



Ғылыми мақала

БАДАМ ӨЗЕНІ АҒЫНДЫСЫНЫҢ СОҢҒЫ 10-ЖЫЛДЫҚТАРДАҒЫ ӨЗГЕРІСІН БАҒАЛАУ

Айнур К. Мусина г.ғ.к, қауымдастырылған профессор , Маржан С. Оспанова* PhD, доцент м.а. ,
Әсел С. Абдуллаева PhD, доцент м.а. , Гүлжанат Ж. Байдашева 

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; Ainur.Musina@kaznu.edu.kz (AKM),
ospanova.marzhan@kaznu.kz (MCO), Abdullayeva.Assel@kaznu.kz (ƏCA), baydashova8@gmail.com (ГЖБ)
Автор корреспонденциясы: Маржан С. Оспанова, ospanova.marzhan@kaznu.kz

ТҮЙІН СӨЗДЕР

ағынды тербелісі,
гидрологиялық режим,
климаттық өзгерістер,
антропогендік факторлар,
вариация коэффициенті,
Ричард-Бейкер индексі (RBI)

АБСТРАКТ

Мақалада Бадам өзенінің соңғы 10 жылдықтардағы ағынды өзгерістері қарастырылады. Зерттеу барысында математикалық-статистикалық талдау әдісі, экстраполяция және корреляция әдістері, интегралды жиынтық және айырымдық қисықтары қолданылып, өзен ағындысының көпжылдық және жылылық өзгергіштігі Ричард-Бейкер индексі (RBI) арқылы бағаланды. Индекс нәтижелері табиғи (морфометриялық ерекшеліктер, климат, жер бедері) және антропогендік факторлардың (суқойманың салынуы, ирригациялық желілердің дамуы, қала құрылысы) өзеннің гидрологиялық режиміне ықпалын анықтауға мүмкіндік берді. Ағынды тербелісін талдау барысында шағын су жинау алаптарында RBI көрсеткіштерінің жоғары болатыны, ал ірі өзен алаптарында салыстырмалы тұрақтылық байқалатыны анықталды. Бадам өзенінің гидрологиялық режиміне халық санының өсуі, егіншілік пен ирригациялық қызметтің дамуы, сондай-ақ Бадам суқоймасының реттеуші әсері айтарлықтай ықпал ететіні көрсетілді. Зерттеу нәтижелері су ресурстарын тиімді басқару, экосистемалардың тұрақтылығын бағалау және климаттық, антропогендік факторлардың ықпалын анықтау үшін маңызды.

Мақала жайында:

Жіберілді: 02.10.2025
Қайта қаралды: 06.10.2025
Қабылданды: 06.10.2025
Жарияланды: 08.10.2025

Дәйексөз үшін:

Мусина А., Оспанова М.,
Абдуллаева Ә., Байдашева Г.
Бадам өзені ағындысының
соңғы 10-жылдықтардағы
өзгерісін бағалау //
Гидрометеорология и
экология, 119 (4), 2025, 121-
132.

1. КІРІСПЕ

Өзен ағындысының өзгергіштігі параметрлерін бағалау гидрология саласындағы өзекті мәселелердің бірі болып саналады. Өзен ағындысының өзгергіштігі су жинау алабының морфометриялық параметрлері, жер бедері, климаты сияқты табиғи факторлар, сондай-ақ су қоймалар салу, суды түрлі мақсатта пайдалану үшін бұру сияқты шаралар арқылы көрініс беретін антропогендік факторлар негізінде орын алады. Табиғи өзгерістер өзеннің гидрологиялық режиміне тікелей тәуелді болса, антропогендік өзгерістер өзен ағындысын реттеумен, ондағы қауіпті құбылыстардан қорғанумен және су пайдалану қажеттіліктерін өтеумен байланысты. Халық санының өсуі, ирригациялық қызметтің және қала құрылысының дамуы өзеннің гидрологиялық режиміне айтарлықтай әсер етеді. Қазақстан аумағында өзен ағындысының өзгергіштігін зерттеу мәселесі соңғы жылдары белсенді түрде дамуда [1...6]. Мұндай зерттеулер су ресурстарын тұрақты басқаруда, стратегиялық жоспарларды әзірлеуде үлкен маңызға ие.

Өзен ағындысының өзгергіштігін бағалау, әдетте бақыланған гидрологиялық мәліметтерді талдауға негізделеді, бақылау мәліметтері жоқ болған жағдайда [7...8] ұсынылған әдістермен бірге, түрлі модельдеу әдістері қолданылады [9...11]. Мақалада өзен ағындысының көпжылдық өзгергіштігі Ричард-Бейкер индексі (RBI) арқылы есептеліп, табиғи және антропогендік факторлардың әсері бағаланады.

Шетелдік әдебиеттерде су жинау алабындағы өзен ағындысының өзгеріштігін сандық тұрғыдан бағалау үшін Ричард-Бейкер индексі (RBI) кеңінен қолданылады [12...14]. Аталған индексті қолдану арқылы қол жеткізілген нәтижелер, оның су жинау алабының өлшемдеріне тәуелді екендігін, атап айтқанда шағын су жинау алаптары жағдайында RBI көрсеткіштері ұлғайып, айқын өзгергіштікке ие болады, керісінше үлкен су жинау алаптарында салыстырмалы түрде өзен ағындысының режимі тұрақтылыққа ие болып, RBI көрсеткіштері төмендейді [15]. Сонымен қатар, RBI көрсеткішінің жоғары болуы, өзен ағындысы өзгергіштігінің айқын әрі жиі екендігін көрсетеді. RBI индексі өзен жүйелерінің динамикасына климаттық өзгерістердің қарқынды дәрежесі туралы ақпарат алуға мүмкіндік береді. Зерттеліп отырған жұмыстың мақсаты қарапайым гидрологиялық көрсеткіштерді метеорологиялық мәліметтермен үйлестіре талдау негізінде кіші су жинау алабындағы гидрологиялық режимнің өзгергіштігін бағалау. Өзен ағындысының көпжылдық және жылылық уақыт аралығындағы өзгерістерін зерттеу алаптағы су ресурстарын тиімді басқару, экожүйелердің тұрақтылығын бағалау және ағынды параметрлеріне ықпал ететін климаттық және антропогендік факторлардың өзгеру дәрежесін анықтау үшін маңызды.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу ауданы

Зерттеу объектісі ретінде Арал-Сырдария су шаруашылық алабындағы Арыс өзенінің сол жақ саласы Бадам өзені алынды. Бадам өзені Қаржантау жотасының солтүстік батыс беткейінен 2700 м биіктіктегі бұлақтардан бастау алады. Жалпы ұзындығы 141 км, ал су жинау алабы (1-сурет) ауданы 4224...4840 км² [16...18]. Өзеннің орташа жылдық ағындысы шамамен 4.51 м³/с (Қараспан каналы тұсында) құрайды, бірақ ол маусымдық жауын-шашын мен суармалы егіншілік әсерінен айтарлықтай өзгеріп отырады. Өзен жоғары ағысында еріген қар суымен және көптеген бұлақтардан қоректенеді, ал орта ағысына қарай грунт суларымен толығады. Өзен арнасының ені 15 м-ге дейін жетеді, ал тереңдігі 0.5 м құрайды, Арыс өзеніне құяр тұсында ағыс жылдамдығы 0.7 м/с тең. Өзен ағындысы арықтар жүйесімен бау-бақшалар мен егіншілік алқаптарын сумен қамтамасыз ететін Бадам суқоймасы арқылы реттелген.



Сурет 1. Бадам өзені алабы

Өзен алабында жауын-шашын мөлшері жылына орта есеппен 150...400 мм аралығында, ал жылдық орташа температура шамамен $+11^{\circ}\text{C}$ құрайды [19]. Ылғалдану коэффициенті төмен, булану мөлшері жауын-шашыннан едәуір жоғары. Бұл жағдай өзен ағындысының режиміне және оның жылышылық өзгергіштігіне айтарлықтай ықпал етеді.

Бадам өзені ағындысының өзгергіштігін бағалау үшін гидрометеорологиялық бақылау мәліметтері «Қазгидромет» РМК желісіне қарасты (https://meteo.kazhydromet.kz/database_hydro/) кадастрлық мәліметтер мен климаттық анықтамалардан алынды. Су өтімі мәндері бақылау ұзақтығы 80 жылдан астам уақытты құрайтын 1 тұстама, 60 жылға жуық уақытты құрайтын 2 тұстама және 40 жылға жуық уақыт аралығын қамтитын 3 тұстама бойынша жиналды (1-кесте). Бадам өзені ағындысының өзгергіштігін бағалау мақсатында алап ауданындағы Шымкент метеостанциясының жауын-шашын және ауа температурасы мәліметтері климаттық анықтамалардан және (https://meteo.kazhydromet.kz/climate_kadastr/) сайтынан алынды.

Кесте 1

Бадам өзені алабындағы гидрологиялық бекеттердің негізгі сипаттамалары

№	Бекеттің атауы	Өзен	Сағадан қашықтығы, км	Су жинау алабы		Зерттелуі	
				F, км ²	H _{ор.} , м	Жылдар	Жылдар саны
1	Бадам ө. – Қараспан б.	Бадам	1.5	4370	5.00	1924...1934, 1943...1955, 1957...1968, 1970...1975, 1977...2022	83
2	Бадам ө. – Қызылжар б.	Бадам	65	1970	6.50	1953...1977, 1979...1982, 1984...1991, 1994, 2006...2022	55
3	Бадам ө. – Михайловка б.	Бадам	0.6	586	4.50	1927, 1930, 1937...1942, 1966...1999	39
4	Сайрам ө. – Тасарық а.	Сайрам	42	468	1099.9	1926, 1930, 1963...2022	62
5	Эрмекбадам ө. – Карл Маркс б.	Улучур	48	17.5	851	1947...1986, 1988, 1991...1998	37
6	Бургулюк ө. – Скрепнево а.	Улучур	32	31.5	421	1937...1943, 1947...1958, 1960...1984, 1991...1993	41

Зерттеуде пайдаланылған гидрологиялық бекеттер саны қойылған міндеттерді шешуге қажетті дәлдікпен нәтижелер алуға жеткілікті, әрі таңдап алынған бақылау желісінің қазіргі жағдайларда өзен ағындысының кеңістіктік-уақыттық ерекшеліктерін сенімді бағалауға мүмкіндік береді.

Бадам өзені бойынша ағынды өзгергіштігін бағалау жұмыстары бірнеше кезеңдерді қамтиды. Ең алдымен гидрологиялық бақылау қатарларының бастапқы мәліметтері жиналып, ұқсас өзен әдісі арқылы [20] талаптарына сай, қалпына келтірілді.

Климаттың қазіргі жылынуының өзен ағындысына ықпалын зерттеу үшін соңғы 10-жылдықтардағы кезең 1966...2022 жж. – климаттың жылыну кезеңі бағаланды. Бұл кезең статистикалық сипаттамаларды анықтау және өзен ағындысының тербелісін бағалау үшін ұсынылатын есептік кезең ретінде қабылданды.

Бақылау қатарларының біртектілігі мен стационарлығын бағалау мақсатында жылдық орташа су өтімдерінің уақыттық қатарлары зерттелді. Біртектілік генетикалық және статистикалық талдаулар [21] арқылы айқындалды. Өзен ағындысын сандық бағалау мақсатында оның орташа мәндерінің айырмашылығын бағалау үшін Стьюдент критерийі, ал дисперсияларының біртектілігін тексеру үшін Фишер критерийі қолданылды.

Бадам өзенінің Қараспан, Михайловка және Қызылжар бекеттерінде өзен ағындысы Фишер критерийі бойынша біртекті, ал Стьюдент және Вилькоксон критерийлері бойынша біртекті емес екендігі анықталса, Сайрам өзенінің Тасарық бекетінде аталған барлық критерийлер бойынша ағындының біртекті екендігі расталды. Ал, Бургулюк ө - Скрепнево а. тұстамасында біртекті емес болса, Эрмекбадам ө - Карл Маркс б. тұстамасында Фишер критерийі бойынша біртекті емес, ал Стьюдент және Вилькоксон критерийлері бойынша біртекті екендігі анықталды. Бұл ерекшелік табиғи-климаттық және антропогендік факторлардың ықпалымен түсіндіріледі. Уақыттық қатарларды талдау барысында өткен ғасырдың екінші жартысынан бастап орташа мәндер мен дисперсиялар бойынша статистикалық тұрғыдан мәнді айырмашылықтар анықталды. Қолда бар бақылау қатарларының репрезентативтілігін бағалау үшін орташа квадраттық қателік есептелді. Жүргізілген есептеулер барлық гидрологиялық бекеттер бойынша қателік 20%-дан аспайтынын көрсетті, демек, алынған қатарлар зерттеу үшін жеткілікті дәрежеде репрезентативті болып табылады.

Жалпы зерттеу барысында математикалық-статистикалық талдау әдісі, экстраполяция және корреляция әдістері, интегралды жиынтық және айырымдық қисықтары [22...24], RBI әдісі қолданылды. Бұл әдістер ағындының уақыттық өзгерістерін анықтауда кеңінен қолданылып, зерттеудің ғылыми негізділігін арттырып, климаттық өзгерістер жағдайында өзен ағындысының кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін жан-жақты бағалауға мүмкіндік берді.

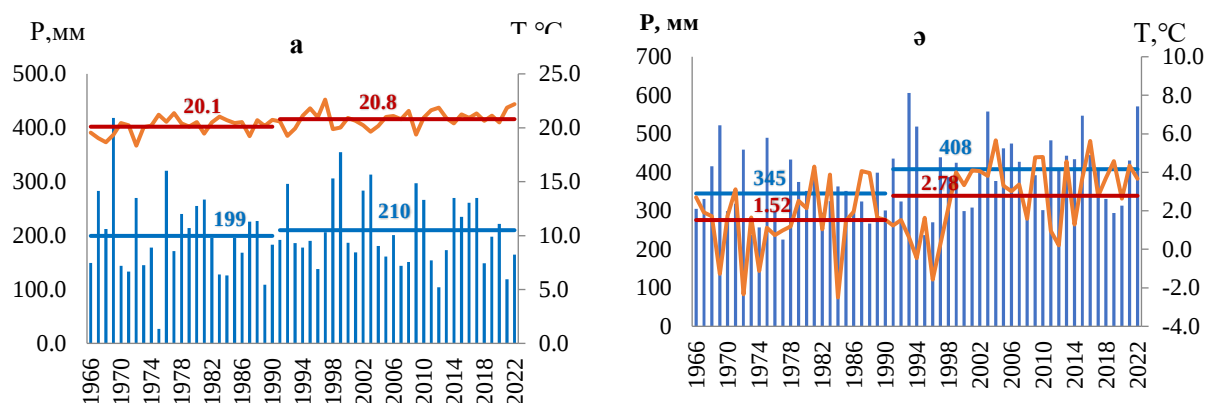
Гидрологиялық режимнің өзгеруінің әсерін сандық түрде бағалау үшін бірнеше әдістер қолданылады. Солардың ішінде Ричард Бейкер индексі (RBI) өзен ағындысының уақыттық өзгерістерінің қарқындылығын сипаттауға мүмкіндік береді. Бұл көрсеткіш өзеннің ағынды режиміндегі тұрақсыздықты бағалап, өзен экожүйелеріне сыртқы әсердің артқан кезеңдерінде (мысалы, гидротехникалық имараттар салынғаннан кейін немесе климаттық өзгерістер жағдайында) тиімді әдіс ретінде қолданылады [13...15].

RBI көрсеткіштері уақыт бойынша өзгергіштікке ие, RBI мәндерінің кейбір тербелістері табиғи климаттық өзгерістерге байланысты орын алады. Қарастырылып отырған аудандағы климаттық өзгерістерді бағалау үшін Шымкент метеостанциясының ауа температурасы мен жауын-шашын мәндері жинақталып, салқын және жылы кезең бойынша топтастырылып, талданды. Жылдың жылы мезгіліндегі (сәуір-қыркүйек) ауа температурасының мәндері 1966...2022 жж. үшін 19.4...23.8 °C аралығын құрады [25].

Бадам өзені ағындысына климаттық факторлардың әсерін анықтау үшін Шымкент метеостанциясының 1966...2022 жылдар аралығындағы мәліметтері пайдаланылды. Әрбір жыл бойынша ауа температурасының орташа мәні мен жауын-шашын мөлшері жылы (сәуір-қазан) және суық (қараша-наурыз) маусымдар үшін жеке есептелді. Мұндай маусымдық бөлініс өзен ағындысының қалыптасу фазаларына сәйкес келеді. Егер суық кезеңде ылғал қар түрінде жиналып, өзендегі ағынды көлемі азайса, ал жылы кезеңде қардың еруі мен жауын-шашын есебінен негізгі су көлемі қалыптасады. Оңтүстік аудандардағы маусымдар бөлінісінде жылы маусым сәуір-қыркүйек айларымен шектелгендігіне [25...26] қарамастан, қазан айының жылы маусым құрамына қосылуы осы айдағы жауын-шашынның Бадам өзені қоректенуіндегі елеулі мөлшеріне байланысты түсіндіріледі. Климаттық

өзгерістердің ұзақмерзімді тенденцияларын бағалау мақсатында зерттелген уақыт аралығы екі кезеңге бөлінді: 1966...1990 және 1991...2022 жылдар. Есептеулер нәтижесінде екінші кезеңде 2 маусым бойынша орташа ауа температурасы мен жауын-шашынның артқаны анықталды. Жылы маусымда ауа температурасы 0.7°C , ал жауын-шашын мөлшері 10.6 мм артса, салқын маусымдағы өзгерістер айтарлықтай мәнге ие және сәйкесінше 1.3°C пен 62.1 мм құрайды (2-сурет). Бұл Бадам өзені алабындағы климаттың жылынуын көрсетіп, өзен ағындысының жылшылық таралуына әсер етеді.

Жауын-шашын, ауа температурасы және ағынды Манн-Кендалл тесті арқылы талдау 2...3 кестелерде келтірілген.



2 сурет. 1966...2022 жылдардағы Шымкент метеостанциясының жауын-шашын (P) және ауа температурасы (T) көрсеткіштері: а) жылы кезең үшін ә) суық кезең үшін

Кесте 2

Жауын-шашын және ауа температурасы мәндерін Манн-Кендалл тесті арқылы трендік талдау

Тренд	Жауын-шашын	Ауа температурасы
Шымкент метеостанциясы, 1966...2022 жылдар аралығындағы жылы кезең үшін		
Z	-0.15836	1.7297
S	-2.400000e+01	7.370000e+02
p-value	0.8742	0.08368
varS	2.109400e+04	1.810510e+05
Шымкент метеостанциясы, 1966...2022 жылдар аралығындағы суық кезең үшін		
Z	2.4852	1.2202
S	3.620000e+02	4.980000e+02
p-value	0.01295	0.2224
varS	2.110067e+04	1.659100e+05

Талдау нәтижелері бойынша Шымкент метеостанциясында жылы маусымдардағы (сәуір-қазан) Манн-Кендалл статистикасы зерттелген кезеңде айтарлықтай өзгеріс байқалмағандығын көрсетті. Z статистикасының теріс мәні (-0.158) жауын-шашынның төмендеуін көрсетеді, бірақ ол статистикалық тұрғыда расталмайды. Ал ауа температурасы үшін Z оң (1.7297), $p\text{-value} = 0.08368$ болып, бұл нәтиже мәнділік деңгейіне ($p < 0.05$) жетпесе де, 0.1 шегінде орналасқандықтан, жылы маусымда температураның көтерілуін, бірақ оның статистикалық мәнділігі шектеулі екендігін көрсетті. Суық маусым (қараша-наурыз) үшін жауын-шашын бойынша Манн-Кендалл тесті статистикалық тұрғыдан мәнді нәтиже көрсетті ($Z = 2.4852$, $p = 0.01295$), сондықтан нөлдік гипотеза H_0 (трендтің жоқтығы) қабылданбайды және

жауын-шашын көлемінің өсуі байқалады. Ал ауа температурасы үшін Z оң (1.2202) болғанымен, p мәні (0.2224) 0.05-тен әлдеқайда жоғары болғандықтан, нөлдік гипотеза жоққа шығарылмайды және сенімді тренд анықталмады.

Манн-Кендалл тестінің нәтижелері бойынша Бадам ө. – Қараспан б. және Бургулюк ө - Скрепнево а. бекеттерінде өзен ағындысының статистикалық тұрғыда мәнді ($p < 0.05$) екендігі және оның өсуі анықталды. Ал, Бадам ө. – Михайловка б., Бадам ө. – Қызылжар б., Сайрам ө.- Тасарық а. және Эрмекбадам ө – Карл Маркс б. бекеттерінде байқалған өзгерістер статистикалық тұрғыда мәнді деп танылмайды. Z мәндері 3-кестеге сәйкес кейбір бекеттерде өсу, кейбірінде төмендеуін көрсетті, бірақ $p > 0.05$ болғандықтан, бұл тенденция сенімді деп есептелмейді.

Кесте 3

Өзен ағындысының орташаланған мәндерін Манн-Кендалл тесті арқылы 1966...2022 жж. аралығы үшін трендік талдау

Тренд	Су өтімі	Тренд	Су өтімі
Бадам ө. – Қараспан б.		Сайрам ө.- Тасарық а.	
Z	2.1084	Z	-0.69995
S	8.610000e+02	S	-2.860000e+02
p-value	0.035	p-value	0.484
varS	1.663783e+05	varS	1.657900e+05
Бадам ө. – Михайловка б.		Эрмекбадам ө – Карл Маркс б	
Z	1.3213	Z	0.63456
S	5.390000e+02	S	2.440000e+02
p-value	0.1864	p-value	0.5257
varS	1.657990e+05	varS	1.466433e+05
Бадам ө. – Қызылжар б.		Бургулюк ө - Скрепнево а.	
Z	1.4389	Z	2.3422
S	5.880000e+02	S	8.980000e+02
p-value	0.1502	p-value	0.01917
varS	1.664333e+0	varS	1.466727e+05

Бадам өзені алабының 6 гидрологиялық бекеті бойынша 1966...2022 жылдардағы ұзақ мерзімді өзгерістерді талдау үшін ағындының көпжылдық өзгергіштік дәрежесінің C_v [27] және өзгергіштіктің қысқа мерзімді сипатын көрсететін Ричард Бейкер индексі (RBI) есептеліп, қолданылды. Ағындының құбылмалылығы (C_v) Бадам өзені тұстамалары бойынша көпжылдық бақылау қатарының орташа жылдық мәндері үшін есептелді. Өзен ағындысының қысқа мерзімді өзгеру жылдамдығын анықтау үшін қолданылған динамикалық RBI индексі төмендегі формула негізінде анықталды:

$$RB\ Index = \frac{\sum_{i=n}^n |q_i - q_{i-1}|}{\sum_{i=n}^n q_i} \quad (1)$$

мұндағы: q – орташа айлық су өтімдері, i – ай, $n = 12$, RBI 0 - ден 2 аралығын қамтимын ауқымды өлшемсіз индекс[14...15, 28]. RBI индексі ағындының өзгергіштігін көрсетеді, нөл мәні ағындының салыстырмалы тұрақтылығын көрсетсе, индекстің жоғары мәндері тербелістің қарқындылығын сипаттайды.

RBI және C_v арасындағы байланысты анықтау үшін корреляция коэффициенті (r) қолданылды. Статистикалық есептеулер R және MS Excel кестелік редакторын қолдана отырып жүргізілді.

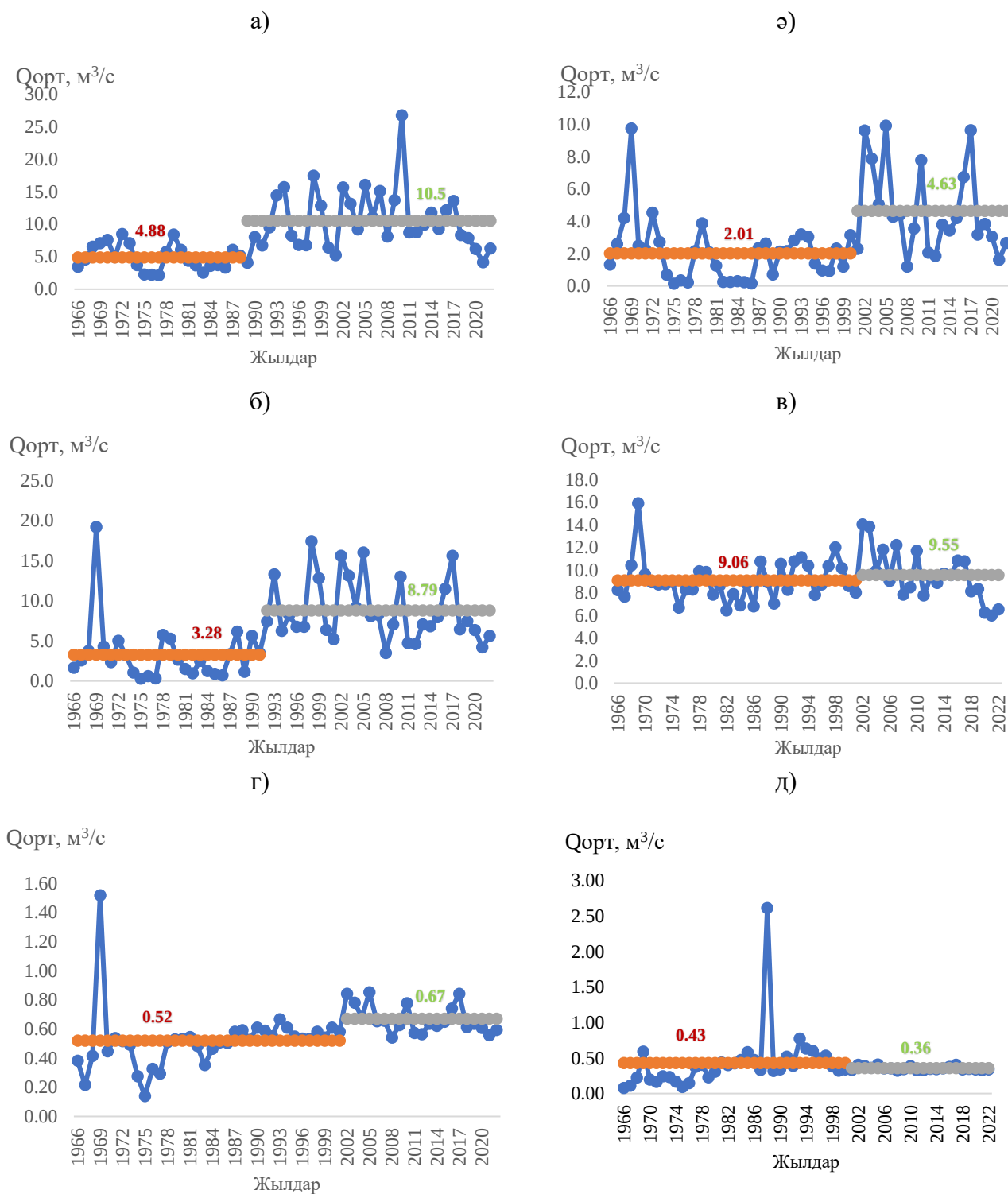
3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Бадам алабы өзендерінің 6 гидрологиялық бекеті бойынша тұрғызылған 1966...2022 жылдардағы су өтімдерінің хронологиялық графигі мынадай қорытынды алуға мүмкіндік берді: Бадам өзенінің Қараспан, Михайловка, Қызылжар бекеттерінде және де Эрмекбадам өзенінің Карл Маркс б. тұстамаларында орташа жылдық су өтімі жүрісінің өзгерісі шамамен 1990 жылдардан бастап байқалатыны анықталды. Ал Бадам өзенінің салалары Сайрам өзенінің Тасарық тұстамасында және Бургулюк өзенінің Скрепнево а. тұстамасында шамамен 2000 жылдардан орташа жылдық су өтімдерінің өзгеріске ұшырайтындығы анықталды (3-сурет). Нақтырақ айтқанда, Бадам өзенінің Қараспан, Михайловка, Қызылжар бекеттерінде 53.5%, 56.5%, 62.7% және Сайрам өзенінің Тасарық тұстамасы мен Бургулюк өзенінің Скрепнево а. бекетінде 22.2 % бен 5.1% аралығындағы ағынды мөлшерінің артқаны байқалса, ал Эрмекбадам өзенінің Карл Маркс б. тұстамасында 16.2 % төмендегенін көрсетті.

1966...2022 жылдар аралығында жүргізілген зерттеу нәтижелері Бадам өзені алабында ауа температурасы мен жауын-шашын мөлшерінің біртіндеп арту үрдісін көрсетті. Бұл факторлар өзен ағындысының маусымдық және жылдық өзгергіштігіне, әсіресе ағындының қысқа мерзімді ауытқуына әсер етті. Бадам өзені ағындысының көпжылдық тербелісін бағалау мақсатында жоғарғы ағысында Михайловка б., орта ағысында Қызылжар б. және төменгі ағысында Қараспан б. тұстамаларында айлық RBI көрсеткіштері екі кезең 1966...1990 жж. және 1991...2022 жж. бойынша есептелді (4-кесте). Жоғарғы ағыста орналасқан Михайловка б. тұстамасында айлық RBI мәндері алдыңғы кезеңмен салыстырғанда 1991...2022 жж. аралығында, әсіресе, сәуір-шілде айларында төмендеген. Бұл құбылыс көктемгі және жазғы су тасқындарының сиреуімен байланысты. Сонымен қатар күзгі айлардағы RBI шамасының өсуі ағынды режиміндегі жаңбырлық тасқындардың әлі де маңызды рөл атқаратынын көрсетеді. Орта ағысындағы Қызылжар б. тұстамасында айлық RBI мәндерінің төмендеуі айқын байқалады. Сәуір-тамыз айларында RBI көрсеткіштерінің 0,5-1,0 бірлікке азаюы ағындының айқын тегістелуін және тасқындық тербелістердің сиреуін көрсетеді. Мұндай өзгерістер өзенде салынған су қоймалары арқылы ағынды реттеу және суармалы егіншілікке суды қарқынды пайдалану әсерімен түсіндіріледі. Төменгі ағыстағы Қараспан б. тұстамасында да RBI мәндерінің төмендеуі байқалады, дегенмен ол өзгерістер орта ағыспен салыстырғанда әлсіздеу. Мұнда ағындының өзгергіштігі шаруашылық қызметпен ішінара реттелгенімен, табиғи гидрометеорологиялық процесстер мен антропогендік ықпалдың әсері әлі де сақталғандығын көрсетеді. Соңғы 10-жылдықтарда Бадам өзені алабында ағындының тербелістері тегістеліп, өзгергіштігі азайғандығы байқалады. Ең айқын өзгерістер орта ағыспен байланысты, мұнда антропогендік факторлар жазғы-күзгі тасқындардың сиреуімен және салқын кезеңдегі жауын-шашындармен ұштасып, өзеннің гидрологиялық режимінің айтарлықтай трансформацияға ұшырағандығын көрсетті.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Соңғы 10-жылдықтардағы Бадам өзенінің ағынды тербелістерін зерттеу климаттық өзгерістер мен су ресурстарын қарқынды шаруашылық мақсатта пайдалану жағдайында өзен режимінің көпжылдық және жылылық өзгерістерінің заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік берді. Алап бойынша 6 гидрологиялық бекет мәліметтері негізінде су өтімі қатарлары қалпына келтіріліп, біртектілігі тексерілді және статистикалық талдаудан өткізілді.



3 сурет. 1966...2022 жылдардағы Бадам алабы өзендерінің орташа жылдық ағындысының жүргісі а) Бадам ө. – Қараспан б.; ә) Бадам ө. – Михайловка б.; б) Бадам ө. – Қызылжар б.; в) Сайрам ө. – Тасарық а.; г) Бургулюк ө. – Скрепнево а., д) Эрмекбадам ө. – Карл Маркс б.

Кесте 4*Бадам өзенінің негізгі тұстамалары бойынша есептелген айлық RBI мәндері*

Өзен-бекет	Кезеңдер	RBI мәндері											
		Айлар											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Бадам-Қараспан	1966...1990	0.37	0.39	0.44	0.70	0.79	1.20	0.83	0.59	0.36	0.46	0.37	0.30
	1991...2022	0.23	0.27	0.41	0.68	0.79	0.88	0.70	0.55	0.38	0.34	0.31	0.30
	Δ	-0.14	-0.12	-0.03	-0.02	0	-0.32	-0.13	-0.04	0.02	-0.12	-0.06	0
Бадам-Михайловка	1966...1990	0.44	0.90	0.91	0.88	0.85	1.30	1.07	0.75	0.77	0.70	0.40	0.54
	1991...2022	0.45	0.52	0.66	0.75	0.84	1.09	0.89	0.78	0.93	0.62	0.47	0.36
	Δ	0.01	-0.38	-0.25	-0.12	-0.01	-0.21	-0.18	0.03	0.16	-0.08	0.07	-0.18
Бадам-Қызылжар	1966...1990	0.44	0.64	1.02	1.24	1.13	1.53	1.70	1.41	1.11	1.02	1.14	0.61
	1991...2022	0.36	0.43	0.48	0.66	0.80	0.91	0.72	0.57	0.51	0.45	0.41	0.32
	Δ	-0.08	-0.22	-0.54	-0.58	-0.33	-0.61	-0.98	-0.84	-0.60	-0.57	-0.73	-0.29

Сонымен қатар ауа температурасы мен жауын-шашын көрсеткіштері талданып, маусымдық бөліністе елеулі өзгерістер бары анықталды. 1966...1990 және 1991...2022 жж. екі кезеңді салыстыру нәтижесінде режимдік сипаттамалардың ығысуы байқалды: көктемгі қар еріген кездегі ағынды үлесі артты, ал жазғы-күзгі сабалық ағындының азаюы байқалды. Жылышылық өзгерістер RBI мәндерімен расталды, екінші кезеңдегі көрсеткіштер бірінші кезеңмен салыстырғанда әлдеқайда төмен, бұл ағынды тербелістерінің тегістелуімен және ағындының антропогендік және климаттық факторлар негізінде трансформациялануымен түсіндіріледі. Соңғы онжылдықтардағы Бадам өзені ағындысындағы өзгерістер кешенді сипатқа ие және климаттық факторлардың (температураның жоғарылауы, жауын-шашынның қайта үлестірілуі) шаруашылық қызметпен (ағындыны реттеу, қарқынды су пайдалану) ұштасуымен анықталуда. Айқындалған процестер су ресурстарын басқару стратегиясын жетілдіру, су пайдалануды жоспарлау, болашақта климаттық өзгерістерді ескеретін бейімделу шараларын қабылдау және Шымкент қаласын сумен жабдықтау жүйесін басқару, сондай-ақ су қоймаларды тиімді пайдалану барысында ескерілуі қажет.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

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

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау – МКА; деректерді басқару – АКМ, ӘСА; Ресми талдау – АКМ, МСО; Әдістеме - ГЖБ; Визуализация – АКМ, ӘСА; Бастапқы жобаны жазу – АКМ; МСО; ГЖБ; Шолу және редакциялау – АКМ, МСО, ӘСА.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Ekolu J., van Wyk G., Tesfamariam S. (2022). Long-term variability in hydrological droughts and floods. Journal of Hydrology. Vol. 610. Article 127964. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.127964
- 2 Clausen B., Biggs B.J.F. (2000). Flow variability indices for riverine environmental studies. Water Resources Research. Vol. 36, № 9. P. 2403–2414. DOI: 10.1029/2000WR900033.
- 3 Алимкулов С.К., Турсунова А.А., Сапарова А.А. Ресурсы речного стока Казахстана в условиях будущих климатических и антропогенных изменений // Гидрометеорология и экология. – 2021. – № 1. – С. 59–71.
- 4 Yapiyev V., Ongdas N., Saidaliyeva Z., Zhiyenbek A., Smogulova T., Baigaliyeva M., Prikaziuk E. (2025). Baseline information and regionalization of the large river basins of Kazakhstan. Frontiers in Water. Vol. 7. Article 1601671. DOI: 10.3389/frwa.2025.1601671.
- 5 Мустафаев Ж., Козыкеева А., Шугайып У., Абдешев К., Турсынбаев Н. Анализ и оценка тенденции изменения гидрологического режима рек в водосборе бассейна реки Нура // Гидрометеорология и экология. – 2025. – № 1. – С. 8–23. – DOI: 10.54668/2789-6323-2025-116-1-8-23.
- 6 Достай Ж. Д., Алимкулов С. К., Сапарова А.А. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана. – 2012. – Кн. 2. – 360 с.

- 7 Методическое указание по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановление его характеристик. -1986. – Л. : Гидрометеиздат.
- 8 СП-33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – Москва, 2004: Госстрой России – 71 с.
- 9 Westerberg I. K. (2022) Hydrological model calibration with uncertain discharge data: tests with HBV. *Hydrological Processes*.
- 10 Нурбашина А.А., Дидовец Ю., Лобанова А.П. Применение модели HBV-light для моделирования стока реки Шарын // *Гидрометеорология и экология*. – 2019. – № 3. – С. 26–43.
- 11 Тиллакарим Т.А., Серикбай Н.Т., Сатмурзаев А.А., Саиров С. Моделирование стока горных рек Илейского Алатау с применением модели HBV-light // *Центральноазиатский журнал исследований водных ресурсов*. - 2024. – Т. 10, № 1. – С. 1–20. – DOI: 10.29258/CAJWR/2024-R1.v10-1/1-20.rus.
- 12 Johnson B. G., Morris C. S., Mase H. L., Whitehouse P. S., Paradise C. J. (2022) Seasonal flashiness and high frequency discharge events in headwater streams in the North Carolina Piedmont (United States). *Hydrological Processes*. Vol. 36, № 3.
- 13 Yao L., Libera D.A., Kheimi M., Sankarasubramanian A., Wang D. (2020). The roles of climate forcing and its variability on streamflow at daily, monthly, annual, and long-term scales. *Water Resources Research*. Vol. 56. e2020WR027111. DOI: 10.1029/2020WR027111.
- 14 Baker D. B., Richards R. P., Loftus T. T., Kramer J. W. (2004). A new flashiness index: characteristics and applications to Midwestern rivers and streams. *Journal of the American Water Resources Association*. Vol. 40, № 2. P. 503–522. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2004.tb01046.x.
- 15 Application of the Richards-Baker Flashiness Index to Gaged Michigan Rivers and Streams (2024). Michigan Department of Environmental Quality. Nov 22.
- 16 Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 14, вып. 1: Бассейны рек Средней Азии. Бассейн реки Сырдарья. – Л.: Гидрометеиздат, 1965.
- 17 Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 14, вып. 1: Бассейн реки Сырдарья. – Л. : Гидрометеиздат, 1969.
- 18 Жумабаев А., Шведхельм Х., Марти Б., Рагеттли С., Зигфрид Т. Водные истории из Туркестана: вызовы и возможности для Бадам-Сайрамской водной системы в условиях изменения климата // *Центральноазиатский журнал исследований водных ресурсов*. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 139–165.
- 19 Каталог водопользования бассейна реки Сырдарья в пределах Казахской ССР за 1985 г. – Шымкент, 1987.
- 20 Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. – СПб. : Нестор-История, 2010.
- 21 Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.– Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
- 22 СТО ГГИ 52.08.41–2017. Основные гидрологические характеристики при нестационарности временных рядов, обусловленной влиянием климатических факторов. Рекомендации по расчету / ФГБУ «Государственный гидрологический институт». – СПб., 2017. – 46 с.
- 23 СП-33-101. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – М. : Госстрой России, 2003. – 71 с.
- 24 Сикан, А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации : учебник. – СПб. : Изд-во РГГМУ, 2007. – 279 с.
- 25 Наурызбаева, Ж. К. Климатические характеристики осадков и температуры воздуха на территории южного и юго-восточного Казахстана в теплый период // *Гидрометеорология и экология*. – 2011. – № 3. – С. 95–101.
- 26 Нысанбаева, А.С., Талипова, Э.К. Өзен ағындысының көпжылдық жүрісіне климаттың заманауи өзгерістерінің тигізетін әсері // *Materials International Scientific Conference of Students and Young Scientists «Farabi alemi»*. – Алматы : Қазақ университеті, 2020. – С. 69–74.
- 27 Давлетгалиев, С.К. Статистические методы обработки гидрологической информации : учебник. – Алматы: Қазақ университеті, 2015. – 276 с.
- 28 Nagy P., Kubiak-Wójcicka K., Káposztásová D., Zeleňáková M., Vranay, F. (2023). Flow characteristics of the Hornád River and the anthropogenic impact of the Ružín dam for the period 1973–2020. *Frontiers in Environmental Science*. Vol. 11. Article 1203965. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1203965.

REFERENCES

- 1 Eklou J., van Wyk G., Tesfamariam S. (2022). Long-term variability in hydrological droughts and floods. *Journal of Hydrology*. Vol. 610. Article 127964. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.127964
- 2 Clausen B., Biggs B.J.F. (2000). Flow variability indices for riverine environmental studies. *Water Resources Research*. Vol. 36, № 9. P. 2403–2414. DOI: 10.1029/2000WR900033.
- 3 Alimkulov, S.K., Tursunova, A.A., Saparova, A.A. (2021). Resursy rechnogo stoka Kazakhstana v usloviyah budushchih klimaticheskikh i antropogennykh izmenenij [River flow resources of Kazakhstan under future climatic and anthropogenic changes]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, No 1. P. 59–71.
- 4 Yapiyev V., Ongdas N., Saidaliyeva Z., Zhiyenbek A., Smogulova T., Baigaliyeva M., Prikaziuk E. (2025). Baseline information and regionalization of the large river basins of Kazakhstan. *Frontiers in Water*. Vol. 7. Article 1601671. DOI: 10.3389/frwa.2025.1601671.
- 5 Mustafaev ZH., Kozykeeva A., SHugajyp U., Abdeshev K., Tursynbaev N. (2025). Analiz i ocenka tendencii izmeneniya gidrologicheskogo rezhima rek v vodosbore bassejna reki Nura [Analysis and assessment of trends in changes in the hydrological regime of rivers in the Nura River basin catchment area]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. No 1. P. 8–23. DOI: 10.54668/2789-6323-2025-116-1-8-23.
- 6 Dostaj ZH.D., Alimkulov S.K., Saparova A.A. (2012). Vozobnovlyaemye resursy poverhnostnykh vod yuga i yugo-vostoka Kazakhstana [Renewable surface water resources in southern and southeastern Kazakhstan]. Kn. 2. 360 p.
- 7 Metodicheskoe ukazanie po ocenke vliyaniya hozyajstvennoj deyatelnosti na stok srednih i bol'shih rek i vosstanovlenie ego harakteristik [Methodological guidelines for assessing the impact of economic activity on the flow of medium and large rivers and restoring its characteristics] (1986). L.: Gidrometeoizdat.
- 8 SP-33-101 (2003). Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh harakteristik [Determination of basic calculated hydrological characteristics]. Moskva : Gosstroj Rossii. 71 p.
- 9 Westerberg I. K. (2022) Hydrological model calibration with uncertain discharge data: tests with HBV. *Hydrological Processes*.
- 10 Nurbacina, A.A., Didovec, YU., Lobanova, A.P. (2019). Primenenie modeli HBV-light dlya modelirovaniya stoka reki SHaryn // *Gidrometeorologiya i ekologiya*. No 3. P. 26–43.

- 11 Tillakarim T.A., Serikbaj N.T., Satmurzaev A.A., Sairov S. (2024). Modelirovanie stoka gornyh rek Ilejskogo Alatau s primeneniem modeli HBV-light [Modeling of mountain river runoff in the Ili Alatau using the HBV-light model]. Central'noaziatskij zhurnal issledovaniy vodnyh resursov. Vol. 10, № 1. P. 1–20. DOI: 10.29258/CAJWR/2024-R1.v10-1/1-20.rus.
- 12 Johnson B. G., Morris C. S., Mase H. L., Whitehouse P. S., Paradise C. J. (2022) Seasonal flashiness and high frequency discharge events in headwater streams in the North Carolina Piedmont (United States). Hydrological Processes. Vol. 36, No 3.
- 13 Yao L., Libera D.A., Kheimi M., Sankarasubramanian A., Wang D. (2020). The roles of climate forcing and its variability on streamflow at daily, monthly, annual, and long-term scales. Water Resources Research. Vol. 56. e2020WR027111. DOI: 10.1029/2020WR027111.
- 14 Baker D. B., Richards R. P., Loftus T. T., Kramer J. W. (2004). A new flashiness index: characteristics and applications to Midwestern rivers and streams. Journal of the American Water Resources Association. Vol. 40, No 2. P. 503–522. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2004.tb01046.x.
- 15 Application of the Richards-Baker Flashiness Index to Gaged Michigan Rivers and Streams (2024). Michigan Department of Environmental Quality. Nov 22.
- 16 Resursy poverhnostnyh vod SSSR [Surface water resources of the USSR]. (1965) Gidrologicheskaya izuchennost'. Vol. 14, No 1: Bassejny rek Srednej Azii. Bassejn reki Syrdar'i. L.: Gidrometeoizdat.
- 17 Resursy poverhnostnyh vod SSSR [Surface water resources of the USSR]. (1969). Vol.14, No. 1: Bassejn reki Syrdar'i. L.: Gidrometeoizdat
- 18 Zhumabaev A., SHvedhel'm H., Marti B., Ragettli S., Zigfrid T. (2024) Vodnye istorii iz Turkestana: vyzovy i vozmozhnosti dlya Badam-Sajramskoj vodnoj sistemy v usloviyah izmeneniya klimata [Water stories from Turkestan: challenges and opportunities for the Badam-Sairam water system in the context of climate change]. Central'noaziatskij zhurnal issledovaniy vodnyh resursov. Vol. 10, No 2. P. 139–165.
- 19 Katalog vodopol'zovaniya bassejna reki Syrdar'i v predelakh Kazahskoj SSR za 1985 g. [Catalogue of water use in the Syr Darya River basin within the Kazakh SSR for 1985] (1987). SHymkent.
- 20 Metodicheskie rekomendacii po ocenke odnorodnosti gidrologicheskikh harakteristik i opredeleniyu ih raschetnyh znachenij po neodnorodnym dannym [Methodological recommendations for assessing the uniformity of hydrological characteristics and determining their calculated values based on heterogeneous data.] (2010). SPb.: Nestor-Istoriya.
- 21 Posobie po opredeleniyu raschetnyh gidrologicheskikh harakteristik [Guide to determining calculated hydrological characteristics]. (1984) L. : Gidrometeoizdat. 448 p.
- 22 STO GGI 52.08.41 (2017). Osnovnye gidrologicheskie harakteristiki pri nestacionarnosti vremennyh ryadov, obuslovlennoj vliyaniem klimaticheskikh faktorov. Rekomendacii po raschetu [Key hydrological characteristics in the case of time series non-stationarity caused by climatic factors. Recommendations for calculation.]. FGBU «Gosudarstvennyj gidrologicheskij institut». SPb.: GGI. 46 p.
- 23 SP-33-101 (2003). Opredelenie osnovnyh raschetnyh gidrologicheskikh harakteristik [Determination of basic calculated hydrological characteristics]. M.: Gosstroj Rossii. 71 p.
- 24 Sikan A.V. (2007) Metody statisticheskoy obrabotki gidrometeorologicheskoy informacii : uchebnik [Methods of statistical processing of hydrometeorological information: textbook]. SPb.: Izd-vo RGGMU. 279 p.
- 25 Naurozbaeva ZH.K. (2011) Klimaticheskie harakteristiki osadkov i temperatury vozduha na territorii yuzhnogo i yugo-vostochnogo Kazahstana v teplyj period [Climatic characteristics of precipitation and air temperature in southern and southeastern Kazakhstan during the warm season]. Gidrometeorologiya i ekologiya. No 3. P. 95–101.
- 26 Nysanbaeva A.S., Talipova E.K. (2020) Ōzen aıyındysynıń kópzhıldyq zhıyısine klimatıyń zamanauı ózgeristeriniń tigizetin әseri [The impact of modern climate changes on the long-term course of river flow]. Materials International Scientific Conference of Students and Young Scientists «Farabi alemi». Almaty: Kazaq universiteti. P. 69–74.
- 27 Davletgaliev S.K. (2015) Statisticheskie metody obrabotki gidrologicheskoy informacii: uchebnik [Statistical methods of processing hydrological information : textbook]. Almaty: Kazaq universiteti. 276 p.
- 28 Nagy P., Kubiak-Wójcicka K., Káposztásová D., Zeleňáková M., Vranay, F. (2023). Flow characteristics of the Hornád River and the anthropogenic impact of the Ružín dam for the period 1973–2020. Frontiers in Environmental Science. Vol. 11. Article 1203965. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1203965.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ СТОКА РЕКИ БАДАМ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Айнур К. Мусина к.г.н, ассоциированный профессор, Маржан С. Оспанова* PhD, и.о. доцента,
Әсел С. Абдуллаева PhD, и.о. доцента, Гүлжанат Ж. Байдашева

Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан Aınur.Musina@kaznu.edu.kz,
ospanova.marzhan@kaznu.kz, Abdullayeva.Assel@kaznu.kz, baydashova8@gmail.com
Автор корреспонденции: Маржан С. Оспанова, ospanova.marzhan@kaznu.kz

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

колебания стока,
гидрологический режим,
климатические изменения,
антропогенные факторы,
коэффициент вариации,
индекс Ричарда-Бейкера (RBI)

АБСТРАКТ

В статье рассматривается изменчивость стока реки Бадам за последние десятилетия. В ходе исследования использовались методы математико-статистического анализа, экстраполяции, корреляции, а также интегральные суммарные и разностные кривые. Многолетняя и внутригодовая изменчивость речного стока оценена с помощью индекса Ричардса-Бейкера (RBI). Результаты расчётов позволили выявить влияние как природных

По статье:

Получено: 02.10.2025
Пересмотрено: 06.10.2025
Принято: 06.10.2025
Опубликовано: 08.10.2025

факторов (морфометрические особенности, климат, рельеф), так и антропогенных факторов (строительство водохранилища, развитие ирригационных сетей, городская застройка) на гидрологический режим реки. Анализ колебаний стока показал, что в малых водосборных бассейнах значения RBI выше, тогда как в крупных речных бассейнах наблюдается относительная стабильность. Установлено, что на гидрологический режим реки Бадам существенно влияют рост численности населения, развитие земледелия и ирригационной деятельности, а также регулирующее воздействие Бадамского водохранилища. Результаты исследования имеют важное значение для эффективного управления водными ресурсами, оценки устойчивости экосистем и выявления влияния климатических и антропогенных факторов.

ASSESSMENT OF CHANGES IN THE BADAM RIVER RUNOFF OVER THE LAST DECADES

Ainur Mussina Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Marzhan Ospanova*, PhD, Acting Associate Professor, Assel Abdullayeva, PhD, Acting Associate Professor, Gulzhanat Baydasheva

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan Ainur.Musina@kaznu.edu.kz, ospanova.marzhan@kaznu.kz,
Abdullayeva.Assel@kaznu.kz, baydashova8@gmail.com
Corresponding author: Marzhan S. Ospanova, ospanova.marzhan@kaznu.kz

KEY WORDS

runoff fluctuations,
hydrological regime,
climate change,
anthropogenic factors,
coefficient of variation,
Richards-Baker Index (RBI)

About article:

Received: 02.10.2025
Revised: 06.10.2025
Accepted: 06.10.2025
Published: 08.10.2025

ABSTRACT

This article examines the variability of the Badam River runoff over the past decades. In the course of the study, methods of mathematical and statistical analysis, extrapolation, correlation, as well as integral cumulative and residual curves were applied. The long-term and intra-annual variability of river runoff was assessed using the Richards-Baker Index (RBI). The calculation results revealed the influence of both natural factors (morphometric features, climate, relief) and anthropogenic factors (construction of a reservoir, development of irrigation networks, urbanization) on the hydrological regime of the river. Analysis of runoff fluctuations showed that RBI values are higher in small catchments, while relative stability is observed in larger river basins. It was established that the hydrological regime of the Badam River is significantly affected by population growth, the development of agriculture and irrigation activities, as well as the regulating impact of the Badam Reservoir. The research findings are important for effective water resources management, assessment of ecosystem sustainability, and identification of the impact of climatic and anthropogenic factors.

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