https://doi.org/10.55764/2957-9856/2026-3-66-76.35

МРНТИ 37.27.19
УДК 556.166

А. А. Турсунова[1], А. А. Нурбацина[2], Н. Ж. Турсын[*3], Акн. А. Медеу[4]

[1] География ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор,
А. А. Турсынов атындағы Су ресурстары зертханасының жетекшісі
(АҚ «География және су қауіпсіздігі институты», Алматы, Қазақстан; *ais.tursun@bk.ru*)
[2] Аға ғылыми қызметкер (АҚ «География және су қауіпсіздігі институты»,
Алматы, Қазақстан; *aliya.nurbatsina@gmail.com*)
[3 *]Кіші ғылыми қызметкер (АҚ «География және су қауіпсіздігі институты»,
Алматы, Қазақстан; ***nurila_t@bk.ru***)
[4] Жетекші инженер (АҚ «География және су қауіпсіздігі институты»,
Алматы, Қазақстан; *rasentharnx@gmail.com*)

ҚАЗАҚСТАН ӨЗЕНДЕРІНДЕГІ МАКСИМАЛДЫ СУ ӨТІМДЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ЭКСТРЕМАЛДЫ ТАСҚЫНДАРДЫ ЕКІӨЛШЕМДІ ГИДРАВЛИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Аннотация. Климаттық өзгерістердің күшеюі және соған байланысты гидрометеорологиялық процестердің қарқынды өзгеруі жағдайында Қазақстан өзендеріндегі көктемгі су тасқындары кезеңіндегі максималды ағындының есептік сипаттамаларын нақтылау мәселесі ерекше маңызға ие болып отыр. Ұсынылып отырған жұмыста қолданыстағы нормативтік құжаттардың (СП 33-101-2003, ҚР ҚН) талаптарына сәйкес алты гидрологиялық бекет бойынша максималды су өтімдерінің көпжылдық қатарларына статистикалық талдау жүргізілді. Сирек қайталанатын есептік максималды су өтімдері анықталып, оларға нақты байқалған тарихи максималды су өтімдері мәндерімен салыстырмалы талдау жүргізілді. Көпжылдық бақылау деректерін талдау негізінде қарастырылып отырған гидрологиялық бекеттерде бақыланған су өтімдерінің 1 % қамтамасыздықтағы есептік су өтімінен бір рет қана асып кету байқалғаны анықталды, ал 3 % және 5 % қамтамасыздықтағы есептік су өтімінен асып кету бірнеше рет байқалған. Бұл ретте экстремалды гидрологиялық құбылыстардың соңғы онжылдықтарда жиі тіркелгені анықталды.Тарихи су тасқындары негізінде цифрлық жер бедері модельдері (DEM) мен нақты ағынды гидрографтарын пайдалана отырып, HEC-RAS бағдарламалық кешенінде сандық екіөлшемді гидродинамикалық модельдеу жүргізілді. Су басудың кеңістіктік таралуының карталары жасалып, жайылмалардағы су басудың максималды есептік тереңдіктері анықталды: Үбі өзенінде – 8,67 м-ге дейін, Қалқұтан өзенінде – 1,53 м, Бұқтырма өзенінде – 7,89 м, Тобыл өзенінде – 6,84 м, Тоғызақ өзенінде – 5,12 м және Нұра өзенінде – 4,58 м. Алынған нәтижелерді су шаруашылығы саласын жобалауға, инженерлік-гидрометеорологиялық ізденістерді өзектендіруге, гидротехникалық қорғаныс құрылыстарының параметрлерін негіздеуге, қала құрылысы жоспарлауына, сондай-ақ тасқынға қарсы іс-шараларды ұйымдастыру кезінде енгізу ұсынылады.

Түйін сөздер: су тасқыны, су басу, гидравликалық модельдеу, максималды су өтімі, HEC-RAS, су басу картасы.

Кіріспе. Соңғы онжылдықтарда климаттың өзгеруі өзендердің гидрологиялық режиміне және су тасқыны мен басқа да экстремалды гидрологиялық құбылыстардың қалыптасуына әсер ететін негізгі факторлардың бірі ретінде қарастырылады. «Қазгидромет» деректерінің ресми қорытындысы бойынша соңғы жылдары ауа температурасының жоғарылау үрдісі байқалу үстінде. Мысалы, 2025 жылы Қазақстан бойынша орташа ауа температурасы климаттық нормадан (1991-2020 жж.) 2,11 °С-қа жоғары болды. Сонымен қатар, Қазақстан Республикасы аумағында қыс мезгілі жылдан жылға алғанда жылы әрі жұмсақ бола түсуде [1].

Климаттық өзгерістер өзен ағындысының қалыптасу процестеріне тікелей әсер етеді. Ауа температурасының жоғарылауы және атмосфералық жауын-шашын режимінің өзгеруі қардың еру процесін жеделдетеді. Осыған байланысты су тасқынының өту мерзімдері өзгеріп, сәйкесінше максималды су өтімдері жоғарылауы мүмкін. Бұл су тасқынының пиктерінің өту мерзімдерінің ығысуына ықпал етеді. Қардың қарқынды еруі нәтижесінде қысқа мерзімді әрі жоғары пиктер қалыптасады. Зерттеулер қармен қоректенетін өзендер үшін маусымдық максималды су

өтімдерінің жылдан жылға өзгергіштігі артып, олардың болжамдылығы төмендейтінін көрсетеді [2].

Көпжылдық бақылау деректеріне сәйкес, ауа температурасының орташа мәнінің жоғарылауы су өтімдерінің ең жоғары мәндерінің артуымен қатар жүреді. Бұл әсіресе Қазақстанның солтүстік және орталық өңірлеріндегі өзендерге тән [3, 4]. Қазақстанның солтүстік және орталық өңірлері қысқа мерзімді, бірақ қарқынды көктемгі су тасқындарымен сипатталады [5].

Су тасқыны қаупі табиғи, антропогендік, әлеуметтік-экономикалық және басқа да факторлардың жиынтық әсеріне тәуелді [6, 7]. Осыған байланысты су тасқындарын болжау және су басу аймақтарын картографиялау ерекше өзектілікке ие және қазіргі гидрологиялық зерттеулердің маңызды бағыттарының бірі болып саналады.

Қазіргі уақытта өзен арнасы мен жайылма бойынша тасқын суларының таралу процестерін неғұрлым шынайы бейнелеуге мүмкіндік беретін екіөлшемді гидродинамикалық модельдер кеңінен қолданысқа ие. Модельдеу су туралы ғылымдардың заманауи теориялық-эксперименттік негізін құрайды. Ол сценарийлік талдауды жүзеге асыруға, тарихи гидрологиялық экстремумдарды қайта қалпына келтіруге (реконструкциялауға), су жүйелерінің болашақ жай-күйін болжауға, сондай-ақ су ресурстарын орнықты басқару және су тасқынынан келетін зиян тәуекелдерін азайту үшін қатаң негізделген ғылыми базаны қалыптастыруға мүмкіндік береді. Қазақстанда өзгермелі шұғыл континенталды климат жағдайында апатты су тасқындарына әкелетін сирек қайталанатын максималды ағындыны модельдеу туралы зерттеулер белсенді түрде ілгерілеуде [8-10]. Кеңінен қолданылатын модельдердің бірі – HEC-RAS 2D. Ол жер бедерінің кеңістіктік құрылымын ескере отырып, су басу тереңдігін, ағыс жылдамдығын және су басу шекараларын есептеуге мүмкіндік береді [11].

HEC-RAS бағдарламалық кешені арқылы гидродинамикалық модельдеу су басу аймақтарының шекараларын анықтауға мүмкіндік беретін физикалық негізделген әдістердің бірі болып табылады. Диффузиялық толқын теңдеуін 1D/2D есептік қойылымдарда сандық шешу мүмкіндіктерінің болуы, кіріктірілген ГАЖ құралдарының (RAS Mapper) қолданылуы және микрорельефті, гидротехникалық құрылыстарды, қалалық құрылыстарды егжей-тегжейлі ескеру мүмкіндігі HEC-RAS бағдарламасын табиғи тасқындар кезінде де, бөгеттің бұзылуы нәтижесінде қалыптасатын апатты тасқындар кезінде де қолдануға мүмкіндік береді [12].

HEC-RAS моделін ГАЖ платформаларымен және Жерді қашықтан зондтау технологияларымен (ЖҚЗ, БПЛА, LiDAR) интеграциялау су басу аймақтарындағы су тереңдігін есептеу дәлдігінің 87-91,8 %-ға дейін жетуін және су тереңдігін анықтаудағы қателіктердің төмен болуын қамтамасыз етеді [13, 14].

Осыған дейін Қазақстан аумағында жүргізілген зерттеулер HEC-RAS моделінің су тасқындарын модельдеу және су басу қаупін бағалау үшін тиімді қолданылатынын көрсетеді. Аталған модель 10-100 жылдық қамтамасыздықтағы су тасқындарын модельдеу, су тасқынына осал елді мекендерді анықтау, суару инфрақұрылымын басқару арқылы су тасқыны қаупін төмендету, сондай-ақ су тасқыны қаупін кешенді бағалау мақсатында қолданылған [15-17].

Жоғарыда келтірілген мүмкіндіктер мен Қазақстан аумағында жүргізілген зерттеулердің нәтижелері HEC-RAS моделін су тасқындарын модельдеу және су басу қаупін бағалау үшін қолданудың орындылығын негіздейді.

Зерттеу нысаны Қазақстанның жазық және ұсақ шоқылы аумақтарындағы өзендерде қалыптасатын су тасқыны процестері. Зерттеудің мақсаты HEC-RAS 2D бағдарламалық кешенін пайдалана отырып, су тасқыны оқиғаларын екіөлшемді гидравликалық модельдеу болып табылады.

Зерттеу материалдары мен әдістері. Зерттеудің бастапқы деректері ретінде «Қазгидромет» РМК-дан алынған гидрологиялық бақылау деректері және жер бедерінің цифрлық модельдері пайдаланылды. Гидрологиялық деректер өзендердегі бақылаулардың басталуынан бастап 2023 жылды қоса алғандағы кезеңді қамтиды.

Екіөлшемді гидродинамикалық модельдеу HEC-RAS бағдарламалық кешенінің 2D модулінде жүргізілді. Модельді құру барысында зерттелетін өзен учаскелерінің геометриялық сипаттамалары, жер бедерінің цифрлық моделі және гидрологиялық деректер пайдаланылды. Қазақстанның кіші және орташа өзендеріндегі су басу аймақтарын модельдеу үшін кеңістіктік ажыратымдылығы 10-30 м болатын жер бедерінің цифрлық модельдерін пайдалану ұсынылады [18]. Осы зерттеуде

модельдің рельефтік негізі (Terrain) ретінде кеңістіктік ажыратымдылығы 30 м болатын Copernicus DEM GLO-30 цифрлық биіктік моделі қолданылды.

HEC-RAS бағдарламасында өзен арнасы мен оған іргелес жайылма аумақтарын қамтитын екіөлшемді есептік аймақ және есептік тор құрылды. Тарихи тасқындарды модельдеу кезінде су өтімдерінің тәуліктік қатарлары пайдаланылып, су тасқынын қамтитын кезең үшін ағын гидрографтары қалыптастырылды. Гидрографтар HEC-RAS моделінде жоғарғы шекаралық шарт (Upstream) ретінде енгізілді, ал төменгі шекарада қалыпты тереңдік (Normal Depth) шарты қолданылды. Модельдеу нәтижесінде тарихи тасқындар кезіндегі су басудың кеңістіктік таралуы, максималды су басу тереңдіктері және су басу шекаралары анықталды. Есептеу нәтижелері негізінде әрбір зерттелетін өзен учаскесі үшін максималды су басу тереңдіктерінің карталары жасалды.

Гидрологиялық талдау жүргізу үшін зерттелетін аумақтағы өзендерде орналасқан гидрологиялық бекеттер таңдалды. Бекеттерді таңдау максималды су өтімдері бойынша бақылау қатарларының ұзақтығы мен репрезентативтілігі ескеріле отырып [19] жүргізілді.

1-кесте – Зерттеуде пайдаланылған гидрологиялық бекеттердің сипаттамасы

Table 1 – Characteristics of hydrological stations used in the study

Өзен	Бекет	Сағадан қашықтығы, км	Жұмыс істеу кезеңі		График нөлінің биіктігі		Су жинау алабының ауданы F, км^2
			ашылған	жабылған	биіктігі, м	биіктік жүйесі	
Үбі өз.	Шемонаиха қ.	62	16.04.1954	Қолданыста	289,02	БС	8470
Бұқтырма өз.	Лесная Пристань а.	23	13.05.1929 (01.01.1954)	Қолданыста	427,67	БС	10100
Қалқұтан өз.	Қалқұтан а.	44	01.01.1936 (01.01.1984)	Қолданыста	279,96	БС	16500
Тобыл өз.	Қостанай қ.	1185	04.05.1931	Қолданыста	123,03	БС	28000
Нұра өз.	Қорғалжын а.	182	01.07.1905 (01.11.2009)	Қолданыста	318,5	БС	46932
Тоғызақ өз.	Тоғызақ а.	70	02.08.1931 (07.11.2002)	Қолданыста	144,13	БС	5970

Нәтижелер. Тарихи су тасқындарының экстремалдылығын бағалау мақсатында максималды су өтімдерінің көпжылдық қатарларына талдау жүргізілді. Қатарларды статистикалық өңдеу негізінде 1, 3 және 5 % қамтамасыздықтағы есептік максималды су өтімдері анықталды. Аталған қамтамасыздық мәндерін таңдау СП 33-101-2003 және ҚР ҚН талаптарына сәйкес гидротехникалық құрылыстар мен инфрақұрылым объектілерін жобалау кезінде қолданылатын есептік қамтамасыздықтардың нормативтік ауқымына негізделді [19]. Осы қамтамасыздықтар диапазонын қарастыру зерттелетін өзендердегі сирек қайталанатын және жоғары су өтімдерімен сипатталатын су тасқындарын бағалауға мүмкіндік береді.

Одан әрі есептік су өтімінің мәндері бақылау жылдарындағы нақты максималды су өтімдерімен салыстырылып, олардың есептік мәндерден асқан жағдайлары анықталды. Есіл өзені алабы бойынша жүргізілген жұмыста сирек сирек қайталанатын қамтамасыздықтарды есептеу туралы зерттеулер толығырақ қарастырылған [20]. Алынған нәтижелер экстремалды су өтімдерінің байқалу жиілігін бағалауға және елеулі тасқындар байқалған жылдарды анықтауға мүмкіндік береді.

Есептік мәндерді тарихи бақылау деректерімен салыстыру қарастырылған қатарлардың көпшілігінде 1 % қамтамасыздықтан асу байқалмағанын көрсетеді. Тек қана Бұқтырма өзені – Лесная Пристань ауылы гидрологиялық бекетінде 2015 жылы 1 % қамтамасыздықтан асу байқалған. Бұл 2015 жылы Қазақстан аумағында ауаның орташа жылдық температурасының климаттық нормадан 1,0-2,5 °С-қа жоғары болуымен байланысты болуы мүмкін. 2015 жылы әсіресе Шығыс Қазақстан облысында айтарлықтай температуралық аномалиялар байқалған. Температуралық фактордан басқа, 2015 жыл ылғалдың шамадан тыс болуымен де сипатталды. Республиканың солтүстік-шығыс және орталық аудандарында жылдық жауын-шашын мөлшері нормадан 20-60 %-ға артық болған [21].

2-кесте – 1, 3 және 5 % қамтамасыздықтағы есептік су өтімдері және олардан асып кеткен жылдар

Table 2 – Estimated water discharges at 1, 3, and 5% exceedance probabilities and years exceeding them

Өзен – бекет	1 % қамтамасыздық			3 % қамтамасыздық			5 % қамтамасыздық		
	Q, м³/с	Асып кеткен жылдар саны	Тарихи жылдар	Q, м³/с	Асып кеткен жылдар саны	Тарихи жылдар	Q, м³/с	Асып кеткен жылдар саны	Тарихи Жылдар
Үбі өз. – Шемонаиха қ.	3176	0	–	2798	2	1958, 1979	2624	5	1955, 1958, 1969, 1973, 1979
Бұқтырма өз. – Лесная Пристань а.	2542	1	2015	2229	2	1973, 2015	2086	3	1969, 1973, 2015
Қалқұтан өз. – Қалқұтан а.	1404	0	–	1141	2	2005, 2007	878	3	1964, 2005, 2007
Тобыл өз. – Қостанай қ.	2596	0	–	1631	1	1974	1174	2	1985, 2000
Нұра өз. – Қорғалжын а.	918	0	–	875	2	2015, 2017	847	4	1976, 2015, 2017, 2019
Тоғызақ өзені – Тоғызақ а.	666	0	–	464	1	2013	361	3	2005, 2013

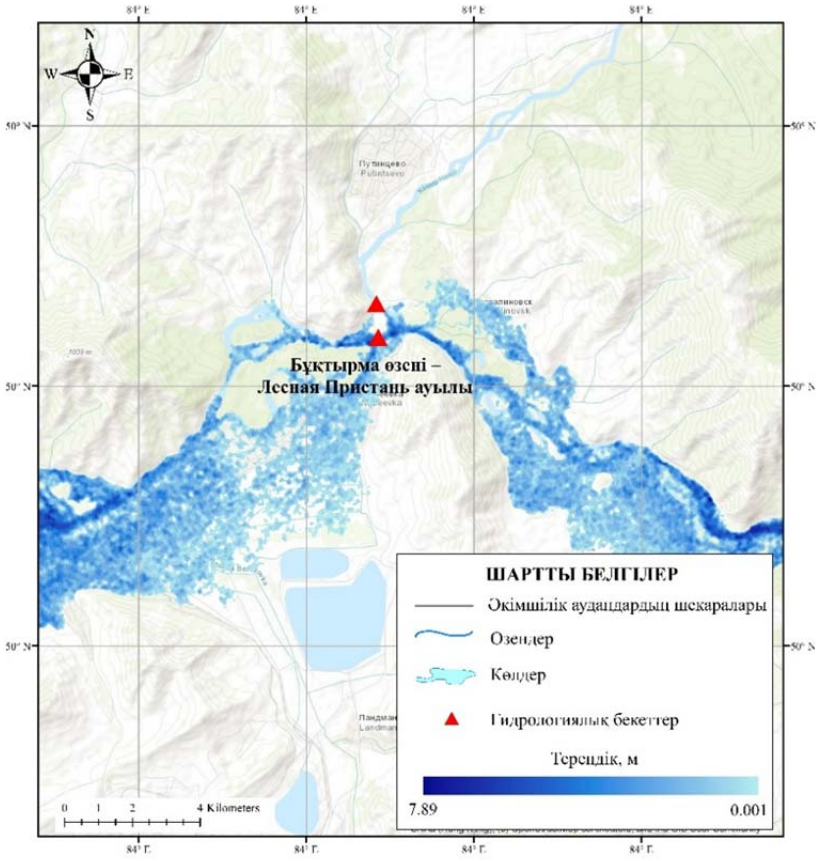
3 % қамтамасыздықтағы есептік су өтімінен асып кету барлық қарастырылған гидрологиялық бекеттерде байқалды. Аталған мәннен Бұқтырма, Тобыл және Тоғызақ өзендерінде 1 реттен, ал Үбі, Қалқұтан және Нұра өзендерінде 2 реттен асып кету тіркелді.

5 % қамтамасыздық үшін тарихи асып кетулер қарастырылған барлық гидрологиялық бекеттерде анықталды. Асып кетулер саны 2-5 жыл аралығында өзгереді. Есептік 5 % су өтімінен асып кетулердің ең көп саны Үбі өзені - Шемонаиха қаласы гидрологиялық бекетінде байқалды (5 рет). Олардың ішінде 1958, 1969 және 1979 жылдары максималды су өтімдерінің жоғары мәндерімен ерекшеленеді. Нұра өзені- Қорғалжын ауылы гидрологиялық бекетінде 4 реТ. – ал Бұқтырма, Қалқұтан және Тоғызақ өзендерінде 3 рет есептік 5 % қамтамасыздықтан асып кету тіркелді. Ал Тобыл өзенінде есептік өтімнен асып кету 1985 және 2000 жылдары тіркелген.

Есептік су өтімдерінен асып кеткен тарихи жылдарды талдау экстремалды гидрологиялық құбылыстардың қазіргі кезеңде жиірек байқала бастағанын көрсетеді. Әсіресе, 2015 және 2017 жылдары бірнеше гидрологиялық бекеттерде есептік су өтімдерінен асып кету жағдайлары тіркелген.

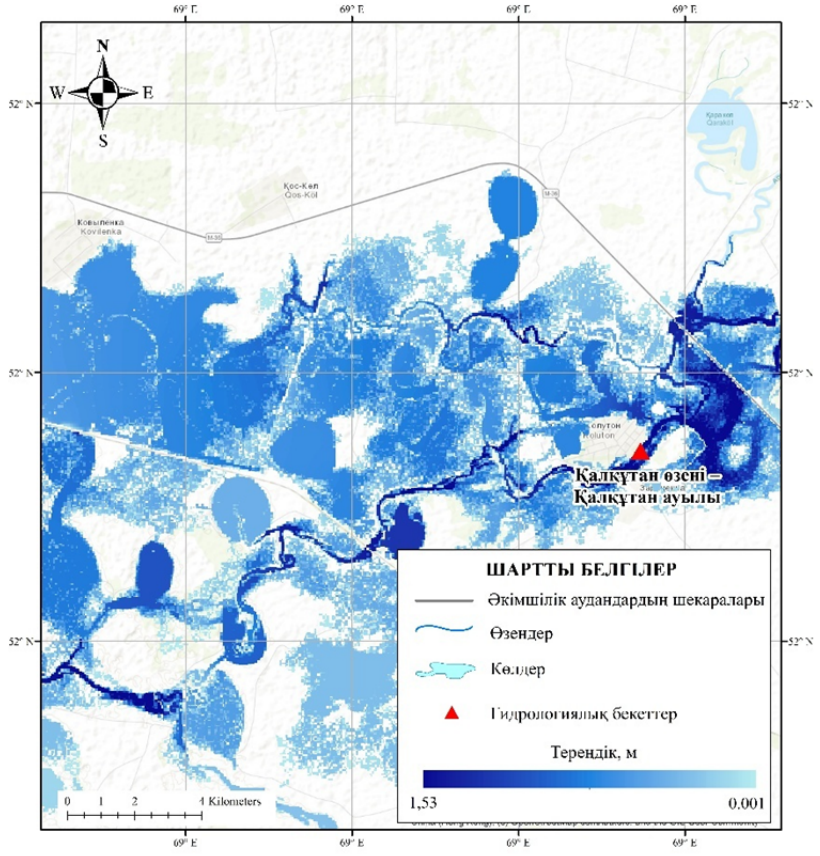
Су тасқындарын екіөлшемді модельдеу үшін зерттеу барысында тарихи су тасқындары туралы деректер талданды. Модельдеу үшін су тасқыны оқиғасы тіркелген, сондай-ақ тиісті гидрологиялық бекеттер бойынша толық гидрологиялық бақылау деректері сақталған жылдар іріктелді. Осы критерийлер негізінде Бұқтырма өзені үшін 2015 жыл, Қалқұтан өзені үшін 2019 жыл, Нұра өзені үшін 2015 жыл, Тобыл өзені үшін 2000 жыл, Тоғызақ өзені үшін 2013 жыл және Үбі өзені үшін 2015 жыл таңдалды. Таңдалған тарихи тасқын оқиғалары үшін HEC-RAS 2D бағдарламалық кешенінде екіөлшемді гидравликалық модельдеу жүргізілді. Модельдеу нәтижелері келесі суреттерде берілген.

Талқылаулар. Жоғарыда берілген су басу карталары өңірлердің географиялық және ландшафтық ерекшеліктеріне байланысты су тасқыны құбылыстарының сипаты мен ауқымында елеулі айырмашылықтар бар екенін көрсетеді. Мәселен, Шемонаиха қаласы маңындағы Үбі өзені (2015 ж., су басудың максималды тереңдігі 8,67 м дейін), Лесная Пристань ауылы маңындағы Бұқтырма өзені (2015 ж., 7,89 м дейін), сондай-ақ Қостанай қаласы маңындағы Тобыл өзені (2000 ж., 6,84 м дейін) су басу тереңдігінің ең жоғары көрсеткіштерімен ерекшеленеді. Ал жазық өзендерге жататын Қалқұтан (2019 ж.) және Қорғалжын ауылы маңындағы Нұра (2015 ж.) өзендері жайылманың кең әрі жазық болуымен сипатталады. Бұл жағдайда су басу аумағы едәуір кең болғанымен, максималды тереңдік көрсеткіштері салыстырмалы түрде төмен (тиісінше 1,53 м және



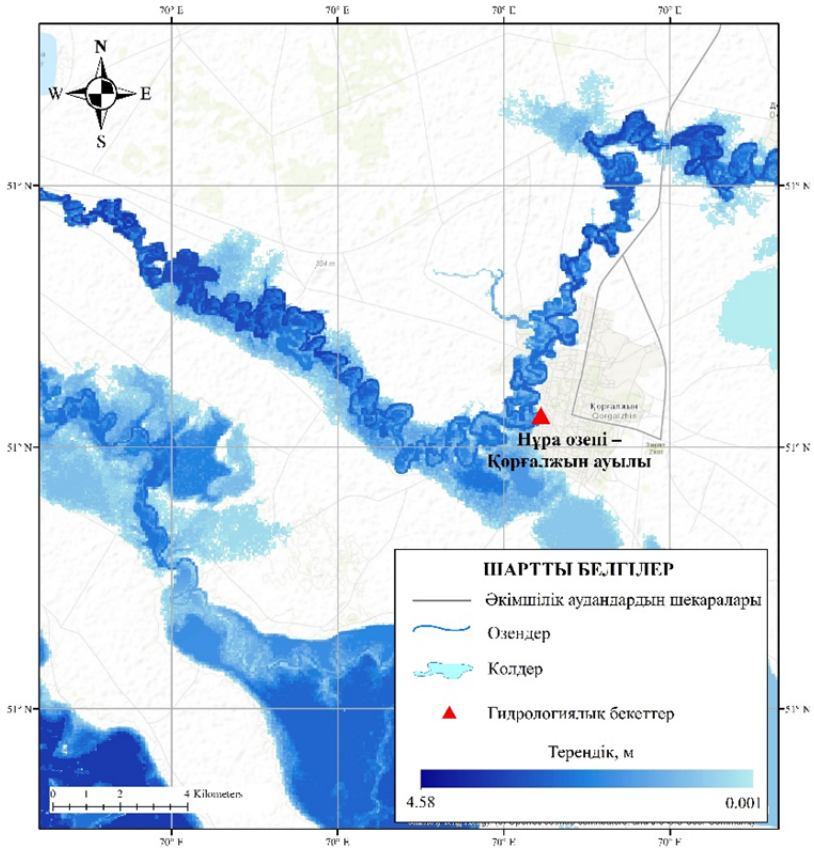
1-сурет –
Бұқтырма өзені – Лесная Пристань ауылы маңындағы учаскесінде 2015 жылғы тасқын кезінде су басу картасы

Figure 1 –
Inundation map of the Bukhtarma River section near Lesnaya Pristan village during the 2015 flood



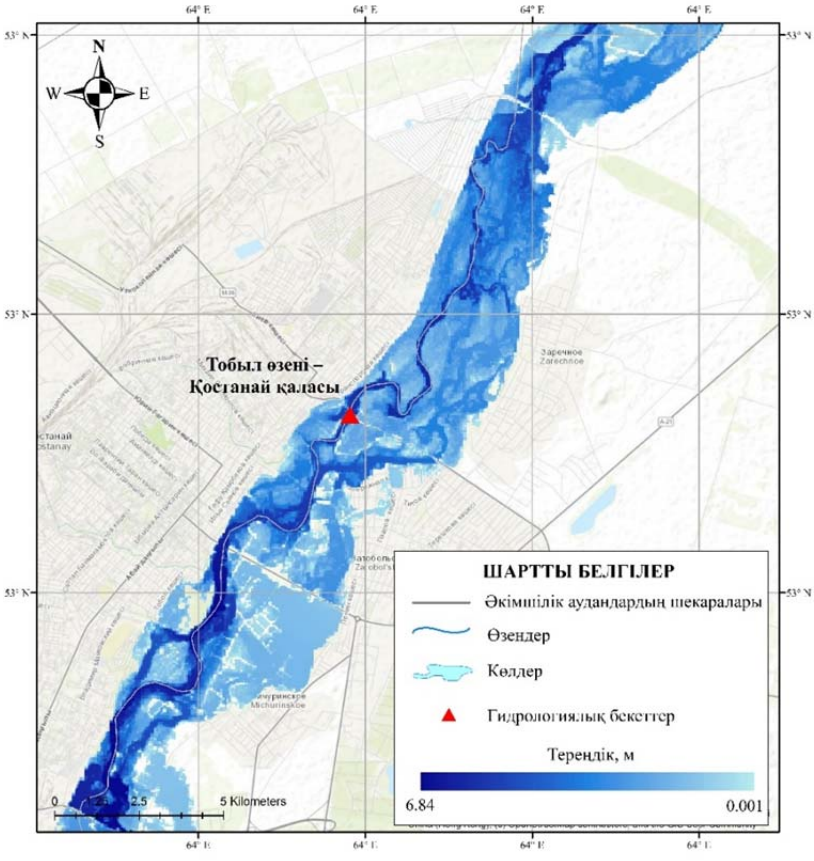
2-сурет –
Қалқұтан өзені – Қалқұтан ауылы маңындағы учаскесінде 2019 жылғы тасқын кезінде су басу картасы

Figure 2 –
Inundation map of the Kalkutan River section near Kalkutan village during the 2019 flood



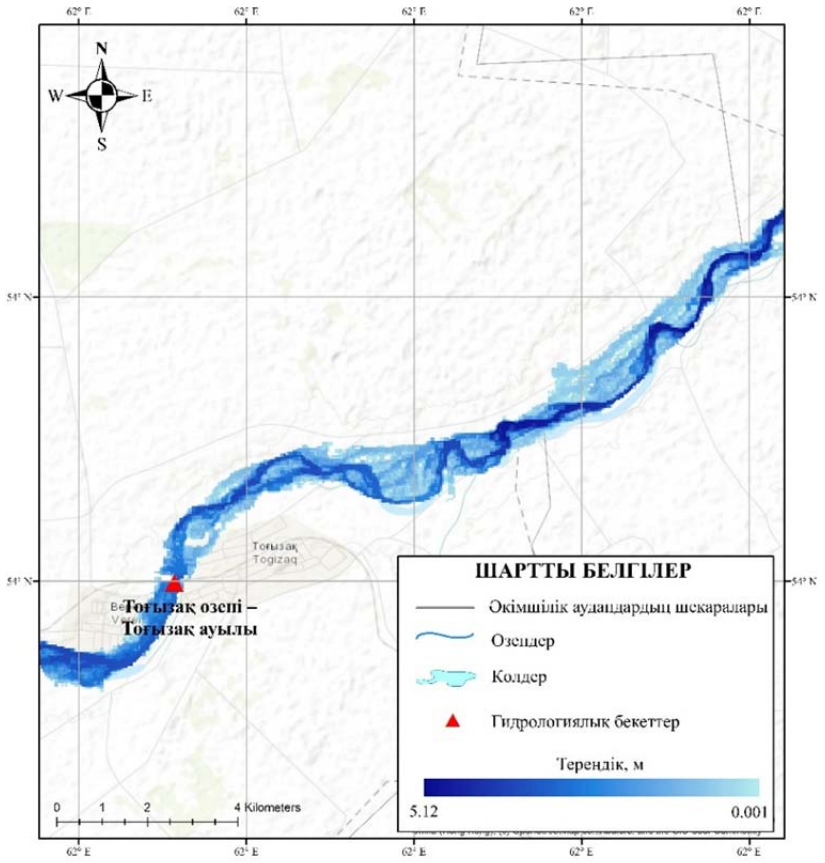
3-сурет –
Нұра өзені – Қорғалжын ауылы
маңындағы учаскесінде
2015 жылғы тасқын кезінде
су басу картасы

Figure 3 –
Inundation map of the Nura River section
near Korgalzhyn village during
the 2015 flood



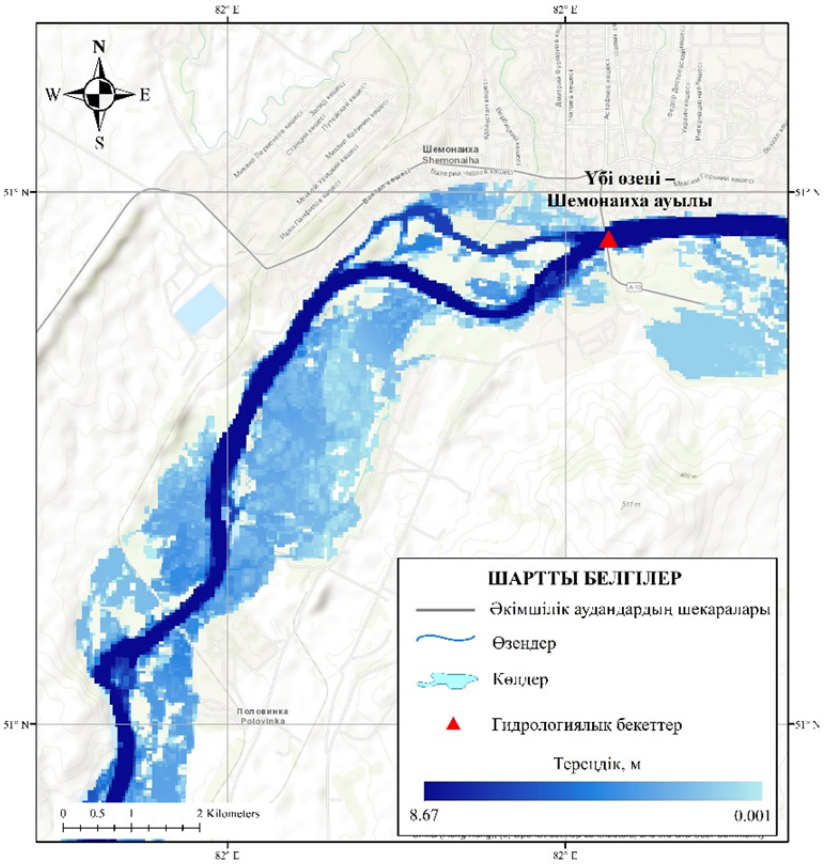
4-сурет –
Тобыл өзені – Қостанай қаласы
маңындағы учаскесінде
2000 жылғы тасқын кезінде
су басу картасы

Figure 4 –
Inundation map of the Tobol River section
near Kostanay city during the 2000 flood



5-сурет –
Тоғызақ өзені – Тоғызақ ауылы маңындағы учаскесінде 2013 жылғы тасқын кезінде су басу картасы

Figure 5 –
Inundation map of the Togyzak River section near Togyzak village during the 2013 flood



6-сурет –
Үбі өзені – Шемонаиха қаласы маңындағы учаскесінде 2015 жылғы тасқын кезінде су басу картасы

Figure 6 –
Inundation map of the Uba River section near Shemonaikha city during the 2015 flood

4,58 м дейін). Осылайша, барлық алты картаны салыстыру су тасқындарының сипаты өңірдің ландшафтық-климаттық жағдайларына да тікелей тәуелді екенін көрсетеді. Таулы аумақтағы өзендер тар аңғарлардағы ағыстың жоғары жылдамдығы мен тереңдігіне байланысты қауіпті болса, жазық өзендер кең аумақтарды қамтитын ауқымды су басуларды туындатады.

Қорытынды. Жұмыс барысында гидрологиялық режимді бағалау мақсатында Қазақстан аумағындағы 6 гидрологиялық бекет бойынша репрезентативті деректер базасы қарастырылды. Қарастырылған максималды су өтімдерінің хронологиялық қатарлары СП 33-101-2003 және ҚР ҚН нормативтік талаптарында белгіленген репрезентативтілік, біртектілік және стационарлық талаптарына сәйкес келеді.

Тарихи максималды су өтімдері мәндерін есептік параметрлермен салыстыру бүкіл бақылау кезеңінде тіркелген нақты су өтімдерінің сирек қайталанатын 1 % қамтамасыздықтағы есептік су өтімінен бір рет қана асып кеткенін көрсетті (Бұқтырма өзені, 2015 жыл - 2542 м³/с). 3 % қамтамасыздықтағы есептік су өтімінен 1-2 реТ. – ал 5 % қамтамасыздықтағы есептік су өтімінен 2-5 рет асып кету тіркелген. Ең жоғары қайталану жиілігі Үбі өзенінде (5 рет) және Нұра өзенінде (4 рет) байқалды.

Тарихи деректерді талдау экстремалды гидрологиялық құбылыстардың қазіргі кезеңде жиі байқалғанын көрсетеді. Әсіресе 2013, 2015, 2017 және 2019 жылдардағы елеулі тасқын оқиғалары ерекшеленеді. Бұл құбылыстар өңірлік климаттық жағдайлардың өзгеруімен, оның ішінде ауа температурасының жоғарылауымен және қар еру кезеңіндегі жауын-шашын режимінің өзгеруімен байланысты. Аталған факторлар қардың еру қарқындылығына, көктемгі су тасу мерзімдеріне және максималды ағынның қалыптасуына әсер етеді.

Жер бедерінің сандық моделін және максималды су өтімдері деректерін пайдалана отырып, HEC-RAS бағдарламалық кешенінде тарихи су тасқындарына екіөлшемді модельдеу жұмысы жасалды. Жайылмалық аумақтардың су басу карталары құрастырылып, су басудың максималды есептік тереңдіктері анықталды: Үбі өзенінде (Шемонаиха қ., 2015 ж.) 8,67 м-ге дейін және Қалқұтан өзенінде (Қалқұтан а., 2019 ж.) 1,53 м, Бұқтырма өзенінде (Лесная Пристань а., 2015 ж.) 7,89 м, Тобыл өзенінде (Қостанай қ., 2000 ж.) 6,84 м, Тоғызақ өзенінде (Тоғызақ а., 2013 ж.) 5,12 м және Нұра өзенінде (Қорғалжын а., 2015 ж.) 4,58 м.

Алынған тереңдіктердің таралу карталарын аумақтарды су басу деңгейі бойынша аймақтарға бөлу, тасқынға қарсы іс-шараларды жоспарлау және төтенше жағдайлар тәуекелдерін төмендету кезінде ақпараттық негіз ретінде пайдалану ұсынылады.

Қаржыландыру. Зерттеу BR23791322 «Қазақстан Республикасының су қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін су ресурстарын сақтаудың, молықтырудың және тиімді бөлістірудің ғылыми-техникалық қамтамасыздығы» ғылыми-техникалық бағдарламасының №1 «Қазақстан Республикасының сушаруашылық алаптарында әр түрлі суқамтамасыздық жылдарындағы жыл сайын жаңартылатын су ресурстарын бағалау және болжау» іс-шарасы аясында қаржыландырылды.

ӘДЕБИЕТ

[1] Обзор особенностей климата на территории Казахстана за 2025 год. – Астана: РГП «Казгидромет», 2026. – С. 12-24.

[2] Plekhanov P. A., Medeu N. N. Extreme Hydrological Phenomena in the Esil River Basin: Genesis, General Patterns of Manifestation // Journal of Ecological Engineering. – 2019. – Vol. 20, No. 7. – P. 187-195. – DOI: 10.12911/22998993/109880

[3] Kundzewicz Z. W., Kanae S., Seneviratne S. I., Handmer J., Nicholls N., Peduzzi P., Sherstyukov B. Flood risk and climate change: global and regional perspectives // Hydrological Sciences Journal. – 2013. – Vol. 59, No 1. – P. 1-28. – DOI: 10.1080/02626667.2013.857411

[4] Аскарова М. А., Медеу А. А., Медеу А., Муссагалиева А. Н. Адаптивная модель влияния изменения климата на природно-хозяйственные системы Казахстана // Journal of Geography and Environmental Management. – 2021. – Т. 60, № 1. – С. 52-60. – DOI: 10.26577/JGEM.2021.v60.i1.05

[5] Yapiyev V., Ongdas N., Saidaliyeva Z., Zhiyenbek A., Smogulova T., Baigaliyeva M., Prikaziuk E. Baseline information and regionalization of the large river basins of Kazakhstan // Frontiers in Water. – 2025. – Vol. 7. – DOI: 10.3389/frwa.2025.1601671

[6] Blöschl G., Hall J., Viglione A., Lun D., Schmocker-Fackel P., Parajka J., Mandurino M. F., Fokhs M., Arheimer B., Castellarin A., Macdonald E., Claps P., Kjeldsen T. R., Kohnová S., Merz B., Merz R., Machado M. J., Blaschke A. P., Salinas J. L., Szolgay J., Alberto A., Bárdossy A., Birsan M. V., Brázdil R., Bubeck P., Chirico G. B., Cloke H. L., Degiorgis S., Di Baldassarre G., Kiss A., Komma J., Kriaučiūnienė J., Reihan A., Turkington T., Wakhlu O. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods // Nature, 573(7772), 108-111.

[7] Авакян А. Б., Истомина М. Н. Природные и антропогенные причины наводнений // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2013. – Т. 3, № 1. – С. 180-193.

[8] Alimkulov S., Makhmudova L., Mussina A., Medeu A., Tokmagambetova R., Saparova A. Current Trends and Future Scenarios: Modeling Maximum River Discharge in the Zhaiyk–Caspian Basin (Kazakhstan) Under a Changing Climate // Hydrology. – 2025. – Vol. 12, No. 11. – C. 278.

[9] GIS-based flood risk assessment in the Zhabay River Basin, Kazakhstan / A. Mussina, L. Makhmudova, A. Medeu, A. Toleubayeva, A. Nurbatsina // Progress in Disaster Science. – 2026. – Vol. 25. – Art. 100694. – DOI: 10.1016/j.pdisas.2026.100694

[10] Makhmudova L., Mussina A., Tokmagambetova R., Medeu A., Yegizbayeva A. Modeling Flood-Prone Areas Using Statistical and GIS Approaches: Insights from the Yertis River Basin, Kazakhstan // Environments. – 2026. – Vol. 13, No. 6. – P. 303.

[11] Brunner G. W. HEC-RAS River Analysis System. 2D Modeling User's Manual. Version 5.0.7. – Davis, CA: U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2021. – 512 p.

[12] Mustafa A., Szydłowski M. Application of different building representation techniques in HEC-RAS 2-D for urban flood modeling using the Toce River experimental case // PeerJ. – 2021. – Vol. 9. – Art. e11667 (25 p.). – DOI: 10.7717/peerj.11667

[13] Евдокимов С. И. Применение программного комплекса HEC-RAS для анализа потенциальных зон затопления при различных уровнях воды (на примере дельты реки Великой) // Вестник Псковского государственного университета. Серия: естественные и физико-математические науки. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 51-64.

[14] Калыбаева А., Бисенбаева С. Оценка моделирования зон затопления при паводках на реке Жайык (Урал) // Гидрометеорология и экология. – 2025. – № 4(119). – С. 84-94.

[15] Ongdas N., Akiyanova F., Karatayev A., Yegizbayeva A., Toktarbek K. Application of HEC-RAS (2D) for flood hazard maps generation for Yesil (Ishim) river in Kazakhstan // Water. – 2020. – Vol. 12, No. 10. – Art. 2672.

[16] Akiyanova F. Aripjanov D., Baimagambetov B., Baisingirov E., Kadyrbayeva A. Operation of gate-controlled irrigation system using HEC-RAS 2D for spring flood hazard reduction // Computation. – 2023. – Vol. 11, No. 2. – Art. 27.

[17] Калашникова О. Ю., Нурбацина А. А., Ниязов Дж. Б. Оценка рисков наводнений и паводков в целях устойчивого развития в бассейна реки Жабай (Казахстан) // Central Asian Journal of Sustainability and Climate Research. – 2023. – Т. 2, № 1. – С. 22-45. – DOI: 10.29258/CAJSCR/2023-R1.v2-1/22-45.rus

[18] Турсунова А. А., Алимкулов С. К., Нурбацина А. А. и др. Применение модели SWIM для моделирования стока и паводковых рисков в бассейнах Казахстана. – Алматы: Smart University Press, 2025. – 164 с.

[19] СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004. – 73 с.

[20] Турсунова А. А., Медеу А. А. Оценка экстремального стока бассейна реки Есиль: Статистические модели и риски в условиях меняющегося климата // География и водные ресурсы. – 2026. – № 2. – С. 28-38.

[21] Ежегодный бюллетень мониторинга изменения и состояния климата Казахстана: 2015 год. – Астана : РГП «Казгидромет», 2016. – 54 с.

REFERENCES

[1] RSE "Kazhydromet" (2026). Overview of climate features in the territory of Kazakhstan for 2025. Astana: RSE Kazhydromet, pp. 12-24 (in Russ.).

[2] Plekhanov P. A., Medeu N. N. (2019). Extreme Hydrological Phenomena in the Esil River Basin: Genesis, General Patterns of Manifestation // Journal of Ecological Engineering, 20(7), 187-195. https://doi.org/10.12911/22998993/109880

[3] Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., & Sherstyukov, B. (2013) Flood risk and climate change: global and regional perspectives // Hydrological Sciences Journal, 59(1), 1-28. https://doi.org/10.1080/02626667.2013.857411

[4] Askarova M. A., Medeu A. A., Medeu A., Mussagaliyeva A. N. (2021). Adaptive model of climate change impact on natural and economic systems of Kazakhstan // Journal of Geography and Environmental Management, 60(1), 52-60. https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v60.i1.05 (in Russ.).

[5] 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, 7, Article 1601671. https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1601671

[6] Blöschl G., Hall J., Viglione A., Lun D., Schmocker-Fackel P., Parajka J., Mandurino M. F., Fokhs M., Arheimer B., Castellarin A., Macdonald E., Claps P., Kjeldsen T. R., Kohnová S., Merz B., Merz R., Machado M. J., Blaschke A. P., Salinas J. L., Szolgay J., Alberto A., Bárdossy A., Birsan M. V., Brázdil R., Bubeck P., Chirico G. B., Cloke H. L., Degiorgis S., Di Baldassarre G., Kiss A., Komma J., Kriaučiūnienė J., Reihan A., Turkington T., Wakhlu O. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods // Nature, 573(7772), 108-111. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6

[7] Avakyan A. B., Istomina M. N. (2013). Natural and anthropogenic causes of floods // Civil Security Strategy: Problems and Research, 3(1), 180-193 (in Russ.).

[8] Alimkulov S., Makhmudova L., Mussina A., Medeu A., Tokmagambetova R., Saparova A. (2025). Current Trends and Future Scenarios: Modeling Maximum River Discharge in the Zhaiyk–Caspian Basin (Kazakhstan) Under a Changing Climate // Hydrology, 12(11), Article 278. https://doi.org/10.3390/hydrology12110278

[9] Mussina A., Makhmudova L., Medeu A., Toleubayeva A., Nurbatsina A. (2026). GIS-based flood risk assessment in the Zhabay River Basin, Kazakhstan // Progress in Disaster Science, 25, Article 100694. https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2026.100694

[10] Makhmudova L., Mussina A., Tokmagambetova R., Medeu A., Yegizbayeva A. (2026). Modeling Flood-Prone Areas Using Statistical and GIS Approaches: Insights from the Yertis River Basin, Kazakhstan // Environments, 13(6), Article 303. https://doi.org/10.3390/environments13060303

[11] Brunner G. W. (2021). HEC-RAS River Analysis System: 2D Modeling User's Manual (Version 5.0.7, Report No. CPD-68). Davis, CA: U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 512 p.

[12] Mustafa A., Szydłowski M. (2021). Application of different building representation techniques in HEC-RAS 2-D for urban flood modeling using the Toce River experimental case // PeerJ, 9, Article e11667. https://doi.org/10.7717/peerj.11667

[13] Evdokimov S. I. (2025). Application of the HEC-RAS software package for analyzing potential flood zones at various water levels (on the example of the Velikaya River Delta) // Bulletin of Pskov State University. Series: Natural and Physical-Mathematical Sciences, 18(4), 51-64 (in Russ.).

[14] Kalybayeva A., Bisenbayeva S. (2025). Assessment of flood zone modeling during spring floods on the Zhaiyk (Ural) River // Hydrometeorology and Ecology, (4), 84-94 (in Russ.).

[15] Ongdas N., Akiyanova F., Karatayev A., Yegizbayeva A., Toktarbek K. (2020). Application of HEC-RAS (2D) for flood hazard maps generation for Yesil (Ishim) river in Kazakhstan // Water, 12(10), Article 2672. https://doi.org/10.3390/w12102672

[16] Akiyanova F., Aripjanov D., Baimagambetov B., Baisingirov E., Kadyrbayeva A. (2023). Operation of gate-controlled irrigation system using HEC-RAS 2D for spring flood hazard reduction // Computation, 11(2), Article 27. https://doi.org/10.3390/computation11020027

[17] Kalashnikova O. Y., Nurbatsina A. A., Niyazov J. B. (2023). Flood and inundation risk assessment for sustainable development in the Zhabay River basin (Kazakhstan) // Central Asian Journal of Sustainability and Climate Research, 2(1), 22-45. https://doi.org/10.29258/CAJSCR/2023-R1.v2-1/22-45.rus (in Russ.).

[18] Tursunova A. A., Alimkulov S. K., Nurbatsina A. A., et al. (2025). Application of the SWIM model for streamflow simulation and flood risk modeling in river basins of Kazakhstan: Monograph. Almaty: Smart University Press, 164 p. (in Russ.).

[19] SP 33-101-2003. (2004). Determination of basic calculated hydrological characteristics. Moscow: Gosstroy of Russia, 73 p. (in Russ.).

[20] Tursunova A. A., Medeu A. A. (2026). Assessment of extreme runoff in the Yesil River basin: Statistical models and risks under a changing climate // Geography and Water Resources, (2), 28-38 (in Russ.).

[21] RSE "Kazhydromet". (2016). Annual bulletin of monitoring climate change and state in Kazakhstan: 2015. – Astana: RSE Kazhydromet, 54 p. (in Russ.).

А. А. Турсунова[1], А. А. Нурбацина[2], Н. Ж. Турсын[*3], Акн. А. Медеу[4]

[1] К. г. н., ассоциированный профессор,
руководитель лаборатории водных ресурсов имени А. А. Турсынова
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; *ais.tursun@bk.ru*)
[2] Старший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; *aliya.nurbatsina@gmail.com*)
[3] [*]Младший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; ***nurila_t@bk.ru***)
[4] Ведущий инженер (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; *rasentharnx@gmail.com*)

АНАЛИЗ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ НА РЕКАХ КАЗАХСТАНА И ДВУХМЕРНОЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПАВОДКОВ

Аннотация. В условиях усиления климатических изменений и связанной с ними трансформации гидрометеорологических процессов особое значение приобретает уточнение расчетных характеристик максимального весеннего стока рек Казахстана. В соответствии с СП 33-101-2003 и СН РК выполнен статистический анализ многолетних рядов максимальных расходов воды по шести гидропостам. Определены расчетные максимумы редкой повторяемости и проведен их сравнительный анализ с фактическими значениями. Установлено, что превышение расхода 1% обеспеченности наблюдалось лишь единожды, тогда как 3 и 5% превышались неоднократно, что подтверждает учащение экстремальных гидрологических явлений в последние годы. На основе исторических паводков, ЦМР (DEM) и гидрографов фактического стока выполнено численное двухмерное гидродинамическое моделирование в HEC-RAS. Составлены карты пространственного распространения затоплений и определены максимальные глубины на поймах: р. Уба – до 8,67 м, р. Буктырма – 7,89 м, р. Тобыл – 6,84 м, р. Тогызак – 5,12 м, р. Нура – 4,58 м, р. Калкутан – 1,53 м. Результаты рекомендуются для проектирования гидросооружений, инженерных изысканий, градостроительства и противопаводковых мероприятий.

Ключевые слова: паводок, затопление, гидравлическое моделирование, максимальный расход воды, HEC-RAS, карта затопления.

A. A. Tursunova[1], A. A. Nurbatsina[2], N. Zh. Tursyn[*3], Akn. A. Medeu[4]

[1] Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the A. A. Tursunov Laboratory of Water Resources (JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; *ais.tursun@bk.ru*)
[2] Senior Researcher (JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; *aliya.nurbatsina@gmail.com*)
[3 *] Junior Researcher (JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; ***nurila_t@bk.ru***)
[4] Leading Engineer (JSC "Institute of Geography and Water Security", Almaty, Kazakhstan; *rasentharnx@gmail.com*)

ANALYSIS OF MAXIMUM DISCHARGES IN THE RIVERS OF KAZAKHSTAN AND TWO-DIMENSIONAL HYDRAULIC MODELING OF EXTREME FLOODS

Abstract. In the context of intensifying climate change and associated rapid transformations in hydro-meteorological processes, refining the calculated parameters of maximum spring flood runoff for Kazakhstan rivers has become critically important. In this study, statistical analysis of long-term maximum discharge series was conducted for six hydrological stations according to current regulatory standards (SP 33-101-2003, SP RK). Low-frequency design maximum discharges were determined and comparatively evaluated against observed historical values. Analysis of long-term observation data showed that observed water discharges exceeded the 1% exceedance probability design value only once, whereas exceedances of 3% and 5% values occurred multiple times, with extreme events recorded more frequently in recent decades. Based on historical floods, two-dimensional hydrodynamic modeling was performed in HEC-RAS using digital elevation models (DEMs) and actual runoff hydrographs. Spatial inundation maps were created, and maximum estimated floodplain water depths were determined: up to 8.67 m on the Uba River, 1.53 m on the Kalkutan River, 7.89 m on the Bukhtarma River, 6.84 m on the Tobol River, 5.12 m on the Togyzak River, and 4.58 m on the Nura River. The results are recommended for use in water management design, updating engineering-hydrometeorological surveys, substantiating parameters for hydraulic defense structures, urban planning, and flood control management.

Keywords: flood, inundation, hydraulic modeling, maximum water discharge, HEC-RAS, flood inundation map.