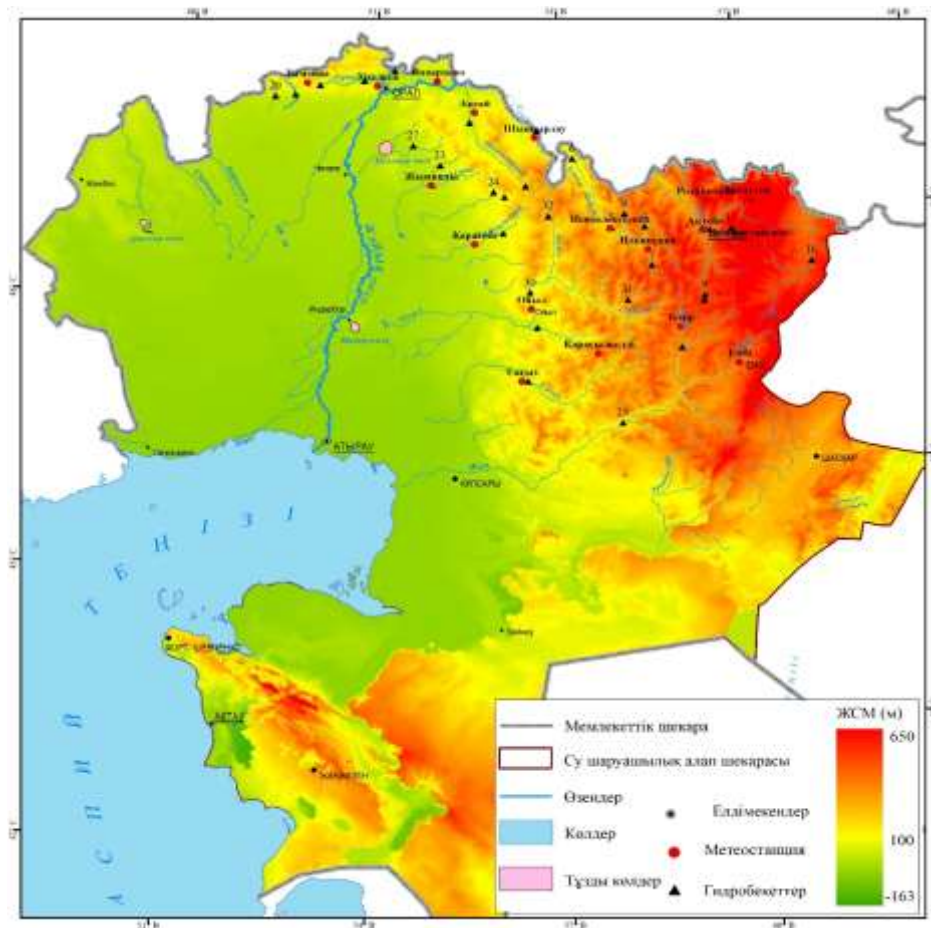
Жайық–Каспий США өзендерінде көктемгі су тасқыны ағындысының қалыптасуы көптеген климаттық, географиялық және антропогендік факторларға тәуелді. Бұл факторлардың рөлін анықтау, бұрын болған және болашақта мүмкін болатын гидрологиялық өзгерістердің шығу тарихын түсіну үшін, сондай-ақ олардың жағымсыз салдарын азайтуға бағытталған іс-шараларды қолдану үшін аса маңызды болып табылады. Зерттеу жұмысының мақсаты - Жайық-Каспий алабы өзендеріндегі көктемгі су тасқыны ағындысының қазіргі заманғы өзгеру тенденцияларын анықтау, сондай-ақ болашақ климаттық өзгерістер жағдайында оның мүмкін болатын трансформациясының сценарийлік болжамды бағаларын алу болып табылады. Сценарийлік болжам үш уақыттық көкжиекте жүргізілді: 2030 жыл (2026...2035 жж.), 2040 жыл (2036...2045 жж.) және 2050 жыл (2046...2055 жж.). Базалық кезең ретінде 1991...2020 жж. таңдалды.

## 2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

### *Зерттеу ауданы*

Жайық-Каспий су шаруашылығы алабының аумағында өзен желісінің таралу ерекшеліктері оңтүстік-батысында Каспий теңізінің, ал солтүстік-шығыста – Оңтүстік Орал таулы жоталарының орналасуымен айқындалады. Осыған байланысты өзендер жалпы ағу бағытын солтүстік-шығыстан оңтүстік-батысқа қарай қалыптастырады. Қарастырылып отырған алап аумағында жүзден астам өзендер (уақытша тоғандар) бар, олардың ішінде ұзындығы 200 км-ден асатын 12 өзен кездеседі. Негізгі өзен – Жайық, оның жалпы ұзындығы 2534 км. Өзен Ресей Федерациясы аумағында қалыптасып, бастауын Оңтүстік Оралдан алып, Каспий теңізіне құяды, Қ

азақстан Республикасы аумағындағы өзен ұзындығы 1084 км құрайды (1 сурет) [16].



**Сурет 1. Жайық-Каспий су шаруашылық алабының метеорологиялық станциялары мен гидробекеттерінің орналасу картасы**

Зерттеу әдістері мен материалдары. Зерттеу жұмысында Жайық-Каспий США өзендерінің көктемгі су тасқыны ағындысының өзгерістерін талдау үшін 34 гидрологиялық бақылау бекетінен алынған ресми гидрологиялық деректер және 17 метеорологиялық станциядан жиналған ауа температурасы мен атмосфералық жауын-шашын бойынша метеорологиялық деректер пайдаланылды. Бастапқы материалдар аспаптық өлшеулердің 2022 жылды қоса алғандағы барлық кезеңін қамтиды. Барлық деректер <https://www.kazhydromet.kz/ru/gidrologiya> ресми сайтында орналастырылған «Қазгидромет» РМК ашық дереккөздерден алынды.

Көктемгі су тасқынының жүрісін талдау үшін негізгі параметрлер бойынша жыл сайынғы деректері пайдаланылды: көктемгі ағынды көлемі, максималды су өтімі, су тасқынының басталу және аяқталу күндері, сондай-ақ оның ұзақтығы. Деректерді өңдеу екі уақыттық кезең үшін жүргізілді: аспаптық бақылаулардың басталуынан 1973 жылға дейінгі (аралық) және қазіргі кезең 1974 жылдан 2022 жылға дейін.

Зерттеу барысында табиғи немесе шартты-табиғи режимдегі келесі гидрологиялық біртекті аудандар бойынша бар деректер пайдаланылды:

- Жайық өзенінің сол жағалау салалары (Ор, Елек, Үлкен Қобда, Шыңғырлау, Қарғалы, Қосестек, Ақтасты және т.б.);
- Жалпы Сырт қыратының батыс бөлігіндегі өзендер (Шаған, Деркөл, Шыжын 1, Шыжын 2);
- Орал алды үстіртінің оңтүстік бөлігіндегі өзендер (Өлеңті, Көпіраңқаты, Бұлдырты, Шидерті);
- Оңтүстік өзендер (Ойыл, Сағыз, Жем).

Көктемгі су тасқыны ағындысының ұзақ мерзімді сценарийлік болжамдарын зерттеуде CMIP6 климаттық модельдері пайдаланылды. ISIMIP проекциясында 6-фазалы (CMIP6) үлгілерді сәйкестендіру жобасының «басымдық берілген» деп анықталған 5 моделіне негізделген деректер жиынтығы қолданылады [17], бұл өз кезегінде әртүрлі климаттық сезімталдықты ескере отырып, климаттық әсерді модельдеуге арналған проекциялардың алуан түрлі жиынтығын ұсынуға мүмкіндік береді.

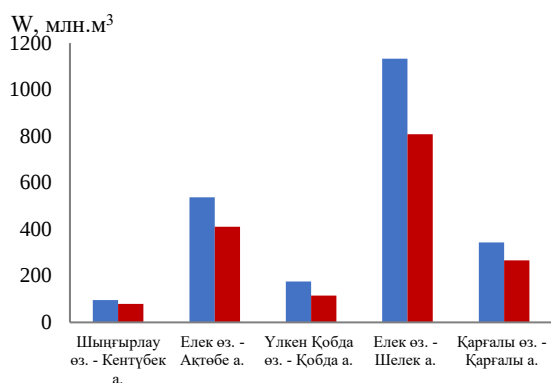
Гидрометеорологиялық есептеулер мен статистикалық талдау MS Excel және Statistica стандартты пакеттерін пайдалана отырып жүргізілді. Бақылау қатары толық емес гидробекеттерде бақылау қатарлары гидрологиялық аналогия әдісімен қалпына келтірілді (қысқа бақылау кезеңі және репрезентативті емес деректер болған жағдайда бақылау қатарлары репрезентативті кезеңге келтірілді). Уақыттық қатарларды талдау барысында су тасқыны ағындысының ұзақ мерзімді өзгеру тенденциялары ең кіші квадраттар әдісі [18...19] арқылы анықталды. Статистикалық талдау негізінде максималды ағынды мен климаттық айнымалылар арасындағы тәуелділіктер сызықтық және көптік регрессия әдістері арқылы анықталып, болашақтағы өзгерістеріне сценарийлік болжамы жасалынды.

### **3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ**

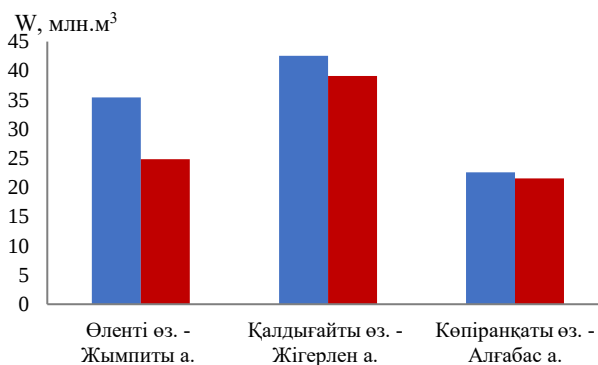
*Көктемгі су тасқыны сипаттамаларының қазіргі заманғы өзгерісі.*

Көктемгі су тасқыны көлемі - су тасқыны кезіндегі өзендегі жалпы су өтімін сипаттайтын негізгі көрсеткіш болып табылады. Зерттеліп отырған алап өзендерінің көктемгі су тасқыны ағындысының көпжылдық өзгерістері айқын кеңістіктік айырмашылықтарымен ерекшеленеді. Қазіргі кезеңде 1974...2022 жж., іс жүзінде барлық аумақ бойынша көктемгі су тасқыны көлемінің азаюы көрініс береді. Жайық өзенінің сол жағалау салалары 1974...2022 жж. кезеңде ағынды көлемінің ең үлкен қысқаруымен сипатталады, 1973 жылғы дейінгі кезеңмен салыстырғанда орташа қысқару 20...30 % құрайды. Көктемгі ағынды көлемінің ең анық азаю көрінісі Үлкен

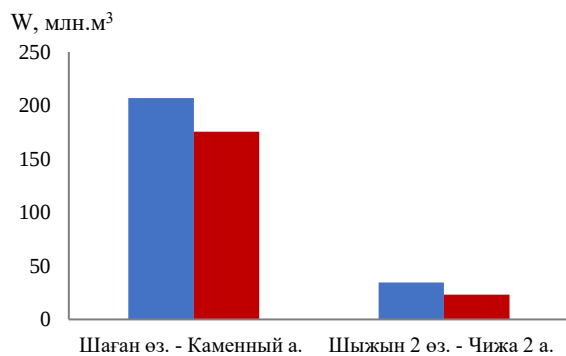
Қобда өзенінде (35 % азаю), Елек өзенінде (25...30 %) тіркелген (3 сурет). Орал алды үстіртінің оңтүстік бөлігінен ағатын өзендері үшін 1973 жылға дейінгі кезеңмен салыстырғанда, қазіргі кезеңде (1974...2022 жж.) көктемгі су тасқыны көлемінің айтарлықтай төмендеу үрдісі сипатталады: Өленті өзені – Жымпиты ауылында көктемгі ағындының ең жоғарғы азаю шамасы байқалған (30 % қысқарған). Жалпы Сырт қыратының батыс бөлігіндегі өзендерде 1974...2022 жж. кезеңдегі көктемгі су тасқыны көлемі 1973 жылға дейінгі кезеңмен салыстырғанда 15 %-дан 33 %-ға дейін едәуір азайған. Шаған өзені – Каменный ауылы тұстамасында су тасқыны көлемінің төмендеуі 1973 жылға дейінгі кезеңде 43.1 млн м<sup>3</sup>/10 жыл жылдамдықпен жүрсе, қазіргі кезеңде 4.9 млн м<sup>3</sup>/10 жыл деңгейінде тіркелген. Оңтүстік өзендерде келесідей көрініс байқалады: Темір өзені – Ленинский ауылы және Жем өзені – Жарқамыс ауылында су тасқыны көлемі 24 %-ға, Ойыл өзені – Талтоғай ауылында 22 %-ға азайған.



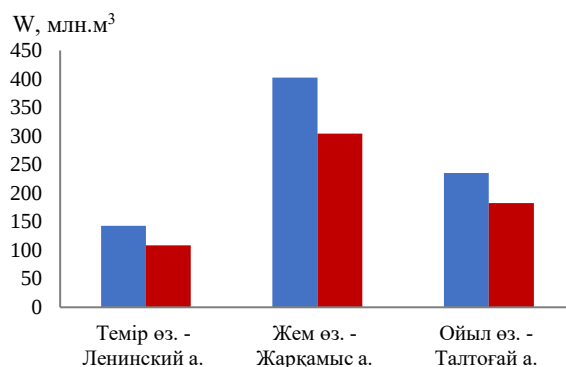
а



б



в



д

■ 1973 жылға дейінгі кезең ■ 1974 жылдан кейінгі кезең

### 3 сурет. Көктемгі ағынды көлемінің өзгерістері:

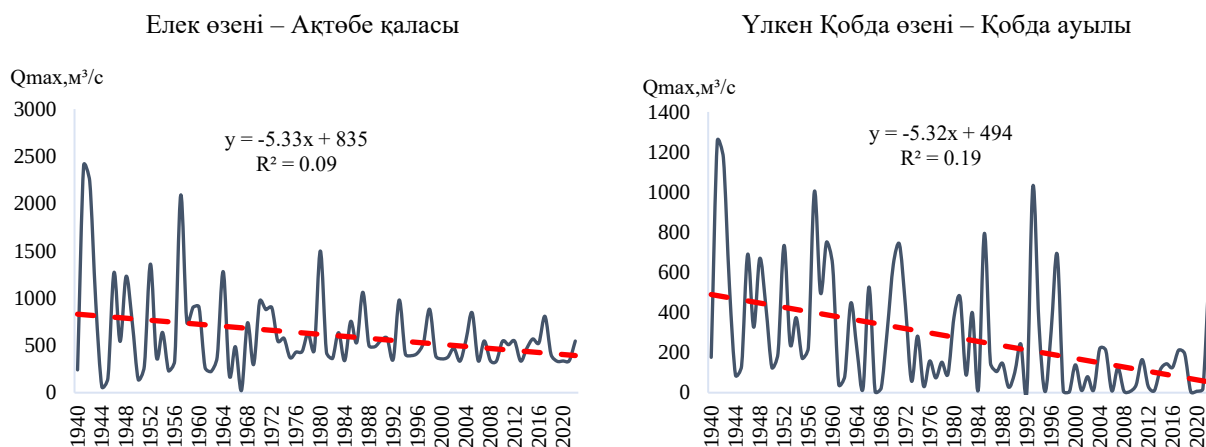
а) Жайық өзенінің сол жағалау салалары; б) Орал алды үстіртінің оңтүстік бөлігінің өзендері; в) Жалпы Сырт қыратының батыс бөлігіндегі өзендер; д) Оңтүстік өзендер

#### Максималды су өтімі

Зерттеліп отырған аумақта көктемгі су тасқыны көлемінің өзгеруінен бөлек, максималды су өтімінің азаюы да байқалады. 1973 жылға дейінгі кезеңде өзендердегі максималды су өтімдерінің мәндері айтарлықтай елеулі мәндерге ие болды: Елек өз. – 2500 м<sup>3</sup>/с, Үлкен Қобда өз. – 1300 м<sup>3</sup>/с, Темір өз. – 800 м<sup>3</sup>/с шамасында тіркелген. Алайда 1974 жылдан кейін максималды су өтімінің айтарлықтай төмендеуі

байқалады: Елек өз. 1500 м<sup>3</sup>/с дейін, Үлкен Қобда өз. – 1000 м<sup>3</sup>/с дейін, ал Темір өзенінде 500 м<sup>3</sup>/с дейін азайды (4 сурет).

Максималды су өтімдерінің өзгеру тенденцияларын талдау зерттеу алабындағы барлық өзендерде төмендеу тренді бар екенін көрсетеді. Дегенмен, бұл трендтердің маңыздылығы өзендерге байланысты өзгереді. Ең айқын байқалатын трендтер Елек және Үлкен Қобда өзендерінде төмендеу шамасы жылына 5.3 м<sup>3</sup>/с жетеді. Темір және Көпіраңқаты өзендерінде трендтер салыстырмалы түрде әлсіздеу және төмендеу қарқыны сәйкесінше жылына 2.20 м<sup>3</sup>/с және 1.19 м<sup>3</sup>/с құрайды. Шаған және Ойыл өзендерінде айтарлық өзгеріс байқалмаған және максималды су өтімінің төмендеу қарқыны жылына 1.22 м<sup>3</sup>/с аспайды.



4 сурет. Максималды су өтімінің көпжылдық жүрісі

Су тасқынының басталу және аяқталу күндері, ұзақтығы. Көктемгі су тасқынының негізгі сипаттамаларына оның басталу және аяқталу күндері, ұзақтығы кіреді. Су тасқынының басталу және аяқталу күндері ағынды гидрографы бойынша анықталды. Су тасқынының басталуы ретінде әдетте су деңгейі мен өтімінің күрт көтерілуіне дейін байқалатын су өтімінің біршама артуының бірінші күні алынады, ал су тасқынының аяқталуы – еріген қар суының негізгі көлемінің ағындысының аяқталуы нәтижесінде төмендеу қарқындылығы күрт түсіп, төмендеу қисығының соңындағы күн болып саналады. Жайық-Каспий США өзендерінің басым бөлігінде қазіргі кезеңде 1974...2022 жж. көктемгі су тасқынының ерте басталуы және ерте аяқталуы көрініс беріп, сәйкесінше су тасқыны ұзақтығының қысқаруы байқалады: су тасқыны орта есеппен 2...7 тәулікке ерте басталып, 5...16 тәулікке ерте аяқталады. 1973 жылға дейінгі кезеңмен салыстырғанда көктемгі су тасқынының басталу күндерінің ең айқын ығысуы Үлкен Қобда, Қарғалы, Қалдығайты өзендерінде көрініс берсе, тасқынның аяқталу күндері Елек, Қарғалы, Шыжын 2, Жем өзендерінде 5...16 тәулікке ерте келіп, нәтижесінде су тасқынының ұзақтығы қысқарған [16].

Максималды ағындының төмендеу тенденциясы барлық гидрологиялық біртекті аудандарда тұрақты сақталуда, бұл өз кезегінде қазіргі климаттық өзгерістерді көрсетеді. Көктемгі су тасқыны сипаттамаларындағы мұндай өзгерістер бірқатар факторларға байланысты, олардың арасында қысқы және көктемгі ауа температурасының жоғарылауы, жылымық жиілігінің артуы және топырақтың қату тереңдігінің төмендеуі ерекше орын алады. Жалпы алғанда, бұл процестер су тасқынының басталуына қарай ылғал қорының азаюына алып келеді. Ауа температурасының күрт жоғарылауы және қардың тез еруі көбінесе еріген судың негізгі арналарға жетпеуіне себеп болады, ал топырақтың қату тереңдігінің төмендеуі судың жер асты қабаттарына сіңіп кетуіне байланысты судың қосымша ылғал жоғалуына ықпал етеді. Ағындының осындай күрделі әрі біркәнді емес өзгергіштігі -

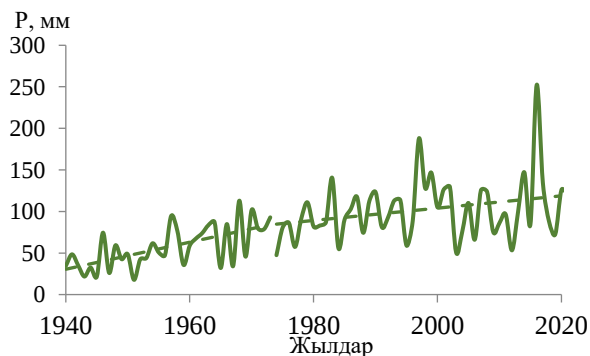
көктемгі су тасқынын қалыптастыратын факторлардың алуан түрлілігі мен олардың әртүрлі бағыттағы ықпалымен түсіндіріледі.

Максималды ағындыға әсер ететін климаттық факторлардың қазіргі заманғы өзгерістері. Табиғи түрде, су тасқынының қалыптасуындағы негізгі факторлар тобы климаттық факторлар болып табылады, олардың ішінде атмосфералық жауын-шашын және ауа температурасы жетекші рөл атқарады. Су жинау алабының көктемгі су тасқыны ағындысына дайындығы күз айларында алаптың ылғалдануымен басталады. Егер күз мезгілі құрғақ болып және топырақтың ылғалдануы төмен болған жағдайда, еріген қар суының көп бөлігі инфильтрацияға шығындалып, көктемгі ағындының азаюына алып келеді [20-21]. Көктемгі су тасқыны ағындысына әсер ететін негізгі факторлар ретінде қысқы кезеңдегі жауын-шашын және VI...X және XI...III айлардағы орташа ауа температурасының жүрісі қарастырылды.

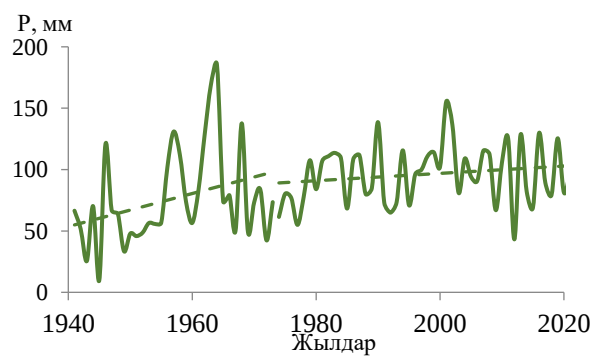
#### Жауын-шашын

Қысқы кезеңдегі (XII...III) атмосфералық жауын-шашын мөлшерінің жиынтық көрсеткішінің сызықтық трендтерін талдау алап аумағындағы метеостанциялардың басым бөлігінде негізінен оң өзгерістерді көрсетті. 1940...2022 жж. аралығындағы ұзақ уақыт кезеңінде метеорологиялық станциялардың (МС) көпшілігінде өзгеріс трендтері шамалы болып, бұл XX ғасырдағы қысқы ылғалданудың салыстырмалы тұрақтылығын көрсетеді. Алайда, қазіргі кезеңде (1974...2022 жж.) бірқатар метостанцияларда қысқы жауын-шашынның көбеюі байқалады. Соңғы онжылдықтардағы ең айқын өзгерістер Ақсай және Қарауылкелді МС-да өсу тенденциялары әр 10 жылда 9.8 мм құраса, ал Ақтөбе МС – әр 10 жылда 7.4 мм құрады (5 сурет). Бұл қысқы кезеңде ылғал қорының артуын көрсетеді, ал жылыну жағдайында қар жамылғысының тұрақтылығының төмендеуіне және қысқы ағынды үлесінің ұлғаюына әкеледі. Жекелеген метестанцияларда қысқы жауын-шашынның аз мөлшерде азаюы байқалады: Жымпиты МС теріс тренд 2.1 мм/10 жыл, Родниковка МС 1.8 мм/10 жыл және Ильинский МС 1.1 мм/10 жыл құрайды.

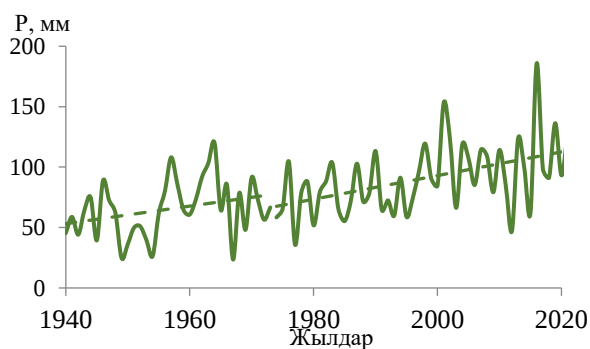
Ақтөбе МС



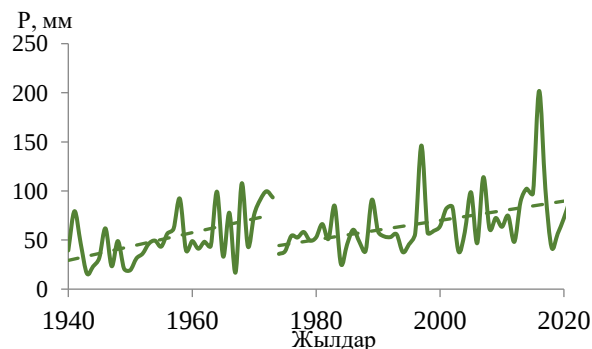
Орал МС



Ақсай МС



Қарауылкелді МС



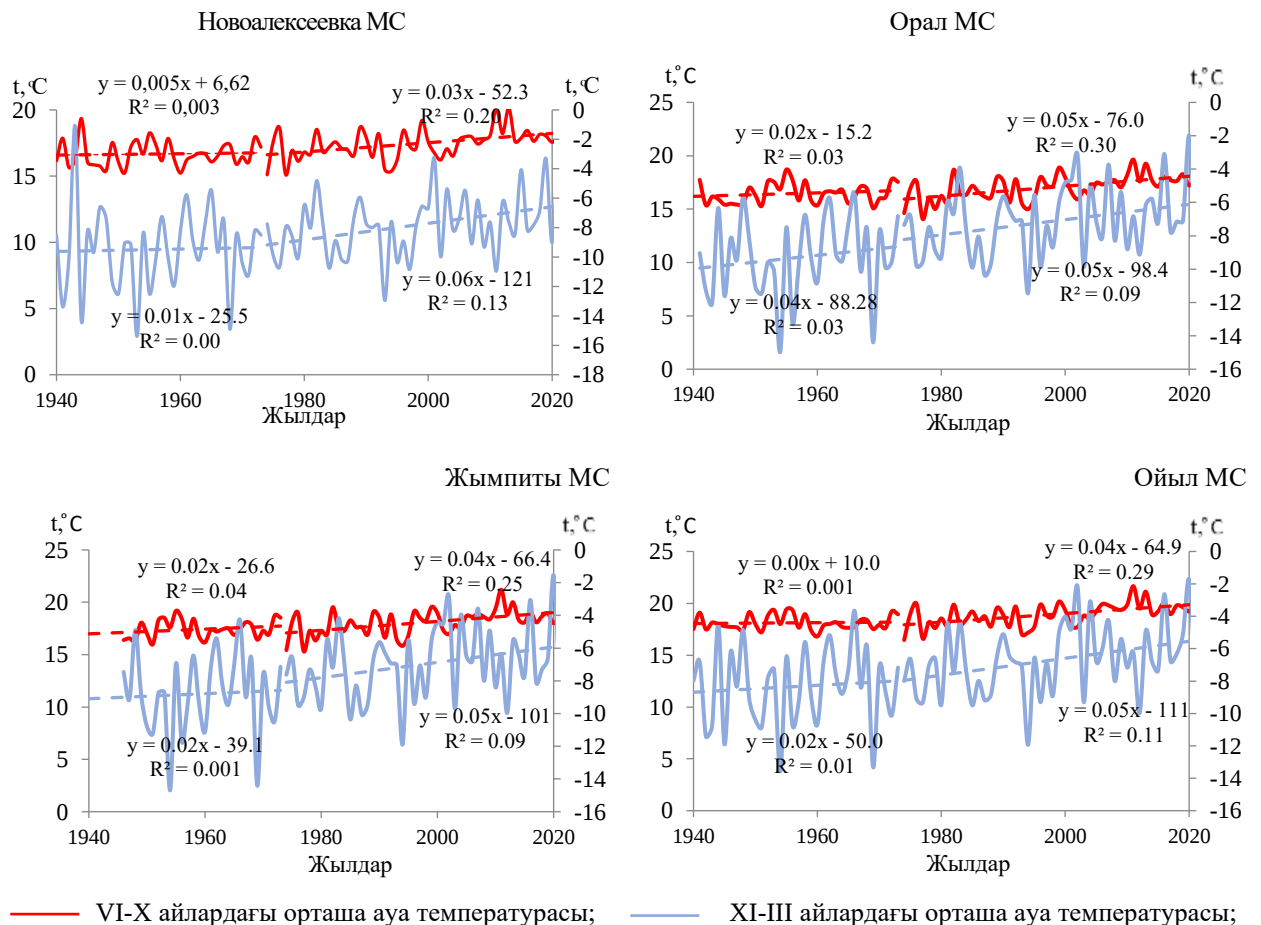
**5 сурет. XII...III айлардағы атмосфералық жауын-шашын суммасының өзгеру динамикасы**

*Ауа температурасы*

Талдау нәтижелері зерттеліп отырған аумақтағы температуралық режимнің де айтарлықтай өзгеріске ұшырағанын көрсетті: қысқы маусымдағы (XI-III) орташа ауа температурасы қазіргі кезеңде (1974...2022 жж.) айтарлықтай жоғарылаған. Мысалы, 1973 жылға дейінгі кезеңде Новоалексеевка МС ауа температурасы  $0.1^{\circ}\text{C}/10$  жыл құраса, 1974 жылдан кейінгі кезеңде  $0.6^{\circ}\text{C}/10$  жылға дейін жоғарылады. Ойыл МС да ұқсас өсім байқалады: 1973 жылға дейінгі кезеңде  $0.2^{\circ}\text{C}$  болса, 1974 жылдан кейінгі кезеңде температураның өсу қарқыны  $0.5^{\circ}\text{C}/10$  жылға жетіп, аумақтағы жылыну тенденциясының анық байқалатынын көрсетті.

Қысқы маусыммен қатар, жылы кезеңде де (VI...X айлар) температураның тұрақты өсуі байқалады. 1974...2022 жж. аралығында Жайық-Каспий алабының барлық метеостанцияларында оң тренд тіркелген:  $+0.2$ -ден  $+0.5^{\circ}\text{C}/10$  жылға дейін. Ең қарқынды жылыну тенденциясы Орал және Шыңғырлау МС байқалып,  $+0.5^{\circ}\text{C}/10$  жылды құрады. Жыл маусымдағы ауа температурасының жоғарылауы булану шығындарының артуына, топырақ ылғалдылығының төмендеуіне және қысқы мезгілге қарай қалыптасатын ылғал қорының азаюына алып келеді, бұл өз кезегінде көктемгі су тасқынының сулылығын төмендетуі мүмкін (6 сурет).

1974 жылдан кейінгі кезеңде қысқы орташа ауа температурасының тұрақты өсуі - оң температуралар суммасының артуына, нәтижесінде қысқы жылымық күндерінің жиілеуімен қатар қардың қарқынды түрде еруін көрсетеді. Қазіргі кезеңде 16...20 күн және 20...30 күн болатын жылымықтар саны 1973 жылға дейінгі кезеңмен салыстырғанда шамамен екі есеге артқан. Мысалы, Орал МС 1940..1973 жж. аралығында ұзақтығы 16...20 және 20...30 күн болатын жылымық жағдайлары 4 рет тіркелсе, қазіргі кезеңде олардың саны 11-ге дейін өсті [22].



**6 сурет. VI...X және XI...III айлардағы орташа ауа температурасының уақыттық жүрісі**

Алынған деректерді талдау жұмыстарының нәтижелері – 1973 жылға дейінгі кезеңде климаттық сипаттамалардың жағдайы салыстырмалы түрде тұрақты болып, жауын-шашын мөлшері мен ауа температурасында айтарлықтай өзгерістер байқалмаған. Алайда, қазіргі кезеңде (1974...2022 жж.) күзгі-қысқы маусымдағы жауын-шашын көлемінің азаюы және ауа температурасының жедел өсуі байқалып, қар қорының азаюына, көктемгі су тасқынының ерте басталуына және оның ұзақтығының қысқаруына алып келді. Жалпы алғанда, аталған климаттық өзгерістер зерттеу аумағындағы климаттық қауіптердің өсуін және су шаруашылығын басқаруды жаңа климаттық жағдайларға бейімдеу қажеттігін көрсетеді.

*Өзендердің көктемгі су тасқыны ағындысын сценарлық болжау*

Зерттеу жұмысында сценарлық болжам тек қана көктемгі су тасқыны ағындысы көлемі үшін орындалды, себебі дәл осы шама маусымдық метеорологиялық айнымалылармен (предиктор) ең жоғарғы корреляциялық байланысты көрсетеді. Су тасқынының басқа да сипаттамаларын (максималды су өтімі, су тасқынының басталу және аяқталу күндері, су тасқыны ұзақтығы) болжау тәуліктік метеорологиялық деректерді қолдануды қажет етеді. CMIP6 деректері бойынша тәуліктік метеорологиялық мәліметтердің қолжетімді болуына қарамастан, оларды осы зерттеуде пайдалану қиындықтар туғызды. Себебі, мұндай деректермен жұмыс жасау үшін кеңістіктік ажыратылымдықты алдын-ала төмендету және тәуліктік деректерді түзету қажеттілігі, бастапқы жауын-шашын мәндері мен ауа температурасының амплитудасын, жиілігін және уақыттық сипаттамаларын едәуір бұрмалауы мүмкін. Осыған байланысты сценарийлік болжам модельдеу кателіктері аз маусымдық сипаттамалармен шектелді.

Максималды ағынды көлемін сценарлық болжау үшін статистикалық модель – көптік сызықтық регрессия қолданылды. Предикторлар ретінде су тасқынын қалыптастыру процесстеріне қатысты физикалық-географиялық түсініктерге де, сондай-ақ корреляциялық талдау нәтижелеріне де негізделіп іріктелген метеорологиялық параметрлер пайдаланылды. Маңызды предикторларды таңдау олардың көктемгі ағынды көлемімен байланысының деңгейін ескере отырып жүргізілді. Ең маңызды метеорологиялық факторлар (предикторлар) ретінде келесілер танылды:

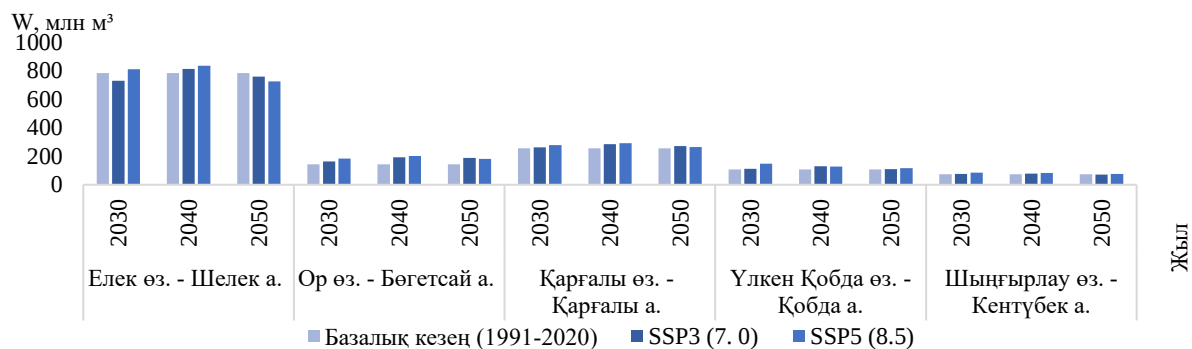
- топырақтың күзгі ылғалдану дәрежесін және қардың жиналу көлемін сипаттайтын суық кезеңдегі (қыркүйек-наурыз) атмосфералық жауын-шашынның жиынтық мөлшері;
- маусым-қазан айлары аралығындағы судың сіңу қабілетін және топырақ-жер қыртысының булану шығынын анықтайтын ауаның орташа температурасы;
- жылымықтардың жиілігіне және ерте қардың еру қарқындылығына әсер ететін қысқы кезеңнің орташа ауа температурасы.

Жайық–Каспий США аумағындағы SSP3-7.0 және SSP5-8.5 климаттық сценарийлері жағдайында 2030, 2040 және 2050 жылдарға болжанған көктемгі су тасқыны ағындысын талдау кеңістіктік әртектілікті көрсетті (7 сурет).

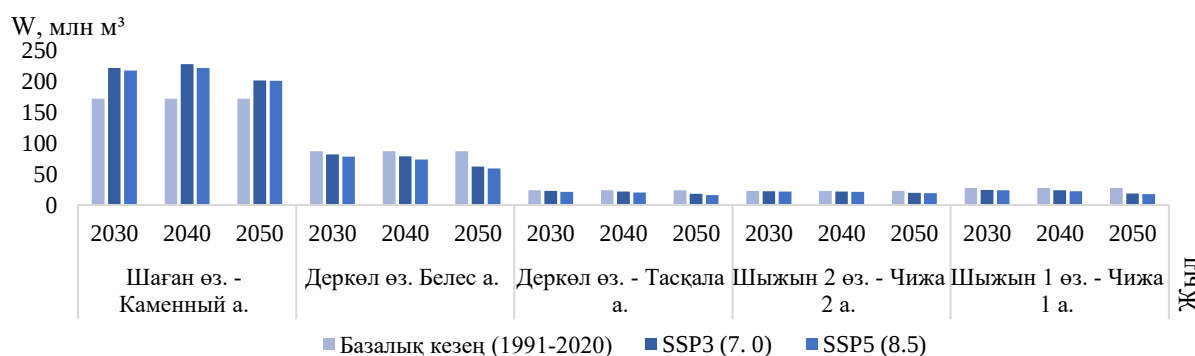
Жайық өзенінің сол жағалау салаларында SSP3-7.0 және SSP5-8.5 сценарийлері бойынша су тасқыны ағындысының өзгерістері бір мәнді сипатқа ие емес. SSP5-8.5 сценарийі бойынша, Сарықобда, Ор, Үлкен Қобда және Терісбұтақ сынды негізгі өзендерде базалық кезеңмен салыстырғанда максималды ағындының 6 %-дан 48 %-ға дейін аруты болжанады. Сонымен қатар, Қосестек, Қарақобда, Терісаққан және Елек өзендерінде ағындының 35 %-ға дейін тұрақты төмендеуі күтіледі.

Жалпы Сырт қыратының батыс бөлігіндегі өзендерде екі климаттық сценарий бойынша максималды ағындының тұрақты төмендеуі болжанады. Шыжын 1 және

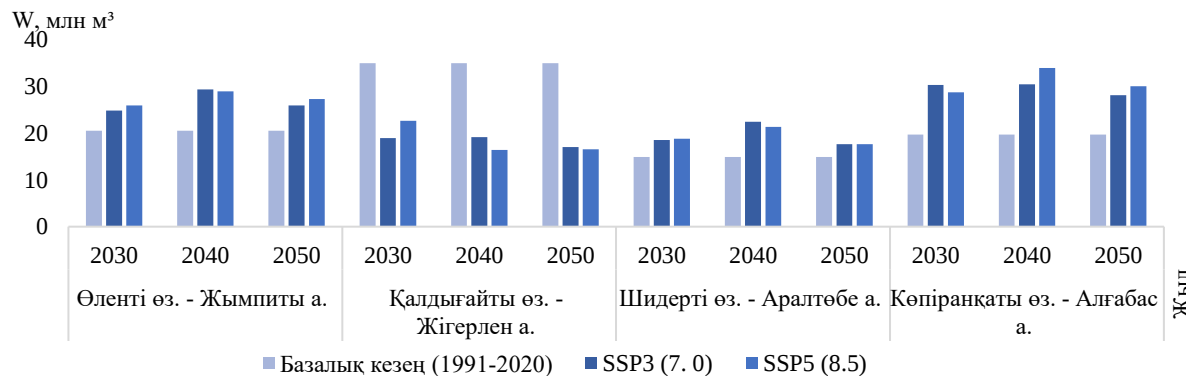
Деркөл өзендерінде ағынды көлемі 35 %-ға дейін азаяды. Ал, Шаған өзенінде су тасқыны ағындысының 33 %-ға дейін тұрақты өсуі байқалады.



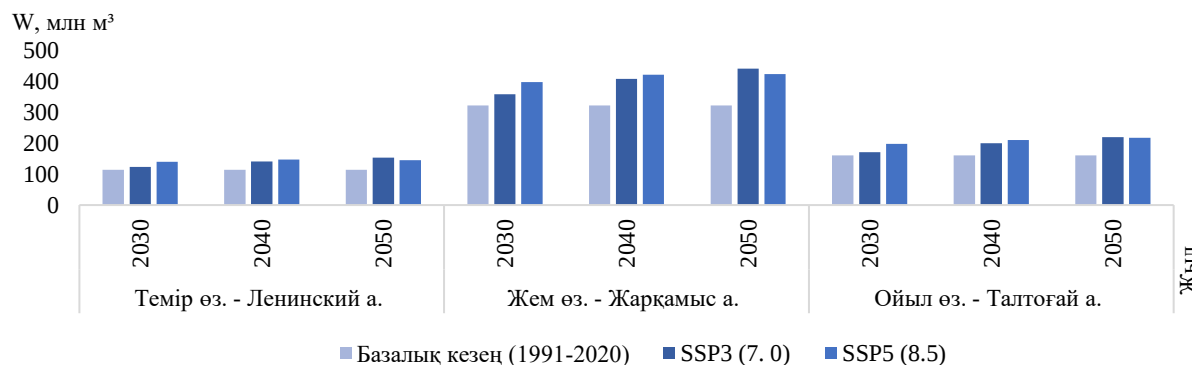
#### I - Жайық өзенінің сол жағалау салалары



#### II - Жалпы Сырт қыратының батыс бөлігіндегі өзендер



#### IV - Орал алды үстіртінің оңтүстік бөлігіндегі өзендер



#### V - Оңтүстік өзендер

**7 сурет.** SSP3-7.0 және SSP5-8.5 сценарийлері бойынша 2030, 2040 және 2050 жылдардағы көктемгі су тасқыны ағынды көлемінің сценарийлік болжамы

Орал алды үстіртінің оңтүстік бөлігіндегі өзендерде максималды ағындының әртүрлі бағыттағы өзгерістері байқалады. SSP5-8.5 сценарийі бойынша өзендердің көпшілігінде ағындының тұрақты түрде өсуі күтіледі, әсіресе, Көпіраңқаты және Шидерті өзендерінде 72 %-ға дейін өсуі айқын көрініс береді. Оңтүстік өзендерде тұрақты өсу: орташа алғанда, SSP3-7.0 сценарийі бойынша максималды ағынды 20 %, ал SSP5-8.5 бойынша 30 %-ға дейін өсуі күтіледі. Ал, Қиыл өзенінде су тасқыны ағындысының тұрақты төмендеуі базалық кезеңмен салыстырғанда 34 %-ға дейін байқалады.

Жайық-Каспий США алабы өзендерінің көктемгі су тасқыны ағындысының сценарийлік болжамдарын талдау аумақтың кіші және орта өзендерінде күтілетін климаттық өзгерістерге жоғары сезімталдығын көрсетеді. Бұл жағдай, әсіресе ағындының ауытқуы кең ауқымда өзгеретін дала және құрғақ аудандарда анық байқалады. Сонымен қатар, метеорологиялық параметрлердің болжамдық өзгерістерін су тасқыны ағындысының үлгіленген нәтижелерімен салыстыру су тасқынының қалыптасуында суық кезеңдегі жауын-шашын мөлшері мен ауа температурасының шешуші рөл атқаратынын растайды.

#### 4. ҚОРЫТЫНДЫ

Жайық-Каспий су шаруашылығы алабының қазіргі кезеңдегі (1974...2022 жж.) көктемгі су тасқыны деректерін талдау негізінде аумақтың барлық гидрологиялық біртекті аудандарында көктемгі ағынды көлемінің тұрақты төмендеу тенденциясы байқалатыны анықталды. Су тасқыны көлемінің айтарлықтай төмендеуі Жайық өзенінің сол жағалау салаларында, атап айтқанда Үлкен Қобда мен Елек өзендерінде (35 % азайған) тіркелген. Сондай-ақ, сулылықтың едәуір азаюы Орал алды үстіртінің оңтүстік өзендерінде (Өлеңті, Көпіраңқаты), Жайықтың оң жағалау салаларында (Шаған, Шыжын) және оңтүстік өзендерде (Темір, Ойыл, Жем) байқалады. 1974 жылдан кейінгі кезеңде төмендеу қарқынының біршама баяулауына қарамастан, теріс динамика сақталуда.

Аумақта ағынды көлемінің азаюымен қатар, максималды су өтімінің айтарлықтай төмендеуі байқалады. Елек өзенінде максималды су өтімі 2500-ден 1500 м<sup>3</sup>/с, Үлкен Қобда өзенінде - 1300-ден 1000 м<sup>3</sup>/с, Темір өзенінде - 800-ден 500 м<sup>3</sup>/с дейін азайған. Күрт төмендеу қарқыны Елек және Үлкен Қобда өзендерінде (жылына 5.3 м<sup>3</sup>/с) тіркелді. Өзгерістер су тасқынының тек қана сандық емес, уақыттық сипаттамаларына да қатысты, су тасқынының басталуы орта есеппен 2...7 күнге ерте басталып және 5...16 күнге ерте аяқталуы көрініс беріп, Үлкен Қобда, Қарғалы, Қалдығайты, Елек, Шыжын және Жем өзендеріндегі су тасқыны ұзақтығының қысқаруына алып келді.

Көктемгі ағынды трансформациясының негізгі факторы климаттық жағдайлардың өзгеруі болып табылады. Алаптың барлық аумағында қысқы орташа ауа температурасының тұрақты өсуі байқалады: онжылдықта +0.5...+0.6 °C-қа дейін, бұл қысқы жылымықтардың жиіленуімен қатар жүреді. Теріс температуралар суммасының азаюы топырақтың қату тереңдігінің төмендеуіне және еріген қар суларының фильтрациялық шығындарының артуына жағдай жасайды. Сонымен қатар, қысқы жауын-шашын мөлшерінің азаюы топырақтың су ұстау қабілетін төмендетіп, су тасқыны кезінде су ресурстарының қосымша шығындалуына ықпал етеді.

CMIP6 жаһандық климаттық модельдерінің ансамблі негізінде SSP3-7.0 және SSP5-8.5 сценарийлері бойынша 2050 жылға дейінгі кезеңге жасалған болжам аумақтың су режиміне климаттық қысымның одан әрі күшею ықтималдығын көрсетеді. Қысқы кезеңде ауа температурасының 1.5...4.4 °C-қа дейін артуы және жауын-шашын мөлшерінің 30...60 %-ға өсуі болжанады. Алайда, өзен ағындысының климаттық өзгерістерге кеңістіктік біртектілігінің әсері жоғары болып қала береді.

Жайық өзенінің сол жағалау салаларында көктемгі ағындының өсуі (+48 %) және төмендеуі (–35 %) болжанады. Шаған өзені алабын қоспағанда, Жалпы Сырт қыратының батыс бөлігіндегі өзендерде ағындының азаю тенденциясы басым, ал оңтүстік өзендерде (Темір, Ойыл, Жем) су тасқынының тұрақты өсуі (+72 %) тән.

Алап аумағындағы кіші және орта өзендер климаттың өзгеруіне қатысты, әсіресе көктемгі су тасқыны кезінде жоғары сезімталдыққа ие. Көктемгі су тасқыны – өзендердің гидрологиялық режимінің маусымдық тұрақтылығының маңызды көрсеткіші болып табылады, ал оның қазіргі кезеңдегі трансформацияға ұшырауы су ресурстары саласындағы жобалық және басқарушылық шешімдерді қайта қарау қажеттілігін талап етеді. Өсіп келе жатқан климаттық тұрақсыздық пен қауіптер жағдайында сценарийлік жосарлау, климаттық модельдеу және алаптардың жергілікті ерекшеліктерін ескере отырып, су ресурстарын басқарудың адаптивті тәсілдерін енгізу өзекті болып табылады. Алынған нәтижелер ғылыми әдебиеттерде жазылған жаһандық трендтер мен тұжырымдарға сәйкес келеді, бұл олардың сенімділігі мен аумақтық гидрологиялық саясат үшін маңыздылығын растайды.

### ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған деректерді авторлар «Қазгидромет» РМК ашық деректер базасынан алды.

### АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау – СКА; деректерді басқару - ЛКМ; Ресми талдау – ЛКМ, ЭКТ, АМС; Әдістеме – СКА, ЛКМ, ЭКТ; Визуализация - АМС; Бастапқы жобаны жазу - ЛКМ, ЭКТ, ЖЖС; Шолу жазу және редакциялау – ЭКТ, АМС.

### ҚАРЖЫЛАНДЫРУ

Ғылыми зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім Министрлігі Ғылым комитетінің BR28713279 «Қазіргі климаттың өзгеруі жағдайында Қазақстанның жазық және ұсақ шоқылы аймақтарында су басу қаупін басқарудың ғылыми және қолданбалы негіздері» бағдарламасы негізінде қаржыландыру жасалынды.

### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Tursunova A., Nurbatsina A., Salavatova Z., Huthoff F. (2025). Sustainability challenges in Kazakhstan's river systems: assessing climate-induced hydrological changes. *Sustainability*. Vol. 17, № 8. P. 3405. <https://doi.org/10.3390/su17083405>.
- 2 Frolova N. L., Agafonova S. A., Kireeva M. B., Povalishnikova E. S., Pakhomova O. M. (2017). Recent changes of annual flow distribution of the Volga Basin rivers. *Geography, Environment, Sustainability*. Vol. 10. P. 28–39. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2017-10-2-28-39>.
- 3 Wang P., Shpakova R. N. (2022). Complex streamflow responses to climate warming in five river basins in South Yakutia, Russia. *Frontiers in Environmental Science*. Vol. 10. P. 1033943. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1033943>.
- 4 Медведев А. И. Байесовы оценки изменения стока российских рек в XXI веке на основе CMIP6 // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2023. – Т. 59, № 7. – С. 857–871.
- 5 Магрицкий Д. В., Евстигнеев В. М., Юмина М. Н., Торопов П. А., Кенжебаева А. Ж., Ермакова Г. С. Изменения стока в бассейне реки Урал // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2018. – № 1. – С. 90–101.
- 6 Сивохин Ж. Т., Павлейчик В. М. Современные тенденции внутригодового распределения речного стока в бассейне реки Урал // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2020. – Т. 33. – С. 112–123. – <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.112>
- 7 Медеу А. Р., Махмудова Л. К., Мырзахметов А. Б., Загидуллина А. Р., Канай М. А. Паводковая ситуация на реке Жайык (Урал) в 2024 году // География и водные ресурсы. – 2024. – № 4. – С. 14–23. – <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-14-23.35>
- 8 Терехов А. Г., Саиров С. Б., Абаев Н. Н., Сагатдинова Г. Н., Амиргалиев Е. Н. О возможных причинах исключительно больших весенних паводков 2024 года в Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2024. – Т. 21. – № 3. – С. 331–338. – <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338>
- 9 Danilovich I. S., Loginov V. F., Groisman P. Y. (2023). Changes of Hydrological Extremes in the Center of Eastern Europe and Their Plausible Causes. *Water*. Vol. 15, № 16. Article 2992. <https://doi.org/10.3390/w15162992>
- 10 Laishanov S., Sharapkhonova Z., Myrzakhetmetov A., Levin E., Taukebayev O., Nurmagambetuly Z., Kaster S. (2025). Geo-Ecological Analysis of the Causes and Consequences of Flooding in the Western Region of Kazakhstan. *Urban Science*. Vol. 9, № 1. Article 20. – <https://doi.org/10.3390/urbansci9010020>
- 11 Dottori F., Szewczyk W., Ciscar J.-C., Zhao F., Alfieri L., Hirabayashi Y. (2018). Increased human and economic losses from river flooding with anthropogenic warming. *Nature Climate Change*. Vol. 8, № 9. P. 781–786. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0257-z>
- 12 Michalek A. T., Villarini G., Kim T., Quintero F., Krajewski W. F., Scoccimarro E. (2023). Evaluation of CMIP6 HighResMIP for hydrologic modeling of annual maximum discharge in Iowa. *Water Resources Research*. Vol. 59. <https://doi.org/10.1029/2022WR034166>
- 13 Suram A., Anand R. P., Vema V. K. (2024). Catchment response to climate change under CMIP6 scenarios: a case study of the Krishna River Basin. *Journal of Water and Climate Change*. Vol. 15, № 2. P. 476–498. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.442>
- 14 Wu Y., Miao C., Fan X., Gou J., Zhang Q., Zheng H. (2022). Quantifying the Uncertainty Sources of Future Climate Projections and Narrowing Uncertainties with Bias Correction Techniques. *Earth's Future*. Vol. 10. <https://doi.org/10.1029/2021EF002630>

- 15 Fallah B., Rostami M., Russo E., Harder P., Menz C., Hoffmann P., Didovets I., Hattermann F. F. (2025). Climate model downscaling in central Asia: a dynamical and a neural network approach. *Geoscientific Model Development*. Vol. 18. P. 161–180. <https://doi.org/10.5194/gmd-18-161-2025>
- 16 Smagulov Z., Makhmudova L., Alimkulov S., Talipova E., Zagidullina A., Birimbayeva L., Sailaubek A. (2025). Transformation of seasonal distribution of river flow in the Zhaiyk-Caspian water basin under changing climate conditions. *Journal of Water and Climate Change*. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.537>.
- 17 Frieler K., Lange S., Piontek F., Reyer C. P. O., Schewe J., Warszawski L., Zhao F., Chini L., Denvil S., Emanuel K., Geiger T., Halladay K., Hurtt G., Mengel M., Murakami D., Ostberg S., Popp A., Riva R., Stevanovic M., Suzuki T., Volkholz J., Burke E., Ciais P., Ebi K., Eddy T. D., Elliott J., Galbraith E., Gosling S. N., Hattermann F., Hickler T., Hinkel J., Hof C., Huber V., Jägermeyr J., Krysanova V., Marcé R., Müller Schmied H., Mouratiadou I., Pierson D., Tittensor D. P., Vautard R., van Vliet M., Biber M. F., Betts R. A., Bodirsky B. L., Deryng D., Froliking S., Jones C. D., Lotze H. K., Lotze-Campen H., Sahajpal R., Thonicke K., Tian H., Yamagata Y. (2017). Assessing the impacts of 1.5 °C global warming – simulation protocol of the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP2b). *Geoscientific Model Development*. Vol. 10. P. 4321–4345. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4321-2017>
- 18 Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – Санкт-Петербург: Изд-во РГТМУ, 2007. – 279 с.
- 19 Helsel D. R., Hirsch R. M. (2020). *Statistical Methods in Water Resources* (U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 4, chap. A3). Reston, VA: U.S. Geological Survey, 454 p. <https://doi.org/10.3133/tm4A3>
- 20 Владимиров А. М. Факторы, определяющие возникновение экстремальных расходов и уровней воды половодья // Учёные записки РГТМУ. – 2009. – № 9. – С. 22–39.
- 21 Дмитриева В. А., Нефедова Е. Г. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона // Вопросы географии. Гидрологические изменения. – 2018. – № 145. – С. 285–297.
- 22 Махмудова Л., Талипова Э., Мырзахметов А., Биримбаева Л., Турсынбай А., Әліпбек Ә. Климатические характеристики оттепелей на территории Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна // *Journal of Geography and Environmental Management*. – 2025. – Т. 75, № 4. – С. 80–91.

## REFERENCES

- 1 Tursunova A., Nurbatsina A., Salavatova Z., Huthoff F. (2025). Sustainability challenges in Kazakhstan's river systems: assessing climate-induced hydrological changes. *Sustainability*. Vol. 17, № 8. P. 3405. <https://doi.org/10.3390/su17083405>.
- 2 Frolova N. L., Agafonova S. A., Kireeva M. B., Povalishnikova E. S., Pakhomova O. M. (2017). Recent changes of annual flow distribution of the Volga Basin rivers. *Geography, Environment, Sustainability*. Vol. 10. P. 28–39. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2017-10-2-28-39>.
- 3 Wang P., Shpakova R. N. (2022). Complex streamflow responses to climate warming in five river basins in South Yakutia, Russia. *Frontiers in Environmental Science*. Vol. 10. P. 1033943. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1033943>.
- 4 Medvedev A. I. (2023) Baesovy otsenki izmeneniia stoka rossiiskikh rek v XXI veke na osnove CMIP6 [Bayesian estimates of changes in Russian river runoff in the 21st century based on CMIP6]. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*. Vol. 59, No. 7, pp. 857–871. [In Russian]
- 5 Magritskiy D. V., Evstigneev V. M., Yumina M. N., Toropov P. A., Kenzhebaeva A. Zh., Ermakova G. S. (2018) Izmeneniia stoka v bassejne reki Ural [Changes in runoff in the Ural River Basin]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiia*. No. 1, pp. 90–101. [In Russian]
- 6 Sivokhip Zh. T., Pavleichik V. M. (2020) Sovremennye tendentsii vnutrigodovogo raspredeleniia rechnogo stoka v bassejne reki Ural [Modern trends of intra-annual distribution of river runoff in the Ural River Basin]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*. Vol. 33, pp. 112–123. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.112>. [In Russian]
- 7 Medeu A. R., Makhmudova L. K., Myrzakhmetov A. B., Zagidullina A. R., Kanai M. A. (2024) Pavodkovaia situatsiia na reke Zhaiyk (Ural) v 2024 godu [Flood situation on the Zhaiyk (Ural) River in 2024]. *Geografiia i vodnye resursy*. No. 4, pp. 14–23. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-14-23.35>. [In Russian]
- 8 Terekhov A. G., Sairov S. B., Abaev N. N., Sagatdinova G. N., Amirgaliyev E. N. (2024) O vozmozhnykh prichinakh iskluchitel'no bol'shikh vesennikh pavodkov 2024 goda v Kazakhstane [On possible causes of exceptionally large spring floods in Kazakhstan in 2024]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa*. Vol. 21, No. 3, pp. 331–338. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-331-338>. [In Russian]
- 9 Danilovich I. S., Loginov V. F., Groisman P. Y. (2023). Changes of Hydrological Extremes in the Center of Eastern Europe and Their Plausible Causes. *Water*. Vol. 15, № 16. Article 2992. <https://doi.org/10.3390/w15162992>
- 10 Laishanov S., Sharapkhonova Z., Myrzakhmetov A., Levin E., Taukebayev O., Nurmagambetuly Z., Kaster S. (2025). Geo-Ecological Analysis of the Causes and Consequences of Flooding in the Western Region of Kazakhstan. *Urban Science*. Vol. 9, № 1. Article 20. – <https://doi.org/10.3390/urbansci9010020>
- 11 Dottori F., Szewczyk W., Ciscar J.-C., Zhao F., Alfieri L., Hirabayashi Y. (2018). Increased human and economic losses from river flooding with anthropogenic warming. *Nature Climate Change*. Vol. 8, № 9. P. 781–786. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0257-z>
- 12 Michalek A. T., Villarini G., Kim T., Quintero F., Krajewski W. F., Scoccimarro E. (2023). Evaluation of CMIP6 HighResMIP for hydrologic modeling of annual maximum discharge in Iowa. *Water Resources Research*. Vol. 59. <https://doi.org/10.1029/2022WR034166>
- 13 Suram A., Anand R. P., Vema V. K. (2024). Catchment response to climate change under CMIP6 scenarios: a case study of the Krishna River Basin. *Journal of Water and Climate Change*. Vol. 15, № 2. P. 476–498. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.442>
- 14 Wu Y., Miao C., Fan X., Gou J., Zhang Q., Zheng H. (2022). Quantifying the Uncertainty Sources of Future Climate Projections and Narrowing Uncertainties with Bias Correction Techniques. *Earth's Future*. Vol. 10. <https://doi.org/10.1029/2021EF002630>
- 15 Fallah B., Rostami M., Russo E., Harder P., Menz C., Hoffmann P., Didovets I., Hattermann F. F. (2025). Climate model downscaling in central Asia: a dynamical and a neural network approach. *Geoscientific Model Development*. Vol. 18. P. 161–180. <https://doi.org/10.5194/gmd-18-161-2025>
- 16 Smagulov Z., Makhmudova L., Alimkulov S., Talipova E., Zagidullina A., Birimbayeva L., Sailaubek A. (2025). Transformation of seasonal distribution of river flow in the Zhaiyk-Caspian water basin under changing climate conditions. *Journal of Water and Climate Change*. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.537>.
- 17 Frieler K., Lange S., Piontek F., Reyer C. P. O., Schewe J., Warszawski L., Zhao F., Chini L., Denvil S., Emanuel K., Geiger T., Halladay K., Hurtt G., Mengel M., Murakami D., Ostberg S., Popp A., Riva R., Stevanovic M., Suzuki T., Volkholz J., Burke E., Ciais P., Ebi K., Eddy T. D., Elliott J., Galbraith E., Gosling S. N., Hattermann F., Hickler T., Hinkel J., Hof C., Huber V., Jägermeyr J.,

Krysanova V., Marcé R., Müller Schmied H., Mouratiadou I., Pierson D., Tittensor D. P., Vautard R., van Vliet M., Biber M. F., Betts R. A., Bodirsky B. L., Deryng D., Frolking S., Jones C. D., Lotze H. K., Lotze-Campen H., Sahajpal R., Thonicke K., Tian H., Yamagata Y. (2017). Assessing the impacts of 1.5 °C global warming – simulation protocol of the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP2b). Geoscientific Model Development. Vol. 10. P. 4321–4345. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4321-2017>

18 Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – Санкт-Петербург: Изд-во РГТМУ, 2007. – 279 с.

19 Helsel D. R., Hirsch R. M. (2020). Statistical Methods in Water Resources (U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 4, chap. A3). Reston, VA: U.S. Geological Survey, 454 p. <https://doi.org/10.3133/tm4A3>

20 Vladimirov A. M. (2009) Faktory, opredelivshies'ya v nastoyashcheye vozniknoveniye ekstremal'nykh raskhodov i urovnei vody polovod'ya [Factors determining the occurrence of extreme discharges and water levels during floods]. Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. No. 9, pp. 22–39. [In Russian]

21 Dmitrieva V. A., Nefedova E. G. (2018) Gidrologicheskaya reaktsiya na meniaiushchiesia klimaticheskie usloviya i antropogennuyu deiatel'nost' v basseine Verkhnego Dona [Hydrological response to changing climatic conditions and anthropogenic activity in the Upper Don Basin]. Voprosy geografii. Gidrologicheskie izmeneniya. No. 145, pp. 285–297. [In Russian]

22 Makhmudova L., Talipova E., Myrzakmetov A., Birimbaeva L., Tursynbai A., Alipbek A. (2025) Klimaticheskie kharakteristiki ottepei na territorii Zhaiyk-Kaspiiskogo vodokhoziaistvennogo basseina [Climatic characteristics of thaws in the Zhaiyk-Caspian water management basin]. Journal of Geography and Environmental Management. Vol. 75, No. 4, pp. 80–91. [In Russian].

## ОЦЕНКА ВЕСЕННОГО СТОКА ПОЛОВОДЬЯ В ЖАЙЫК-КАСПИЙСКОМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ БАССЕЙНЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И СЦЕНАРНЫЙ ПРОГНОЗ

Саят К. Алимкулов<sup>1</sup> к.г.н., ассоциированный профессор, Ляззат К. Махмудова<sup>1</sup> к.г.н., ассоциированный профессор, Эльмира К. Талипова<sup>1,2</sup> PhD, Жанибек Ж. Смагулов<sup>1</sup>, Ақгулим М. Сайлаубек<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; [sayat.alimkulov@mail.ru](mailto:sayat.alimkulov@mail.ru), [mlk2002@mail.ru](mailto:mlk2002@mail.ru), [elmira\\_280386@mail.ru](mailto:elmira_280386@mail.ru), [zh.zh.smagulov@mail.ru](mailto:zh.zh.smagulov@mail.ru), [gulima97life@gmail.com](mailto:gulima97life@gmail.com)

<sup>2</sup> Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан; [elmira\\_280386@mail.ru](mailto:elmira_280386@mail.ru), [gulima97life@gmail.com](mailto:gulima97life@gmail.com)

Автор корреспонденции: Ақгулим М. Сайлаубек, [gulima97life@gmail.com](mailto:gulima97life@gmail.com)

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

максимальный сток,  
весеннее половодье,  
трансформация речного стока,  
сценарное прогнозирование,  
CMIP6

### По статье:

Получено: 30.09.2025  
Пересмотрено: 06.10.2025  
Принято: 06.10.2025  
Опубликовано: 08.10.2025

### АБСТРАКТ

В настоящем исследовании выполнен комплексный анализ характеристик весеннего половодья в Жайык-Каспийском водохозяйственном бассейне за современный период и прогнозируемые изменения на горизонты 2030, 2040 и 2050 годы на основе климатических сценариев CMIP6 (SSP3-7.0 и SSP5-8.5). Анализ наблюдений на 34 гидрологических постах показал сокращение объема весеннего стока до 35 %, уменьшение продолжительности половодья и снижение максимального расхода воды на отдельных реках до 45 %. Установлено, что повышение температуры, увеличение частоты оттепелей и снижение осеннего увлажнения приводят к снижению максимальных расходов воды и перераспределению сезонного режима стока. Сценарные прогнозы выявили выраженную пространственную неоднородность – на некоторых реках ожидается рост максимального стока, который достигает до 72 %, тогда как на других реках наблюдается устойчивое снижение максимального стока до 35 %. Полученные результаты указывают на необходимость перехода к адаптивной системе управления водными ресурсами, ориентированной на региональные особенности речных бассейнов и чувствительность малых и средних водотоков к климатическим изменениям.

# ASSESSMENT OF SPRING FLOOD RUNOFF IN THE ZHAIYK-CASPIAN WATER MANAGEMENT BASIN: CURRENT STATE AND SCENARIO FORECAST

Sayat Alimkulov<sup>1</sup> Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Lyazzat Makhmudova<sup>1</sup> Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Elmira Talipova<sup>1,2</sup> PhD, Zhanybek Smagulov<sup>1</sup>, Akgulim Sailaubek<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; [sayat.alimkulov@mail.ru](mailto:sayat.alimkulov@mail.ru), [mlk2002@mail.ru](mailto:mlk2002@mail.ru), [elmira\\_280386@mail.ru](mailto:elmira_280386@mail.ru), [zh.zh.smagulov@mail.ru](mailto:zh.zh.smagulov@mail.ru), [gulima97life@gmail.com](mailto:gulima97life@gmail.com)

<sup>2</sup> al-Farabi Kazakh National University, Almaty. Kazakhstan; [elmira\\_280386@mail.ru](mailto:elmira_280386@mail.ru), [gulima97life@gmail.com](mailto:gulima97life@gmail.com)  
Corresponding author: Akgulim Sailaubek, [gulima97life@gmail.com](mailto:gulima97life@gmail.com)

---

## KEY WORDS

maximum runoff,  
river runoff transformation,  
spring flood,  
scenario projection,  
CMIP6

## About article:

Received: 30.09.2025  
Revised: 06.10.2025  
Accepted: 06.10.2025  
Published: 08.10.2025

---

## ABSTRACT

This study presents a comprehensive analysis of the characteristics of spring runoff in the Zhaiyk-Caspian water management basin for the modern period, as well as an assessment of projected changes for the horizons of 2030, 2040, and 2050 based on CMIP6 climate scenarios (SSP3-7.0 and SSP5-8.5). The analysis of observations from 34 hydrological stations revealed a decrease in spring runoff volume of up to 35 %, a reduction in flood duration, and a decline in peak discharge on certain rivers of up to 45 %. It was established that rising air temperatures, an increased frequency of thaws, and reduced autumn soil moisture contribute to lower peak discharges and a transformation of the seasonal runoff regime. Scenario-based projections demonstrated pronounced spatial heterogeneity: some rivers are expected to experience an increase in maximum runoff of up to 72 %, while others show a steady decrease of up to 35 %. These findings highlight the necessity of transitioning to an adaptive water resources management system that takes into account the regional characteristics of river basins and the high sensitivity of small and medium-sized streams to climate change.

---

**Баспагердің ескертпесі:** барлық жарияланымдардағы мәлімдемелер, пікірлер мен деректер «Гидрометеорология и экология» журналына және/немесе редакторға(ларға) емес, тек авторға(ларға) тиесілі.