

Ғылыми мақала

ШУ ӨЗЕНІНІҢ ТӨМЕНГІ АҒЫСЫНЫҢ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ РЕЖИМІНІҢ ТҰРАҚСЫЗДЫҒЫ ЖӘНЕ ГИДРОТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ СЕНІМДІЛІГІН АРТТЫРУДАҒЫ ЫҚТИМАЛДЫҚ-СТАТИСТИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРДІҢ РӨЛІ

Нурлиза К. Ержанова* , Жанар О. Озгелдинова  PhD

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан; nur66gidro@mail.ru (HKE), ozgeldinova@mail.ru (ЖОО)

* Автор корреспонденциясы: Нурлиза К. Ержанова, nur66gidro@mail.ru

ТҮЙІН СӨЗДЕР

Гидрологиялық режим, гидротехникалық құрылымдар, гидробекет, Шу өзені, цифрлық модель, ықтималдық-статистикалық әдістер, жылдық ағын, ағынның тұрақсыздығы.

АБСТРАКТ

Мақалада Шу өзенінің төменгі ағысындағы Кіші Арна – Уланбел ауылы гидробекет учаскесінде 1967...2022 жылдар аралығында бақыланған орташа жылдық ағынның көпжылдық өзгергіштігі жан-жақты зерттелген. Зерттеудің мақсаты – жылдық ағынның статистикалық сипаттамаларын анықтау және ықтималдық-статистикалық әдістер негізінде алынған есептік параметрлерді гидротехникалық құрылымдардың сенімділігі мен пайдалану қауіпсіздігін негіздеуде қолдану мүмкіндігін бағалау. Зерттеу барысында көпжылдық бақылау деректері қалпына келтіріліп, моменттер әдісі мен ең жоғары ықтималдық әдісі негізінде статистикалық өңдеу жүргізілді. Жылдық ағынның вариация коэффициенті жоғары ($C_v=1,1$), ал асимметрия коэффициенті оң мәнге ие ($C_s=1,7$) екені анықталды, бұл өзен ағынының айқын өзгермелі әрі тұрақсыз сипатын көрсетеді. Айырымдық интегралдық қисықты талдау нәтижесінде суы аз кезеңдердің ұзаққа созылуы және суы мол кезеңдердің салыстырмалы түрде қысқа әрі қарқынды сипатта болуы анықталды. Қамтамасыздық ықтималдықтары бойынша есептелген су шығындары 50% қамтамасыздықта $4,10 \text{ м}^3/\text{с}$ және $4,20 \text{ м}^3/\text{с}$, 10% қамтамасыздықта $15,38 \text{ м}^3/\text{с}$ және $15,60 \text{ м}^3/\text{с}$, ал 90% қамтамасыздықта $0,47 \text{ м}^3/\text{с}$ және $0,48 \text{ м}^3/\text{с}$ мәндерін құрады. Статистикалық критерийлер бойынша гидрологиялық қатардың біртектілігі расталып, алынған есептік параметрлерді одан әрі қолданудың негізділігі көрсетілді. Зерттеу нәтижелері Шу өзенінің төменгі ағысының қарастырылып отырған учаскесіндегі гидротехникалық құрылымдарды жобалау және пайдалану кезінде есептік су шығындары мен пайдалану режимдерін негіздеуге, сол арқылы олардың сенімділігі мен пайдалану қауіпсіздігін арттыруға бағытталған ғылыми негізделген есептік дерек ретінде пайдаланылуы мүмкін.

1. КІРІСПЕ

Су ресурстары аймақтардың орнықты әлеуметтік-экономикалық дамуын айқындайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады, әсіресе олардың тапшылығы мен аумақ бойынша біркелкі таралмауы жағдайында [1, 2]. Орталық Азияның қуаң және шөлейт аймақтарында, соның ішінде Шу өзені алабында, өзен ағынын ұтымды пайдалану, реттеу және сенімді басқару мәселелері ерекше маңызға ие [3]. Сумен жабдықтаудың тұрақтылығы ауыл шаруашылығының, суару жүйелерінің, өнеркәсіптік және коммуналдық нысандардың тиімді жұмыс істеуін, сондай-ақ гидротехникалық құрылымдардың қауіпсіз пайдаланылуын айқындайды [4, 5].

Гидротехникалық құрылымдардың сенімділігін бағалау өзендердің гидрологиялық режимін талдаумен тығыз байланысты, өйткені көпжылдық жылдық ағын сипаттамалары есептік жүктемелерді, су өткізу жағдайларын және гидротехникалық нысандардың пайдалану режимдерін анықтайды [6]. Осыған байланысты өзендердің гидрологиялық сипаттамаларын, жылдық ағынның ұзақ мерзімді өзгергіштігін және ағын

Мақала жайында:

Жіберілді: 08.02.2026

Қайта қаралды:

27.02.2026

Қабылданды: 16.09.2026

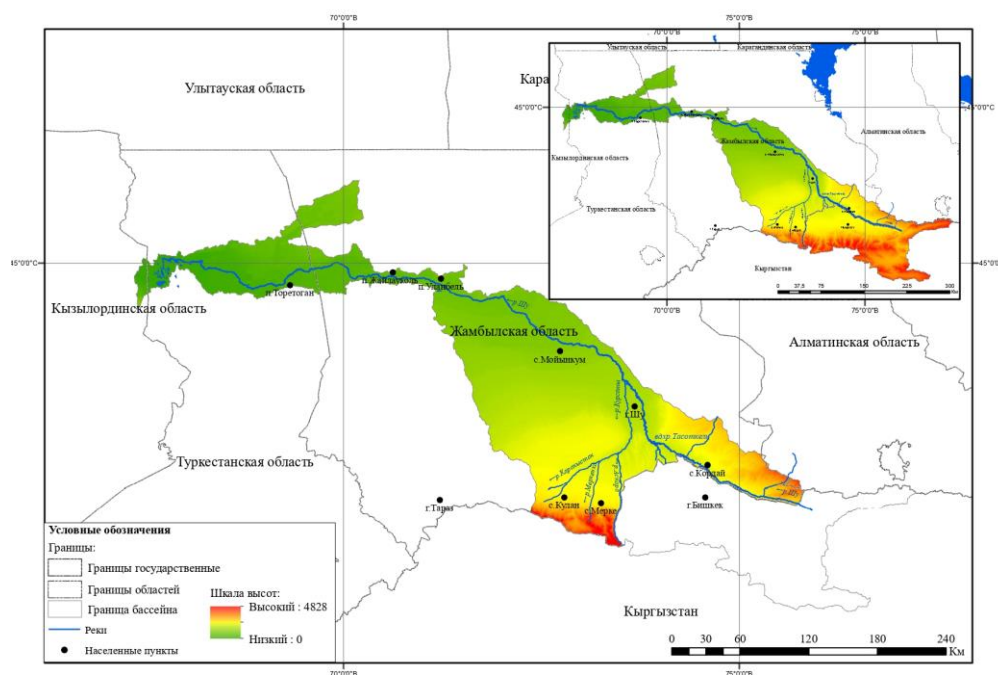
Жарияланды: 30.09.2026

Дәйексөз үшін:

Ержанова Н., Озгелдинова Ж., Шу өзенінің төменгі ағысының гидрологиялық режимінің тұрақсыздығы және гидротехникалық құрылымдардың сенімділігін арттырудағы ықтималдылық-статистикалық әдістердің рөлі// Гидрометеорология және экология, 123 (3), 2026, 11-24.

қалыптасуының статистикалық ерекшеліктерін жан-жақты зерттеу маңызды болып табылады [6, 7].

Шу өзені өңірдің маңызды су артерияларының бірі болып табылады және Қазақстанның оңтүстігіндегі су шаруашылығы жүйесінде елеулі рөл атқарады. Алдыңғы зерттеулер өзен ағынының айқын көпжылдық ауытқуларын, сондай-ақ оның климаттық өзгерістер мен антропогендік әсерлерге жоғары сезімталдығын көрсетеді [8, 9]. Шу өзені алабы қуаң климаттық жағдайлармен және қар, жауын-шашын және мұздық сулары есебінен қалыптасатын қоректену түрлерінің үйлесуімен сипатталады, бұл жылдық ағынның күрделі әрі өзгермелі режимін қалыптастырады [9, 10]. Аталған ерекшеліктер Шу өзеніндегі гидротехникалық құрылымдарды жобалау және пайдалану барысында сенімді есептік әдістерді қолдану қажеттігін көрсетеді [8...10]. Шу өзені бассейнінің цифрлық моделі (сурет 1) аумақтың биіктік құрылымын, жер бедерінің әртектілігін және өзен аңғарының жалпы морфологиялық ерекшеліктерін көрсетеді. Бассейннің жоғарғы бөлігінде таулы және тауалды жер бедерінің басым болуы ағыс еңістерінің үлкен болуына және су ағынының жоғары энергиясына әкеледі, ал төменгі ағысында жазық және шөлейтті аумақтардың басым болуы ағын жылдамдығының төмендеуіне және шөгінді материалдардың аккумуляциясына жағдай жасайды. Цифрлық модель деректері өзен аңғарының кеңейген жайылмалық бөліктерін, арнаның бүйірлік даму аймақтарын және арналық деформациялар ықтималдығы жоғары учаскелерді анықтауға мүмкіндік береді. Бұл жағдайлар Шу өзеніндегі ағын қалыптасуының кеңістіктік заңдылықтарын түсіндіруге, сондай-ақ гидротехникалық құрылымдарды орналастыру және есептік кималарды таңдау кезінде бастапқы ғылыми негіз ретінде қызмет етеді.



Сурет 1. Шу өзені бассейнінің цифрлық моделі (ЦМР)

Өзен арнасының қазіргі морфологиялық жағдайын нақтылау үшін Google Earth сервисінің жоғары айырымдылықтағы ғарыштық суреттері қолданылды (сурет 2).

Уланбел ауылы маңындағы өзен учаскесінде арнаның айқын иректелуі, жекелеген тармақтардың қалыптасуы, жайылмалық пішіндердің дамуы және бұрынғы арна іздері байқалады. Аталған морфологиялық белгілер қарастырылып отырған учаскеде арналық үдерістердің белсенді жүретінін және өзен арнасының кеңістіктік өзгергіштігін көрсетеді. Бұл жағдайда ғарыштық сурет арналық өзгерістердің антропогендік себептерін тікелей дәлелдеу үшін емес, Шу өзенінің төменгі ағысындағы арнаның қазіргі морфологиялық

жағдайын бағалау үшін пайдаланылды. Арна процестерінің қалыптасуына табиғи арна түзуші факторлармен қатар жоғары орналасқан су шаруашылығы объектілерінің өзен ағынын реттеуіне байланысты гидрологиялық режим мен шөгінділердің өзгеруі әсер етуі мүмкін.



Сурет 2. Шу өзенінің Уланбел ауылы маңындағы арнасының ғарыштық суреті (Google Earth)

Уланбел ауылы маңындағы өзен учаскесінде арнаның айқын иректелуі, жекелеген тармақтардың қалыптасуы, жайылмалық пішіндердің дамуы және бұрынғы арна іздері байқалады. Аталған морфологиялық белгілер қарастырылып отырған учаскеде арналық үдерістердің белсенді жүретінін және өзен арнасының кеңістіктік өзгергіштігін көрсетеді. Бұл жағдайда ғарыштық сурет арналық өзгерістердің антропогендік себептерін тікелей дәлелдеу үшін емес, Шу өзенінің төменгі ағысындағы арнаның қазіргі морфологиялық жағдайын бағалау үшін пайдаланылды. Арна процестерінің қалыптасуына табиғи арна түзуші факторлармен қатар жоғары орналасқан су шаруашылығы объектілерінің өзен ағынын реттеуіне байланысты гидрологиялық режим мен шөгінділердің өзгеруі әсер етуі мүмкін.

Гидрологиялық зерттеулердің нәтижелері гидротехникалық құрылыс саласында ерекше маңызға ие. Бөгеттерді, су қоймаларын, гидротораптарды, каналдар мен суару жүйелерін жобалау және пайдалану кезінде есептік су шығындарын, олардың қамтамасыздық ықтималдықтарын және шекті мәндерін дәл анықтау талап етіледі [11, 12]. Жылдық ағын және оның көпжылдық өзгергіштігі құрылымдардың су өткізу қабілетін, су деңгейлерін, еңістердің тұрақтылығын және гидротехникалық нысандардың жалпы пайдалану қауіпсіздігін анықтаудың негізін құрайды [12, 13].

Соңғы онжылдықтарда өзен ағынын талдауда статистикалық әдістер гидротехникалық тәжірибеде кеңінен қолданылып келеді. Бұл әдістер су ресурстарының орташа мәндерін ғана емес, олардың өзгергіштігін, таралу асимметриясын және шектен тыс гидрологиялық режимдердің ықтималдығын бағалауға мүмкіндік береді [14, 15]. Ағынның қамтамасыздық қисықтарын талдау, вариация және асимметрия коэффициенттерін есептеу, сондай-ақ гидрологиялық қатарлардың біртектілігін тексеру инженерлік есептерде қолданылатын параметрлердің сенімділігін арттырады [15...17].

Осы зерттеу Шу өзенінің Кіші Арна гидробекеті бойынша 1967...2022 жылдар аралығындағы көпжылдық жылдық ағынды талдауға және ықтималдық-статистикалық әдістер негізінде алынған есептік сипаттамаларды гидротехникалық құрылымдардың сенімділігін арттыру мақсатында қолдану мүмкіндігін бағалауға арналған. Жұмыста орташа жылдық ағын анықталып, жылдық ағынның негізгі гидрологиялық сипаттамалары есептелді, оның ұзақ мерзімді өзгергіштігі талданды және есептік қамтамасыздық қисықтары тұрғызылды [8, 9]. Сонымен қатар статистикалық критерийлерді қолдану арқылы гидрологиялық қатардың біртектілігі тексеріліп, оны кейінгі ықтималдық-статистикалық есептеулерде қолданудың негізділігі бағаланды [16...18].

Қазақстан аумағында Шу өзенінің нақты айқындалған сағасы жоқ және оның ағынының едәуір бөлігі Мойынқұм құмдарының таралу аймағында жоғалады. Осыған байланысты зерттеу барысында Кіші Арна гидробекеті есептік учаске ретінде қабылданды. Бұл учаске төменгі ағыстың қарастырылып отырған бөлігіндегі ағын трансформациясының ерекшеліктерін сипаттауға мүмкіндік береді.

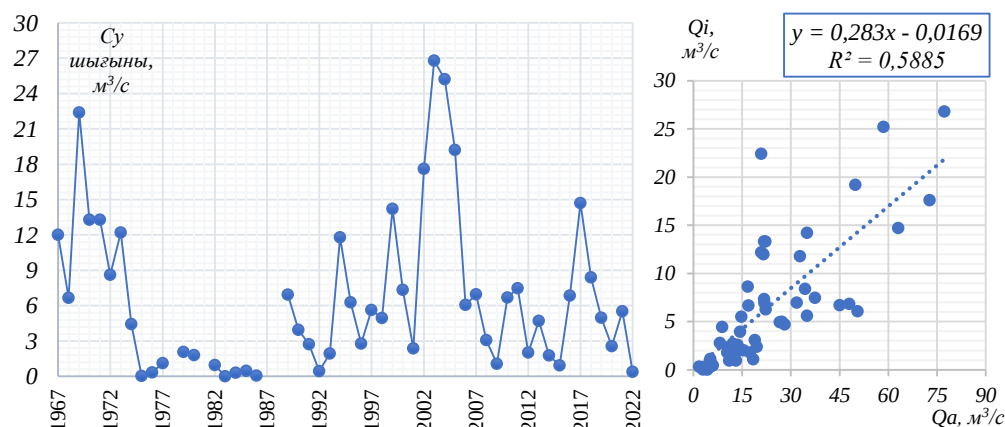
Кіші Арна гидробекеті учаскесін таңдау бақылаулардың ұзақ мерзімділігімен және сенімділігімен, сондай-ақ Шу өзенінің төменгі ағысының қарастырылып отырған учаскесіндегі ағынның көпжылдық өзгергіштігін сипаттау мүмкіндігімен негізделеді [8, 19]. Бұл аталған учаскедегі ағынның көпжылдық өзгергіштігін гидротехникалық құрылымдардың сенімділігі тұрғысынан бағалауға мүмкіндік береді [19].

Зерттеудің ғылыми маңыздылығы Шу өзенінің Кіші Арна гидробекеті учаскесіндегі жылдық ағынның көпжылдық өзгеру заңдылықтарын анықтаумен және гидрологиялық режимнің тұрақсыздығы жағдайында ықтималдық-статистикалық әдістерді гидротехникалық құрылымдардың сенімділігін бағалау үшін қолдануды негіздеумен анықталады. Зерттеудің практикалық маңызы алынған есептік сипаттамаларды гидротехникалық нысандарды жобалау, пайдалану және олардың қауіпсіздігін бағалау барысында, сондай-ақ су ресурстарын жоспарлау және инженерлік шешімдерді негіздеу кезінде қолдану мүмкіндігімен сипатталады.

2. МӘЛІМЕТТЕР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеудің әдістемелік негізі Шу өзенінің Кіші Арна гидробекеті учаскесіндегі 1967...2022 жылдар аралығындағы орташа жылдық ағынның көпжылдық қатарларын кешенді статистикалық өңдеуге негізделген. Жүргізілген талдау жылдық ағынның таралуының негізгі статистикалық сипаттамаларын анықтауға, оның уақыт бойынша өзгергіштігін бағалауға, сондай-ақ гидротехникалық құрылымдарды жобалау және су ресурстарын жоспарлау үшін қажетті теориялық және эмпирикалық қамтамасыздық қисықтарын тұрғызуға бағытталған (кесте 1).

Шу өзенінің Кіші Арна – Уланбел ауылы гидробекеті учаскесі бойынша орташа жылдық су шығындарының көпжылдық қатары 1967...2022 жылдар аралығында талданды (сурет 3). Зерттелетін қатардың уақыт бойынша өзгергіштігін бағалау айдаланылды. Зерттеудің негізгі статистикалық талдауы Кіші Арна – Уланбел ауылы гидробекетінің 1967...2022 жылдардағы қалпына келтірілген орташа жылдық ағын қатары бойынша жүргізілді. Бұл учаскені таңдау екі қиманың бір алапта орналасуымен, гидрологиялық режимдерінің ұқсастығымен және бақылау қатарларының ұзақ әрі сенімді болуымен негізделді. Қысқа бақылау қатарын ұзақ мерзімді қатарға келтіру мақсатында зерттелетін өзеннің (Q_i) және өзен-аналогтың (Q_a) орташа жылдық су шығындары пайдаланылды.



Сурет 3. Шу өзенінің орташа жылдық су шығындары (Кіші Арна – Уланбел ауылы, 1967...2022 жж.) және олардың өзен-аналогпен салыстырмалы хронологиялық өзгерісі

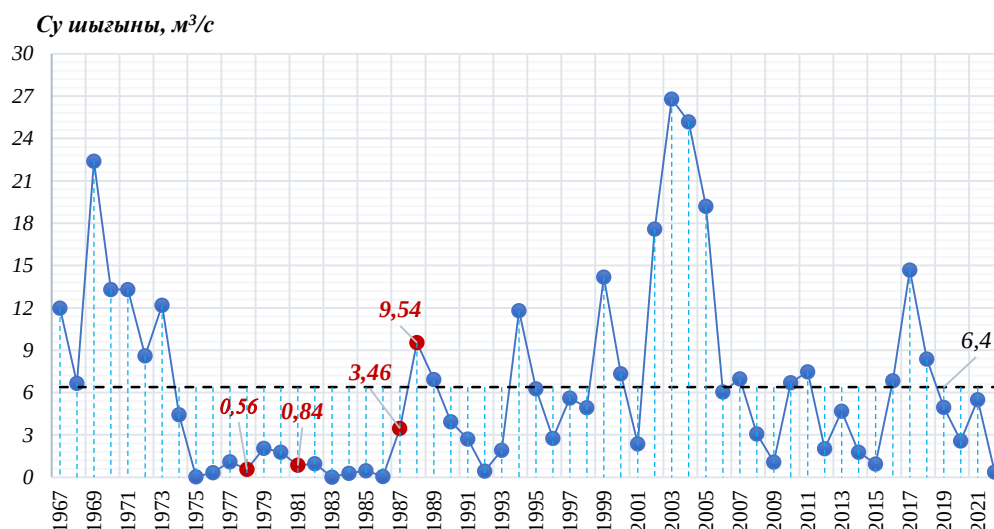
Кесте 1

Негізгі қолданылған статистикалық әдістер [20]

1	Моменттер әдісі	
1)	Ағынның модульдік коэффициенті келесі өрнекпен анықталады:	$k_i = Q_i / Q_{\text{орташа}}$ (1) мұнда Q_i - жылдағы орташа жылдық су шығыны, $Q_{\text{орташа}}$ - көпжылдық орташа жылдық су шығыны
2)	Жылдық ағынның эмпирикалық қамтамасыздық ықтималдығы орташа жылдық су шығындарының кему ретімен орналасқан қатарын пайдалана отырып есептелді:	$P = m / n + 1 \cdot 100\%$ (2) мұнда m – ағын мәнінің кему ретімен алынған реттік нөмірі, n – бақылау қатарының ұзындығы
3)	Есептеулердің дұрыстығы келесі шарттар арқылы тексерілді:	$\sum K_i \approx n; \sum (K_i - 1) \approx 0$ (3) мұндағы рұқсат етілген ең жоғарғы қателік 0,3...0,5%-дан аспауы тиіс
4)	Вариация (C_v) және асимметрия (C_s) коэффициенттері есептелген:	$\tilde{C}_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n-1}}$ (4) $\tilde{C}_s = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot \tilde{C}_v^3}$ (5)
5)	Бақылау қатарының жеткіліктілігі салыстырмалы қателіктер арқылы бағаланды:	$\varepsilon_Q = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\%$ (6) $\varepsilon_{C_v} = \sqrt{\frac{1 + C_v^2}{2 \cdot n}} \cdot 100\%$ (7)
6)	Қатардағы көршілес мәндер арасындағы автокорреляция келесі формуламен есептелді:	$r(1) = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - \bar{Q}_1) \cdot (Q_{i+1} - \bar{Q}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - \bar{Q}_1)^2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} (Q_{i+1} - \bar{Q}_2)^2}}$ (8)
2	Максималды ықтималдық әдісі	
1)	Статистика λ_2 :	$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg K_i}{n-1}$ (9)
2)	Статистика λ_3 :	$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \lg K_i}{n-1}$ (10)

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Шу өзенінің Кіші Арна – Уланбел ауылы учаскесі бойынша 1967...2022 жылдар аралығындағы қалпына келтірілген орташа жылдық су шығындары негізінде өзен ағынының уақыт бойынша өзгеру ерекшеліктері мен көпжылдық заңдылықтарына талдау жүргізілді (сурет 4).

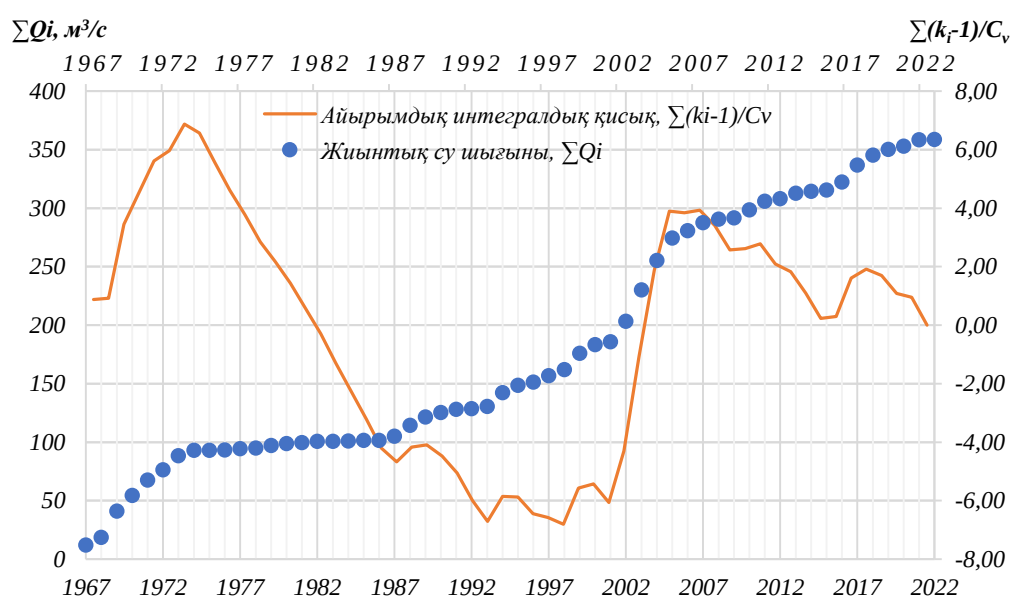


Сурет 4. Шу өзенінің Кіші Арна – Уланбел учаскесі бойынша қалпына келтірілген орташа жылдық су шығындары (1967...2022 жж.)

Талдау нәтижелері зерттелетін учаскеде өзен ағынының айқын тұрақсыз әрі жоғары өзгергіш сипатта екенін көрсетті. Хронологиялық графикті талдау орташа жылдық су шығындарының кең ауқымда ауытқитынын дәлелдейді. Қарастырылып

отырған кезеңде ең төменгі орташа жылдық су шығыны $0,018 \text{ м}^3/\text{с}$ -қа дейін төмендеген болса, ең жоғары мәні $26,8 \text{ м}^3/\text{с}$ -қа жеткен. Мұндай үлкен айырмашылық Шу өзенінің төменгі ағысына тән қуаң климаттық жағдайлармен, өзен ағынының қарқынды антропогендік реттелуімен және су шаруашылық жүйесіндегі қайта бөліну процестерімен түсіндіріледі. Хронологиялық қатардан 1974...1987-жылдар аралығында және сондай-ақ келесі 1990...1993, 1996...1998, 2001, 2008...2009, 2012...2015, 2019...2022 жылдар аралығында ұзаққа созылған төмен сулы кезеңдердің байқалатыны анықталды. Бұл кезеңдерде орташа жылдық су шығындарының көпжылдық орташа мәннен айтарлықтай төмен болуы өзен ағынының тапшылығын көрсетеді. Керісінше, 1969...1971, 1999, 2002...2005 жылдары және 2017 жылы салыстырмалы түрде суы мол жылдар байқалып, ағынның уақытша күшеюі тіркелген.

Шу өзенінің Кіші Арна – Уланбел ауылы учаскесі бойынша қалпына келтірілген орташа жылдық су шығындары негізінде жиынтық су шығыны ΣQ_i және айырымдық интегралдық қисық (АИҚ) $\Sigma(k_i - 1)/C_v$ тұрғызылды (сурет 5). Айырымдық интегралдық қисық өзен ағынының көпжылдық өзгеру құрылымын және суы мол мен суы аз кезеңдердің ұзақ мерзімді алмасу сипатын бағалау үшін пайдаланылды. АИҚ-тың бастапқы бөлігінде (1967...1973 жж.) қисықтың салыстырмалы түрде баяу өсуі байқалады, бұл кезеңде жылдық ағынның орташа көпжылдық мәндерге жуық болғанын көрсетеді. Алайда 1974 жылдан бастап АИҚ-тың айқын төмен бағытталуы байқалады, бұл 1974...1987 жылдар аралығында ұзаққа созылған суы аз кезеңнің қалыптасқанын көрсетеді. Аталған кезеңде модульдік коэффициенттердің (k_i) көпшілігі 1-ден едәуір төмен болып, ағын тапшылығының жинақталуы байқалады. АИҚ-тың ең төмен мәндері 1983...1986 жылдарға сәйкес келеді, бұл жылдары орташа жылдық су шығындарының өте төмен деңгейде болғаны байқалады. Бұл кезең қарастырылып отырған учаскедегі суы аз кезеңдердің бірі ретінде сипатталады. 1988...1990 жылдары АИҚ-та қысқа мерзімді оң бағыттағы өзгеріс байқалғанымен, ол ұзақ мерзімді су тапшылығы кезеңінің жалпы сипатын өзгерткен жоқ. 1991...1993 жылдар аралығында қисықтың қайтадан төмен бағыттауы жалғасып, суы аз кезеңнің жалғасқанын көрсетеді. Бұл жағдай қарастырылып отырған кезеңдегі өзен ағынының айқын көпжылдық өзгергіштігін көрсетеді. Су ағынының айтарлықтай артуы 1999 жылдан бастап байқалады. Әсіресе 2002...2005 жылдары АИҚ-тың күрт жоғары бағытталуы байқалып, бұл кезең суы мол жылдар тізбегі ретінде сипатталады.



Сурет 5. Шу өзенінің Кіші Арна – Уланбел ауылы учаскесі бойынша жиынтық су шығыны және айырымдық интегралдық қисық

Аталған уақытта модульдік коэффициенттердің жоғары мәндері ($k_i > 2,0$) тіркеліп, жылдық ағын көлемінің көпжылдық орташа мәннен бірнеше есе жоғары болғанын көрсетеді. Бұл құбылыс гидрометеорологиялық жағдайлардың қолайлылығымен қатар, өзен ағынының реттелу ерекшеліктерімен де байланысты болуы мүмкін.

2006...2015 жылдар аралығында АИҚ-тың салыстырмалы түрде тұрақтануы байқалады, алайда бұл кезеңде де жекелеген жылдарда теріс ауытқулар тіркеледі. 2016...2018 жылдары АИҚ-тың қайтадан жоғары бағытталуы байқалса, 2019...2022 жылдары қисықтың төмендеу үрдісі орын алады. 2019...2022 жылдары АИҚ-тың төмендеу үрдісі байқалып, осы кезеңдегі ағынның салыстырмалы төмендеуін көрсетеді. АИҚ-тың соңғы нүктесіндегі жинақталған ауытқудың нөлге жақындамауы қарастырылған кезең соңында көпжылдық нормадан жинақталған ауытқудың сақталғанын көрсетеді. Анықталған көпжылдық өзгергіштік су ресурстарын жоспарлау және гидротехникалық құрылымдарды пайдалану кезінде ағынның ұзақ мерзімді ауытқуларын ескеру қажеттігін көрсетеді. Жалпы алғанда, АИҚ талдауы қарастырылған кезеңде өзен ағынының жоғары көпжылдық өзгергіштігін және суы мол мен суы аз кезеңдердің алмасуын көрсетеді. Суы аз кезеңдердің ұзақтығы мен суы мол кезеңдердің салыстырмалы түрде қысқа әрі қарқынды болуы есептік су шығындарын анықтауда ықтималдық-статистикалық әдістерді қолданудың қажеттілігін негіздейді. Алынған нәтижелер Шу өзеніндегі гидротехникалық құрылымдардың сенімділігін бағалау және су ресурстарын басқару кезінде ағынның көпжылдық өзгергіштігін ескеру үшін бастапқы ғылыми негіз болып табылады.

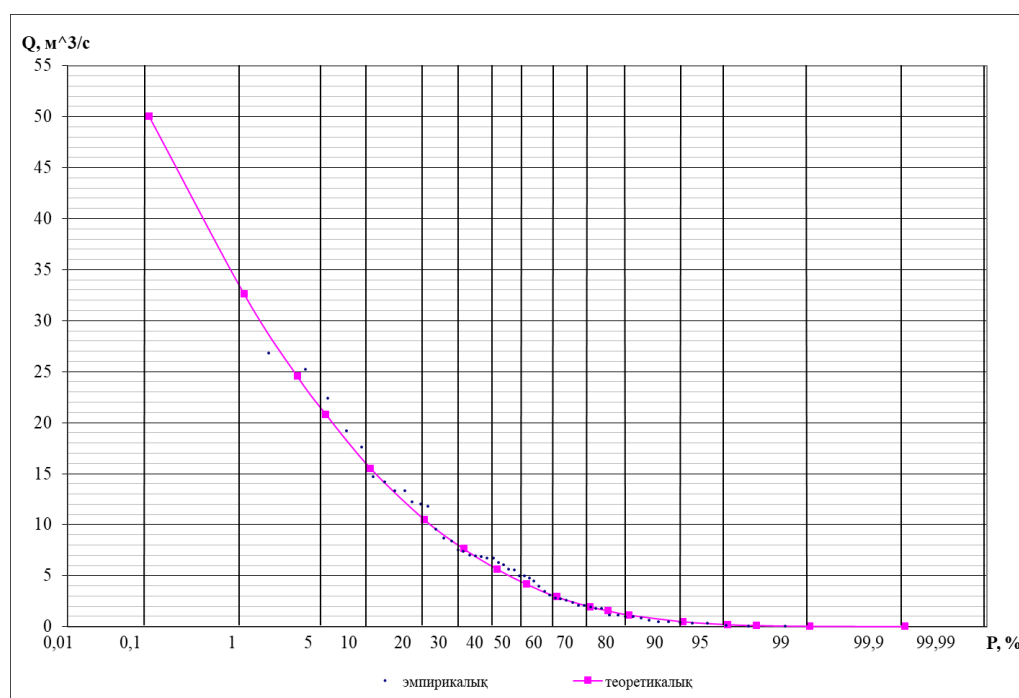
Шу өзенінің Кіші Арна – Уланбел ауылы учаскесі бойынша орташа жылдық су шығындарының көпжылдық бақылау қатарының біртектілігі Стьюдент және Фишер критерийлері негізінде бағаланды. Талдау барысында гидрологиялық қатар шартты түрде екі кезеңге (1967...1994 және 1995...2022 жж.) бөлініп, олардың орташа мәндері мен дисперсиялары салыстырылды. Есептеу нәтижелері бойынша Стьюдент критерийінің есептік мәні $t = -0,4122$ болып, сенімділік деңгейі $\alpha = 0,05$ кезінде кестелік мәннен ($t_{\text{табл}} = 2,005$) аспайтыны анықталды, бұл орташа жылдық су шығындары арасындағы айырмашылықтың статистикалық тұрғыдан мәнсіз екенін көрсетеді. Сонымен қатар, Фишер критерийі бойынша алынған $F = 0,66$ мәні кестелік $F_{\text{табл}} = 1,93$ -тен төмен болып, екі кезеңдегі дисперсиялардың өзара айырмашылығы да статистикалық тұрғыдан маңызды емес екені дәлелденді. Жүргізілген талдау нәтижелері 1967...1994 және 1995...2022 жылдар кезеңдері арасында орташа мән мен дисперсия бойынша статистикалық маңызды айырмашылық анықталмағанын көрсетеді. Осылайша, қалпына келтірілген деректерді қоса алғанда, алынған гидрологиялық қатар қолданылған Стьюдент және Фишер критерийлері бойынша біртекті деп қабылданды және оны ықтималдық-статистикалық әдістермен әрі қарай өңдеуге, есептік қамтамасыздық қисықтарын тұрғызуға, сондай-ақ гидротехникалық құрылымдардың сенімділігі мен пайдалану қауіпсіздігін бағалауда бастапқы дерек ретінде қолдануға болады.

1. Моменттер әдісі

Шу өзенінің Кіші Арна учаскесінде орташа жылдық ағындарды зерттеу үшін моменттер әдісі қолданылды, бұл әдіс ағынның өзгергіштігін (вариациясын) және қисықтық сипатын (асимметриясын) бағалауға мүмкіндік береді. Есептеулердің бастапқы кезеңінде ағын мәндері модульдік коэффициент $k_i = Q_i / Q_{\text{орташа}}$ арқылы қалыпқа келтірілді. Эмпирикалық кесте бойынша орташа ағын $Q_{\text{орташа}} = 6,41 \text{ м}^3/\text{с}$ құрады, ал модульдік коэффициенттердің квадраттық және кубтық шамалары сәйкесінше 56,877 және 81,182 болып есептелді. Вариацияның $\tilde{C}_v = 1,0$ және асимметрияның $\tilde{C}_s = 1,5$ ығысу коэффициенттерінің мәндері анықталды. Бұл көрсеткіштер ағынның айтарлықтай вариативті және оң асимметриялы екенін білдіреді: яғни жоғары ағындар жиі кездеседі, ал төмен ағындар сирек. Қатардың жеткіліктілігі $\epsilon_Q = 9,38 \% < 5-10 \%$ және $\epsilon_{C_v} = 13,36 \% < 10-15 \%$ көрсеткіштері арқылы расталды, демек деректер ұзақ мерзімді және сенімді болып табылады, оларды нормалар мен есептік ағындарды анықтауда

қолдануға болады. Коэффициенттерді түзету арқылы үшпараметрлі гамма- және биномиальды үлестірімдер үшін есептелген коэффициенттер: $C_v = 1,1$, $C_s = 1,7$, ал олардың қатынасы $C_s/C_v = 2$, бұл ағынның орташа және максималды мәндерінің арасындағы өзара байланысын көрсетеді. Автокорреляция коэффициенті $r(1) = 0,60$ қатардың өзара тәуелділігін білдіреді, яғни бір жылдағы ағын келесі жылдағы ағынға айтарлықтай әсер етеді.

Эмпирикалық қамтамасыздық қисығы және теориялық қисық салыстырмалы түрде келесі мәндерді көрсетті: 50 % қамтамасыздықта орташа ағын $Q_p = 4,10 \text{ м}^3/\text{с}$, 10 % қамтамасыздықта жоғары ағын $Q_p = 15,38 \text{ м}^3/\text{с}$, ал 90 % қамтамасыздықта төмен ағын $Q_p = 0,47 \text{ м}^3/\text{с}$. Бұл талдау Шу өзені ағынының кең ауқымда өзгеретінін және суы мол әрі суы аз жағдайлар арасындағы айырмашылықтың елеулі екенін көрсетеді. Есептелген ағынның модульдік коэффициенттері k_i мен эмпирикалық қамтамасыздық ықтималдықтары Р негізінде ағынның эмпирикалық қамтамасыздық қисығы тұрғызылды (сурет 6). Теориялық қамтамасыздық қисығы үш параметрлі гамма-таралу және биномиалдық қамтамасыздық қисығының ординаталары бойынша, $C_s/C_v = 2$ қатынасы ескеріле отырып тұрғызылды. Эмпирикалық және теориялық қисықтарды салыстыру есептік су шығындарын әртүрлі қамтамасыздық деңгейлерінде бағалауға және суы мол әрі суы аз жағдайларға сәйкес келетін ағын шамаларын анықтауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер су ресурстарын жоспарлау, ағынды реттеу және гидротехникалық құрылымдардың есептік параметрлерін негіздеу үшін бастапқы дерек ретінде пайдаланылуы мүмкін.



Сурет 6. Шу өзенінің Кіші Арна – Уланбел ауылы учаскесіндегі орташа жылдық ағынның қамтамасыздық қисығы (1967...2022 жж., моменттер әдісі)

Қамтамасыздық ықтималдық қисығының есептелген ординаталары және әртүрлі қамтамасыздық деңгейлеріне сәйкес келетін ағын шығындарының мәндері 2-кестеде келтірілген. Бұл деректер сирек кездесетін суы мол жылдардан бастап аса төмен сулы кезеңдерге дейінгі ықтималдықтардың кең ауқымында өзен ағынының шамасын сандық тұрғыдан бағалауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер гидротехникалық құрылымдарды жобалау және су ресурстарын жоспарлау кезінде практикалық маңызға ие.

Кесте 2

1967...2022 жылдар аралығындағы Шу өзенінің Кіші Арна – Уланбел ауылы учаскесі бойынша ағынның теориялық қамтамасыздық қисығының мәндері

Теориялық қамтамасыздық қисығының мәндері									
Ағынның қамтамасыздығы, $P, \%$	0,1	1	3	5	10	20	30	40	50
Модульдік коэффициент, K_p	7,750	5,050	3,800	3,220	2,400	1,620	1,180	0,870	0,640
Өзен ағынының шығыны, $Q_p, \text{м}^3/\text{с}$	49,7	32,4	24,3	20,6	15,4	10,4	7,6	5,6	4,1
Ағынның қамтамасыздығы, $P, \%$	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9
Модульдік коэффициент, K_p	0,450	0,300	0,241	0,175	0,074	0,030	0,016	0,005	0,000
Өзен ағынының шығыны, $Q_p, \text{м}^3/\text{с}$	2,88	1,92	1,54	1,12	0,47	0,19	0,10	0,03	0,00

Қорытындылай келе, моменттер әдісі ағынның вариативтілігі мен асимметриясын сандық бағалауға мүмкіндік беріп, гидрологиялық сипаттамаларды дәл анықтауға жол ашады. Ағынның $C_p=1,1$ және $C_s=1,7$ көрсеткіштері оның жоғары өзгергіштігін және оң асимметриясын айқындайды, бұл гидротехникалық жобалау мен су ресурстарын реттеуде шешуші мәнге ие.

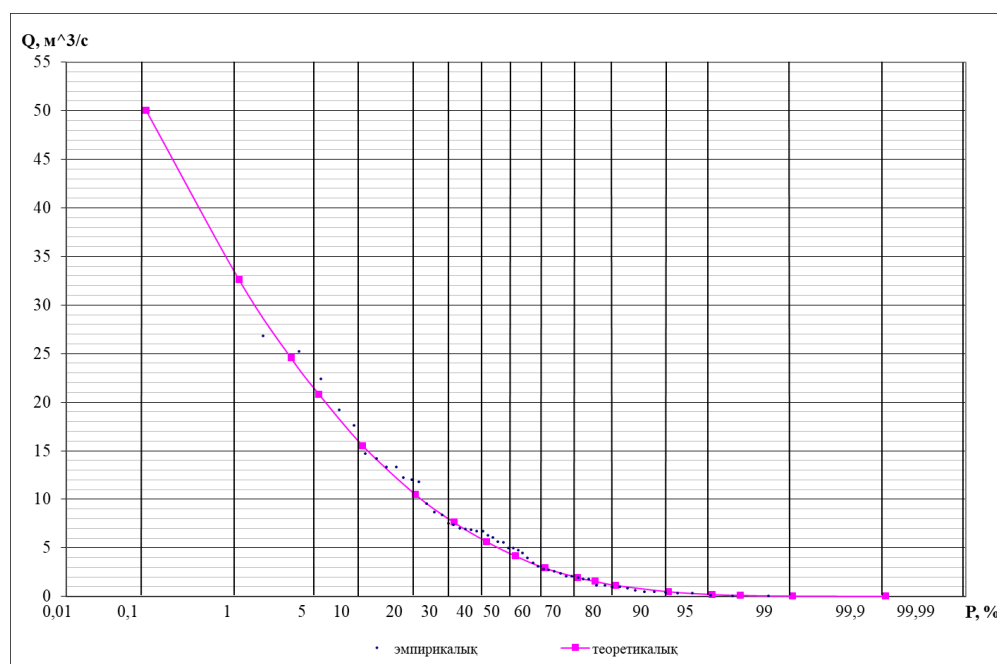
2. Максималды ықтималдық әдісі бойынша талдау

Шу өзенінің Кіші Арна – Уланбел ауылы учаскесі бойынша жылдық ағынның берілген қамтамасыздығын анықтау үшін максималды ықтималдық әдісі қолданылды. Бұл әдіс көпжылдық бақылау деректерінің статистикалық заңдылықтарын неғұрлым дәл сипаттауға және ағынның ықтималдық сипаттамаларын сенімді бағалауға мүмкіндік береді. Есептеулер 1967...2022 жылдар аралығындағы орташа жылдық су шығындары негізінде жүргізілді, бақылау қатарының ұзындығы $n = 56$ жылды құрайды, бұл статистикалық тұрғыдан жеткілікті болып саналады.

Алдымен орташа жылдық су шығындары кему ретімен орналастырылып, әр жыл үшін ағынның модульдік коэффициенттері k_i есептелді. Осы мәндер негізінде максималды ықтималдық әдісіне сәйкес λ_2 және λ_3 статистикалық көрсеткіштері анықталды. Есептеу нәтижесінде $\lambda_2 = -0,337$, ал $\lambda_3 = 0,197$ мәндерін қабылдады. Бұл көрсеткіштер жылдық ағын қатарында асимметрияның бар екенін және ағынның таралуы симметриялы емес екенін көрсетеді.

Алынған λ_2 және λ_3 статистикалары негізінде ағынның теориялық қамтамасыздық қисығын тұрғызуға қажетті параметрлер анықталды. Теориялық қисық үш параметрлі гамма-таралымға сәйкес есептеліп, эмпирикалық қамтамасыздық мәндерімен салыстырылды. Салыстыру нәтижелері теориялық және эмпирикалық қисықтардың жалпы түрде бір-біріне жақын екенін көрсетті, бұл таңдалған теориялық үлестірімнің қарастырылып отырған гидрологиялық қатарға сәйкес келетінін көрсетеді.

Есептелген теориялық мәндер бойынша қамтамасыздыққа сәйкес келетін жылдық су шығыны суы аз жылдарды сипаттайды және өзен ағынының төмен мәндерін бағалауға мүмкіндік береді. Мұндай қамтамасыздық деңгейіндегі ағын мәндері су ресурстарын жоспарлау, суармалы егіншілікті ұйымдастыру, сондай-ақ гидротехникалық құрылымдардың жұмыс режимін негіздеу үшін ерекше маңызға ие. Есептелген ағынның модульдік коэффициенттері k_i мен эмпирикалық қамтамасыздық ықтималдықтары P негізінде ағынның эмпирикалық қамтамасыздық қисығы тұрғызылды (сурет 7).



Сурет 7. Шу өзенінің Кіші Арна – Уланбел ауылы учаскесіндегі орташа жылдық ағынның қамтамасыздық қисығы (1967...2022 жж.)

Қамтамасыздық ықтималдық қисығының есептелген ординаталары және әртүрлі қамтамасыздық деңгейлеріне сәйкес келетін ағын шығындарының мәндері 3-кестеде келтірілген. Бұл деректер сирек кездесетін суы мол жылдардан бастап аса төмен сулы кезеңдерге дейінгі ықтималдықтарының кең ауқымында өзен ағынының шамасын сандық тұрғыдан бағалауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер гидротехникалық құрылымдарды жобалау және су ресурстарын жоспарлау үшін практикалық маңызға ие.

Кесте 3

1967...2022 жылдар аралығындағы Шу өзенінің Кіші Арна – Уланбел ауылы учаскесі бойынша ағынның теориялық қамтамасыздық қисығының мәндері

Теориялық қамтамасыздық қисығының мәндері									
Ағынның қамтамасыздығы, $P, \%$	0,1	1	3	5	10	20	30	40	50
Модульдік коэффициент, K_p	7,750	5,050	3,800	3,220	2,400	1,620	1,180	0,870	0,640
Өзен ағынының шығыны, $Q_p, \text{м}^3/\text{с}$	50,3	32,8	24,7	20,9	15,6	10,5	7,7	5,6	4,2
Ағынның қамтамасыздығы, $P, \%$	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9
Модульдік коэффициент, K_p	0,450	0,300	0,241	0,175	0,074	0,030	0,016	0,005	0,000
Өзен ағынының шығыны, $Q_p, \text{м}^3/\text{с}$	2,92	1,95	1,56	1,14	0,48	0,19	0,10	0,03	0,00

Осылайша, ең үлкен ықтималдық әдісі Шу өзенінің Кіші Арна учаскесіндегі жылдық ағынның ықтималдық сипаттамаларын жан-жақты бағалауға мүмкіндік беріп, ағынның төмен және жоғары экстремалдық мәндерін сенімді түрде анықтауға жағдай жасайды. Алынған нәтижелер су ресурстарын тиімді басқару мен ағынды реттеу мәселелерін ғылыми тұрғыда негіздеуге пайдаланылуы мүмкін.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу Шу өзенінің Кіші Арна – Уланбел ауылы учаскесіндегі жылдық ағынның жоғары дәрежеде өзгермелі және тұрақсыз гидрологиялық режимімен сипатталатынын көрсетті. 1967...2022 жылдар аралығындағы көпжылдық деректерді талдау нәтижесінде ағынның ең төменгі орташа жылдық мәні $0,018 \text{ м}^3/\text{с}$ -қа дейін төмендеп, ал ең жоғары мәні $26,8 \text{ м}^3/\text{с}$ -қа дейін жететіні анықталды. Мұндай кең ауқымды

ауытқулар қарастырылып отырған учаскедегі ағынның жоғары көпжылдық өзгергіштігін сипаттайды және табиғи-климаттық жағдайлар мен өзен ағынын реттеу әсері жағдайында қалыптасады.

Айырымдық интегралдық қисықты талдау суы аз кезеңдердің (1974...1987 және 1991...1998 жж.) ұзаққа созылуын және суы мол жылдардың (2002...2005 жж.) салыстырмалы түрде қысқа әрі қарқынды сипатта болуын көрсетті. Бұл нәтижелер қарастырылған кезеңдегі өзен ағынының айқын көпжылдық өзгергіштігін және әртүрлі сулылық кезеңдерінің алмасуын көрсетеді. Стюдент және Фишер критерийлері бойынша жүргізілген талдау жылдық ағын қатарының біртектілігін растады, бұл қалпына келтірілген деректерді қоса алғанда, алынған гидрологиялық қатарды есептік мақсатта қолдануға мүмкіндік береді.

Моменттер әдісі арқылы анықталған вариация коэффициентінің ($C_v=1,1$) және оң асимметрия коэффициентінің ($C_s=1,7$) жоғары мәндері жылдық ағынның елеулі өзгергіштігін және оның таралуының айқын асимметриялы сипатын көрсетті. Қамтамасыздық ықтималдықтары бойынша есептелген су шығындары гидротехникалық құрылымдарды жобалау кезінде су өткізу қабілетін, қауіпсіздік деңгейін және пайдалану режимдерін негіздеу үшін маңызды. Максималды ықтималдық әдісі бойынша алынған нәтижелер төмен және жоғары ағынды жылдарға сәйкес келетін есептік су шығындарын бағалауға мүмкіндік береді.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер Шу өзенінің төменгі ағысының қарастырылып отырған учаскесіндегі гидрологиялық режимнің тұрақсыздығы жағдайында су ресурстарын басқару және гидротехникалық құрылымдардың сенімділігін арттыру үшін ықтималдық-статистикалық әдістерді қолданудың маңыздылығын көрсетеді. Бұл әдістер әртүрлі қамтамасыздық деңгейлеріне сәйкес келетін есептік су шығындарын анықтауға және гидротехникалық құрылымдардың есептік параметрлері мен пайдалану режимдерін негіздеуге мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері өңірлік су шаруашылығы жүйесін жоспарлау және су ресурстарының тапшылығы жағдайында тиімді басқару үшін ғылыми негіз ретінде пайдаланылуы мүмкін.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛ ЖЕТІМДІЛІГІ

Осы зерттеуде пайдаланылған деректерді авторлар «Казгидромет» РМК дереккөздерден алды.

АВТОРЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

Тұжырымдамалау – ЕНК; Деректерді басқару – ЕНК; Ресми талдау – ЕНК; Әдістеме – ЕНК; Бағдарламалық қамтамасыз ету – ЕНК; Қадағалау – ЕНК; Визуализация – ОЖО; Бастапқы жобаны жазу – ЕНК; Шолу жазу және редакциялау – ЕНК.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Bai B., Huang Q., Wang P., Liu S., Zhang Y., Wang T., Pozdniakov S.P., Frolova N.L., Yu, J. Long-Term Variability of the Hydrological Regime and Its Response to Climate Warming in the Zhizdra River Basin of the Eastern European Plain // *Water*, – 2023. – Vol. 15. – P.2678. <https://doi.org/10.3390/w15152678>
2. Yang Y., Yang L., Villarini G., Zhao F., Huang D., Vecchi G.A., Wang Q., Sun Y., Tian F. Synchronization of global peak river discharge since the 1980 // *Nat. Clim. Chang.* – 2025. – Vol. 15. – P.1084–1090. <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02427-6>
3. Seyam M., Othman F. Long-term variation analysis of a tropical river's annual streamflow regime over a 50-year period // *Theor. Appl. Climatol.* – 2014. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1225-9>
4. Hansford M.R., Plink-Björklund P., Jones E.R. Global quantitative analyses of river discharge variability and hydrograph shape with respect to climate types // *Earth-Sci. Rev.*, – 2020. – Vol. 15. – P.102977. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102977>
5. Aryal A., Shrestha M., Aryal Sh., Upadhyay S., Maharjan M. Spatio-temporal variability of streamflow in major and medium rivers of Nepal // *J. Hydrol.: Reg. Stud.*, – 2023. – P.101590. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101590>
6. Pekárová P., Halmová D., Mitková V.B., Poárová J., Blaškovičová L., Pekár J., Leščešen I., Bajtek Z. Temporal variability of average and low flows in Slovak rivers: A 90-year perspective // *J. Hydrol.: Reg. Stud.*, – 2025. – P.102560. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102560>
7. Morovati K., Zhang K., Shi L., Pokhrel Ya., Wu M., Someth P., Ly S., Tian F. On the cause of large daily river flow fluctuations in the Mekong River // *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, – 2024. – Vol. 28. – P.5133–5147. <https://doi.org/10.5194/hess-28-5133-2024>
8. Kaliyeva K., Punys P., Zhaparkulova Y. The impact of climate change on hydrological regime of the transboundary River Shu Basin (Kazakhstan–Kyrgyzstan): forecast for 2050 // *Water*, – 2021. – Vol. 13(20). – P.2800. <https://doi.org/10.3390/w13202800>
9. Mustafayev Z.S., Kozykeyeva A.T., Kamaliyev A.M. Climatic changes in the basin of the transboundary shu river // *SERIA AGRARNYH NAUK*, – 2019. – Vol. 1. – P.104. <https://doi.org/10.34286/1995-4646-2019-68-5-68-76>

10. Tazhiyev S., Murtazin Y., Rakhimova V., Rakhmetov I., Adenova D., Koshpanova K., Sotnikov Y., Abdizhalel M., Akylbayeva A., Yerezhep D. Applied Hydrogeological Assessment and GIS-Based Modeling of Transboundary Aquifers in the Shu River Basin // *Water*, – 2025. – Vol. 17(16). – P.2476. <https://doi.org/10.3390/w17162476>
11. Ivancic T.J., Shaw S.B. Examining why trends in very heavy precipitation should not be mistaken for trends in very high river discharge // *Climatic Change*. – 2015. – Vol. 133. – P. 681-693. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1476-1>
12. Milly P.C., Betancourt J., Falkenmark M., Hirsch R.M., Kundzewicz Z.W., Lettenmaier D.P., Stouffer R.J. Stationarity is dead: Whither water management? // *Science*, – 2008. – Vol. 319. – P. 573-574. <https://doi.org/10.1126/science.1151915>
13. Kundzewicz Z.W., Robson A. Change detection in hydrological records—A review of the methodology // *Hydrol. Sci. J.*, – 2004. – Vol. 49. – P. 7-19. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.7.44369>
14. Shi X., Qin T., Nie H., Weng B., He S. Changes in major global river discharges directed into the ocean // *International journal of environmental research and public health*. – 2019. – Vol. 16. – P. 1469. <https://doi.org/10.3390/ijerph16081469>
15. Vorosmarty C.J. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth // *Science*. – 2000. – Vol. 289. – P. 284-288. <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>
16. Haddeland I. Global water resources affected by human interventions and climate change // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2014. – Vol. 111. – P. 3251-3256. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222475110>
17. Didovets I., Lobanova A., Krysanova V., Menz C., Babagaliyeva Z., Nurbatsina A., Hattermann F.F. Central Asian Rivers under Climate Change: Impacts assessment in eight representative catchments // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. – 2021. – No.34. – P.100779. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100779>
18. Сенников М.Н., Ержанова Н.К. Совершенствование управления трансграничными водными ресурсами по Шу-Таласскому бассейну Республики Казахстан // Материалы Международной конференции СВО ВЕКЦА «Проблемы управления речными бассейнами в условиях изменения климата» 18-19 мая 2017 года, г.Москва, РФ, сб. научн.тр. вып. 10. НИЦ МКВК, 2017. - Ташкент, - С.89-95
19. Ержанова Н.К., Сенников М.Н. Трансграничное сотрудничество в сфере управления рисками паводков // Международная научно-практическая конференция «Теоретические и прикладные проблемы географии», ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2024. – Астана, - С.244-248
20. МСП 3.04-101-2005. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – Астана, 2005.

REFERENCES

1. Bai B., Huang Q., Wang P., Liu S., Zhang Y., Wang T., Pozdniakov S.P., Frolova N.L., Yu, J. Long-Term Variability of the Hydrological Regime and Its Response to Climate Warming in the Zhizdra River Basin of the Eastern European Plain // *Water*, – 2023. – Vol. 15. – P.2678. <https://doi.org/10.3390/w15152678>
2. Yang Y., Yang L., Villarini G., Zhao F., Huang D., Vecchi G.A., Wang Q., Sun Y., Tian F. Synchronization of global peak river discharge since the 1980 // *Nat. Clim. Chang.* – 2025. – Vol. 15. – P.1084–1090. <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02427-6>
3. Seyam M., Othman F. Long-term variation analysis of a tropical river's annual streamflow regime over a 50-year period // *Theor. Appl. Climatol.* – 2014. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1225-9>
4. Hansford M.R., Plink-Björklund P., Jones E.R. Global quantitative analyses of river discharge variability and hydrograph shape with respect to climate types // *Earth-Sci. Rev.*, – 2020. – Vol. 15. – P.102977. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102977>
5. Aryal A., Shrestha M., Aryal Sh., Upadhyay S., Maharjan M. Spatio-temporal variability of streamflow in major and medium rivers of Nepal // *J. Hydrol.: Reg. Stud.*, – 2023. – P.101590. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101590>
6. Pekárová P., Halmová D., Mitková V.B., Poárová J., Blaškovičová L., Pekár J., Leščešen I., Bajtek Z. Temporal variability of average and low flows in Slovak rivers: A 90-year perspective // *J. Hydrol.: Reg. Stud.*, – 2025. – P.102560. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102560>
7. Morovati K., Zhang K., Shi L., Pokhrel Ya., Wu M., Someth P., Ly S., Tian F. On the cause of large daily river flow fluctuations in the Mekong River // *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, – 2024. – Vol. 28. – P.5133–5147. <https://doi.org/10.5194/hess-28-5133-2024>
8. Kaliyeva K., Punys P., Zhaparkulova Y. The impact of climate change on hydrological regime of the transboundary River Shu Basin (Kazakhstan–Kyrgyzstan): forecast for 2050 // *Water*, – 2021. – Vol. 13(20). – P.2800. <https://doi.org/10.3390/w13202800>
9. Mustafayev Z.S., Kozykeyeva A.T., Kamaliyev A.M. Climatic changes in the basin of the transboundary shu river // *SERIA AGRARNYH NAUK*, – 2019. – Vol. 1. – P.104. <https://doi.org/10.34286/1995-4646-2019-68-5-68-76>
10. Tazhiyev S., Murtazin Y., Rakhimova V., Rakhmetov I., Adenova D., Koshpanova K., Sotnikov Y., Abdizhalel M., Akylbayeva A., Yerezhep D. Applied Hydrogeological Assessment and GIS-Based Modeling of Transboundary Aquifers in the Shu River Basin // *Water*, – 2025. – Vol. 17(16). – P.2476. <https://doi.org/10.3390/w17162476>
11. Ivancic T.J., Shaw S.B. Examining why trends in very heavy precipitation should not be mistaken for trends in very high river discharge // *Climatic Change*. – 2015. – Vol. 133. – P. 681-693. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1476-1>
12. Milly P.C., Betancourt J., Falkenmark M., Hirsch R.M., Kundzewicz Z.W., Lettenmaier D.P., Stouffer R.J. Stationarity is dead: Whither water management? // *Science*, – 2008. – Vol. 319. – P. 573-574. <https://doi.org/10.1126/science.1151915>
13. Kundzewicz Z.W., Robson A. Change detection in hydrological records—A review of the methodology // *Hydrol. Sci. J.*, – 2004. – Vol. 49. – P. 7-19. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.7.44369>
14. Shi X., Qin T., Nie H., Weng B., He S. Changes in major global river discharges directed into the ocean // *International journal of environmental research and public health*. – 2019. – Vol. 16. – P. 1469. <https://doi.org/10.3390/ijerph16081469>
15. Vorosmarty C.J. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth // *Science*. – 2000. – Vol. 289. – P. 284-288. <https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>
16. Haddeland I. Global water resources affected by human interventions and climate change // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2014. – Vol. 111. – P. 3251-3256. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222475110>
17. Didovets I., Lobanova A., Krysanova V., Menz C., Babagaliyeva Z., Nurbatsina A., Hattermann F.F. Central Asian Rivers under Climate Change: Impacts assessment in eight representative catchments // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. – 2021. – No.34. – P.100779. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100779>
18. Sennikov M.N., Yerzhanova N.K. (2017). Sovershenstvovanie upravleniya transgranichnimi vodnimi resursami po Shu-Talasskomu basseinu Respubliki Kazakhstan [Improving the management of transboundary water resources in the Shu-Talas basin of the Republic of Kazakhstan]. Materiali Mezhdunarodnoi konferentsii SVO VEKtA «Problemi upravleniya rechnimi basseinami v usloviyakh izmeneniya klimata» 18-19 maya 2017, g. Moskva. NITs MKVK, - Tashkent, pp.89-95 [in Russian].
19. Yerzhanova N.K., Sennikov M.N. (2024). Transgranichnoe sotrudnichestvo v sfere upravleniya riskami pavodkov [Transboundary Cooperation in Flood Risk Management]. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Teoreticheskie i prikladnie

problemi geografii» [International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Problems of Geography»]. L.N. Gumilyov Eurasian National University, - Astana, pp.244-248 [in Russian].

20. MSP 3.04-101-2005. (2005). Opredelenie osnovny'x raschetny'x gidrologicheskikh xarakteristik [Determination of design hydrological performance]. – Astana, pp. [in Russian].

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ШУ И РОЛЬ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ПОВЫШЕНИИ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Нурлиза К. Ержанова*, Жанар О. Озгелдинова PhD

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан; nur66gidro@mail.ru, ozgeldinova@mail.ru

* Автор корреспонденции: Нурлиза К. Ержанова, nur66gidro@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Гидрологический режим, гидротехнические сооружения, гидропост, река Шу, цифровая модель, вероятностно-статистические методы, годовой сток, неустойчивость стока.

По статье:

Получено: 08.02.2026

Пересмотрено: 27.02.2026

Принято: 16.09.2026

Опубликовано: 30.09.2026

АБСТРАКТ

В статье всесторонне исследована многолетняя изменчивость среднегодового стока, наблюдавшегося в период 1967...2022 гг. на участке гидропоста Малая Арна – село Уланбель в нижнем течении реки Шу. Целью исследования является определение статистических характеристик годового стока и оценка возможности применения полученных расчетных параметров для обоснования надежности и эксплуатационной безопасности гидротехнических сооружений. В ходе исследования были восстановлены данные многолетних наблюдений и выполнена их статистическая обработка на основе метода моментов и метода максимального правдоподобия. Установлено, что коэффициент вариации годового стока имеет высокое значение ($C_v = 1,1$), а коэффициент асимметрии является положительным ($C_s = 1,7$), что свидетельствует о выраженной изменчивости и неустойчивости речного стока. Анализ разностной интегральной кривой показал, что периоды маловодья отличаются продолжительностью, тогда как многоводные периоды являются относительно кратковременными, но интенсивными. Расчетные расходы воды по вероятностям обеспеченности составили: 4,10...4,20 м³/с при 50 % обеспеченности, 15,38...15,60 м³/с при 10 % обеспеченности и 0,47...0,48 м³/с при 90 % обеспеченности. Статистические критерии подтвердили однородность гидрологического ряда, что обосновывает дальнейшее применение полученных расчетных параметров. Результаты исследования могут быть использованы в качестве научно обоснованных расчетных данных при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений на рассматриваемом участке нижнего течения реки Шу, способствуя повышению их надежности и безопасности.

ASSESSING HYDROLOGICAL REGIME INSTABILITY AND HYDRAULIC STRUCTURE RELIABILITY IN THE LOWER SHU RIVER USING PROBABILISTIC-STATISTICAL METHODS

Nurliza Yerzhanova*, Zhanar Ozgeldinova PhD

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; nur66gidro@mail.ru, ozgeldinova@mail.ru

*Author correspondent: Nurliza Yerzhanova, nur66gidro@mail.ru

KEY WORDS

Hydrological regime, hydraulic structures, hydrological post, Shu River, digital model, probabilistic and statistical methods, annual flow, flow instability.

ABSTRACT

The article presents a comprehensive analysis of the long-term variability of mean annual runoff observed during the period 1967...2022 at the Malaya Arna-Ulanbel section of the Chu River in its lower reaches. The aim of the study is to determine the statistical characteristics of annual runoff and to assess the applicability of the derived design parameters for substantiating the reliability and operational safety of hydraulic structures. In the course of the study, long-term observation data were reconstructed

About article:

Received: 08.02.2026.

Revised: 27.02.2026

Accepted: 16.09.2026

Published: 30.09.2026

and statistically processed using the method of moments and the maximum likelihood method. It was established that the coefficient of variation of annual runoff is relatively high ($C_v = 1.1$), while the coefficient of skewness is positive ($C_s = 1.7$), indicating pronounced variability and instability of river runoff. Analysis of the difference integral curve showed that low-flow periods vary in duration, whereas high-flow periods are relatively short but intensive. The design water discharges for different exceedance probabilities were estimated at 4.10...4.20 m³/s for a 50 % exceedance probability, 15.38...15.60 m³/s for a 10 % exceedance probability, and 0.47...0.48 m³/s for a 90 % exceedance probability. Statistical tests confirmed the homogeneity of the hydrological series, providing a basis for the further application of the derived design parameters. The results of the study can be used as scientifically justified design data for the planning, design, and operation of hydraulic structures in the investigated section of the lower reaches of the Shu River, thereby contributing to improved reliability and safety.

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