

ГТАХР: 27.35.27, 89.57.25, 50.41.25, 30.51.33

М.Қ. Бейсембекова¹, Г.М. Маемерова², З.Б. Ракишева³

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғ., 71, Алматы, 050040, Қазақстан

(E-mail: ¹ beisembekova.meruyert@gmail.com, ² mayemerova@gmail.com,
³ zaure.ra@gmail.com)

БАЛҚАШ КӨЛІНДЕГІ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ БИІКТІГІН SMB ПАРАМЕТРЛІК ӘДІСІ АРҚЫЛЫ МОДЕЛЬДЕУ

Абстракт: Океанография, метеорология және жағалау инженериясы саласында толқын биіктігін талдау және болжау шешуші рөл атқарады. Толқын биіктіктерінің негізінде жатқан статистикалық үлестірімдер толқындардың орташа және ең жоғарғы биіктіктеріне қатысты олардың қалай таралуын сипаттау үшін қажет. Қазақстандағы ірі көлдердің толқын климатын, толқын параметрлерінің өзгеру динамикасын бақылауға арналған бірде-бір зертеу жұмыстары, нұсқаулықтар мен мақалалар жазылмаған. Сәйкесінше, бұл зерттеудің мақсаты мен өзектілігі, сулы аймақтардың жай-күйін тиімді әдістер мен заманауи технологиялар мүмкіндіктерін қолданып бақылау, зерттеу, талдау және жағажай құрылымы мен құрылысын оңтайландыруға септігін тигізетін нұсқаулықтарға жол ашу. Бұл мақалада таралу функцияларының ішінде өте жиі қолданылатын Вейбулл және Рэлей таралу функциялары белгілі бір уақыт аралығында зерттеліп отырған аймақ үшін қоланылды. SMB, CEM, Wilson параметрлік әдістері арқылы толқын биіктігі модельденіп, жерсеріктік деректердің дұрыстығын тексеру мақсатында жұптық талдауға қолданылды. RADS альтиметриялық ақпараттар қорынан алынған мәліметтер Балқаш көлі үшін статистикалық талданды. Вейбулл және Рэлей таралу функциялары қарастырылып, жеке параметрлері анықталды. Толқынның орташа және максималды биіктігі екі таралу функциясының көмегімен бағаланды және бір бірімен салыстырылды.

Түйін сөздер: RADS альтиметриялық мәліметтер базасы, параметрлік әдістер, Вейбулл таралуы, Рэлей таралуы, толқын биіктігі, RStudio, Балқаш көлі.

DOI: <https://doi.org/10.32523/bulmathenu.2024/1.4>

2000 Mathematics Subject Classification: 97E10, 97-02.

1. КІРІСПЕ

Орталық Азияның қақ ортасында орналасқан Балқаш көлі ежелден таңданыс пен зерттеу нысаны болған. Қазақстанда орналасқан бұл үлкен ішкі көл геологиялық ғажайып, өмірлік маңызды су ресурсы және бірегей экожүйе болып табылады. Соңғы жылдары альтиметрия деректерін пайдалану көлдегі толқындардың құрылымын, олардың қоршаған ортаға әсерін және әртүрлі қолданбалар үшін маңыздылығын тереңірек түсінуге мүмкіндік береді.

Балқаш көлінің ерекше географиясы, Шығыс және Батыс аймақтарының әр түрлі гидрологиялық және экологиялық жағдайларына әсер етеді. Көлдің шығыс бөлігі тұзды, ал батысы іле өзенінен тұщы су алады. Тұздылық пен судың құрамындағы бұл алшақтық көлдің динамикасына терең әсер етеді. XX-ғасырдың екінші жартысынан бастап терең зерттеле басталған бұл нысан көптеген зерттеушілердің ғылыми мақалаларында көрсетілген. Аталған көлдің құрылымындағы ерекшелікті Д.Г.Сапожников 1951 жылы жарық көрген, Балқаш көліне арналған «Балқаш көлінің геологиясы және заманауи

жауын-шашын көрсеткіші (Современные осадки и геология озера Балхаш)» кітабында үш морфологиялық түрі бар деп атап өткен. Дәл осы туындыда көлдің кезеңдік геологиялық, гидрологиялық, батиметриялық сипаттамалары толық аталып жазылған.

Қазіргі таңда Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) әдісінің альтиметриялық ақпараттарын қолдану көптеген зерттеу жұмыстарына жаңашылдық алып келді. Альтиметриялық ақпараттар сулы аймақты зерттеуге өте қолайлы және тиімді түрі болып табылады. Альтиметриялық деректер толқын биіктігін нақты уақыт режимінде және ұзақ уақыт бойы бақылауға мүмкіндік береді.

Толқын биіктігінің өзгеруін бақылау арқылы біз көлдің динамикасы туралы түсінік беретін заңдылықтарды, тенденцияларды және ауытқуларды анықтай аламыз. Көлдегі су қабаттарын араластыруда толқындар шешуші рөл атқарады. Альтиметрия деректері толқын биіктігінің көлдегі температураның, қоректік заттардың және оттегінің таралуына қалай әсер ететінін түсінуге көмектеседі. Бұл ақпарат Балқаш көлінің су экожүйелерінің жай-күйін бағалау үшін баға жетпес маңызға ие. Балқаш көлі аймақтық климаттық өзгеріске ие, ал көлдегі толқындардың сипаты жергілікті ауа-райына байланысты. Альтиметриялық ақпараттар арқылы толқын биіктігінің өзгеруі ауа-райы жүйесіне, жауын-шашын үлесіне және аймақтағы температураның ауытқуына қалай әсер ететінін зерттеуге көмектеседі. Сонымен қатар көлде жүзу қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін де толқын биіктігінің мониторингісі өте маңызды.

2. ӘДІСТЕР

Қазіргі уақытта спутниктік деректер көптеген зерттеулерге көмегін тигізуде. Альтиметриялық деректер мен оптикалық деректер мүмкіндіктерін пайдалана отырып, су аймағының жағдайын анықтау, бақылау және болжау біздің еліміз үшін маңызды зерттеу бағыттарының бірі болып табылады. Қазақстан жеріндегі Балқаш, Алакөл, Зайсан сынды ірі көлдерге арналған зерттеу жұмыстары, мақалалар мен әдістемелік нұсқаулықтар соңғы 30-жыл ішінде жазылмаған, талданбаған, қаралмаған. Бұл зерттеу жұмысының мақсаты заманауи ғылыми зерттеу әдістерін қолданып, аталған аймақтар үшін ең тиімдісін анықтау, болашақ зерттеу жұмыстарына бастама ретінде бағыт-бағдар берер пайдалы нұсқаулыққа айналдыру.

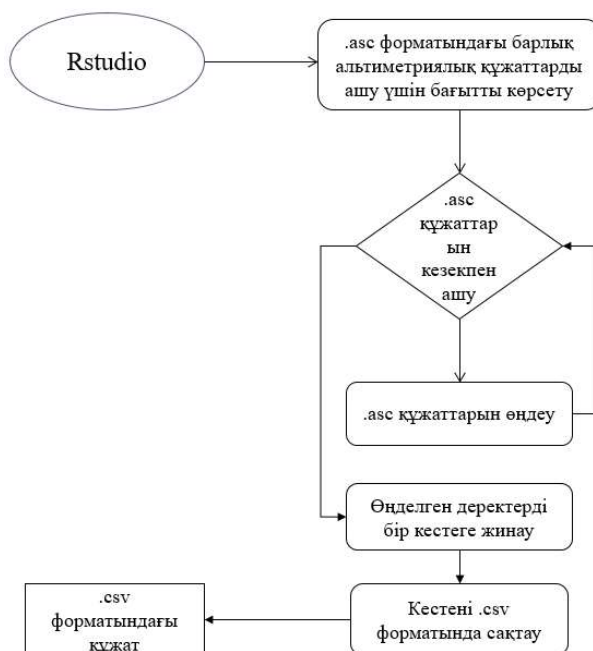
Осы мақалада келтірілген жерсерікті альтиметриялы ақпараттар радиолокациялы альтиметриялы деректер қоры – RADS (Radar Altimeter Database System) жүйесінен алынды (<http://rads.tudelft.nl/rads/data/authentication.cgi>) [1]. Альтиметриялы деректер қорында әртүрлі уақыт аралығы мен фазаларды қамтитын 12 жерсерік бар [2]. Жерсеріктік деректерді талдау үшін біз R-бағдарламалау тілі негізінде жасалған, Rstudio бағдарламалау жасақтамасын қолданамыз. Альтиметриялық ақпараттарды өңдеудің дұрыс алгоритмі осы зерттеу жұмысы барысында құрылды (1-сурет).

RADS деректер қорынан жиналып, өңдеуге дайын ақпараттардан кері шашырау көрсеткіші-13.5 коэффициентінен жоғары болатын деректерді алып тастаймыз, себебі бұл көрсеткіш су бетінің орташа квадраттық көлбеуімен байланысты (mean square slope (mms)). [3]-негізінде жасалған жүйе, кері шашырау көрсеткіші толқынның жоғарғы биіктігін анықтауда ескерілуі қажет көрсеткіштердің бірі екенін байқауға болады. Кері шағылу коэффициенті төмен болса, ол жел жылдамдығының жоғары екендігін білдіретін бір фактор, ал жел жылдамдығы жоғары болса онда сәйкес толқын биіктігінің көрсеткіші жоғары болу ықтималдығы жоғары екендігін білдіреді, сол себепті біз ақпараттарды өңдеу алдында дәл осындай сүзгі жасаймыз.

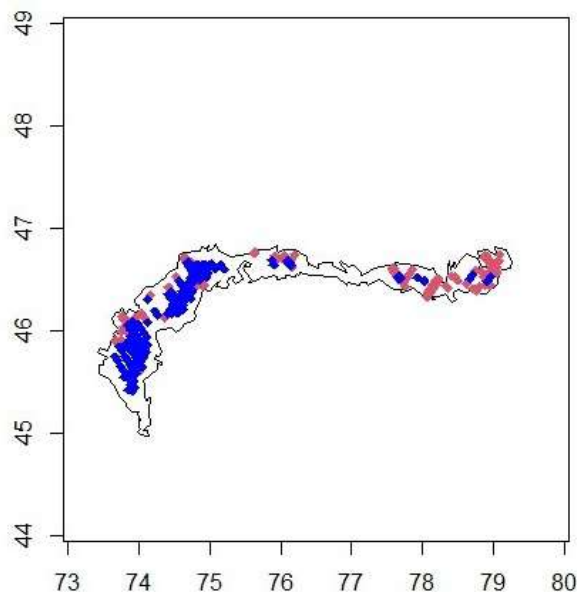
Зерттеу жұмысында Балқаш көліне тиісті көп мөлшерлі ақпаратқа ие Jason спутнигінің деректері алынды (2-сурет), мұндағы көк түс — жерсерік анықтаған сулар, қызыл түс — жағалау мен ұсақ аралдар. Бұл спутник 2002-жылдан бастап қазіргі таңға дейін үздіксіз мәліметтер жинауда.

Жағалау жағдайларына байланысты толқын биіктігінің таралуы, жағалауға қауіп төндіруі мүмкін толқындардың экстремалды биіктігін бағалау үшін өте маңызды [4]. Толқындық қауіптің формасы теңіз деңгейінің және бір уақытта пайда болатын

толқындардың бір мезгілде әсеріне байланысты. Экстремалды толқындар деп орташа толқын биіктігінен шама көрсеткіші жоғары болатын толқындар саналады [5]. Экстремалды толқынның пайда болу ықтималдығы салыстырмалы түрде аз, сондықтан тек эмпирикалық өлшеу әдістерін немесе сандық әдістерді қолдана отырып, толқын биіктігін талдау экстремалды толқын биіктігін анықтауға және болжам жасауға мүмкіндік бермейді.



СУРЕТ 1 – Альтиметриялық деректерді Rstudio бағдарламасында өңдеудің алгоритмі



СУРЕТ 2 – Jason-спутнигінің 2002-2022 ж.ж. аралығында Балқаш көлін қамту тығыздығының көрсеткіші. Ендік у-өсінде, бойлық х-өсінде көрсетілген

Балқаш көліне тиісті жергілікті ақпарат тек жел жылдамдығы болғандықтан, толқын биіктігін модельдеп, жерсеріктік деректермен жұптық талдау жасау мақсатында параметрлік әдістер қолданылды. Қазіргі таңда, толқын биіктігін модельдеуге қолданылатын әдістер аз емес, алайда судың морфологиялық ерекшелігі мен құрылымына қарай тиімді әдісті таңдау маңызды. Свердруп Мунк Бретшнайдердің әдістері (SMB) —

бұл жаһандық су айдындарындағы H_S – толқындарының айтарлықтай биіктігін болжау үшін қолданылған әдіс [6]. Мақала авторлары Индонезия сулары мындаған ұсақ аралдан тұратындығын ескеріп, SMB әдісі арқылы модельденген толқын биіктігін болжам жасау үшін қолданды. Нәтижесінде SMB әдісі 0.05 орташа квадраттық қателік көрсеткішін көрсетсе, басқа қолданылған NLARX и ANN әдістері 0,24 және 0,16 шамаларына ие болды. Ал, Таллин технологиялық университетінің жағалау инженерия профессоры — Tarmo Soomere [7]-мақаласында бұл әдісті толқын климатын жылдам сипаттап, бағалауға мүмкіндік беретін әдіс деп атап кеткен. Suursaar Ulo "2003-2014 аралығындағы Эстония жағалауына қатысты толқындық уақыт қатарын талдау" мақаласында SMB әдісі арқылы жетіспеген ақпараттарды толықтырып, нәтижесінде толқын құрылымының маусымдық ерекшеліктеріне көз жеткізді. Ал, 2016 жылғы мақаласында дәл осы әдіспен ақпараттар қатарын толықтырып, 2100 жылға дейін толқын параметрлеріне болжам жасап, талдады.

Бұл мақалада Балқаш көлінің параметрлерін ескеріп, SMB, CEM, Wilson параметрлік әдістері қолданылды. Толқын биіктігін SMB-әдісі арқылы модельдеу (1)-формуламен есептелінсе, CEM және Wilson әдістеріне (2)-(3) формулалары қолданылады.

$$\frac{gH_s}{U_{10}^2} = 0,283 \tan h(0,0125 \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{0,42}), \quad (1)$$

$$\frac{gH_s}{u_*^2} = 4,13 \times 10^{-2} \left(\frac{gF}{u_*^2} \right)^{0,5}, \quad C_D = 0,001 (1,1 + 0,035U_{10}), \quad (2)$$

$$\frac{gH_s}{U_{10}^2} = 0,30 \left[1 - \left[1 + 0,004 \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{0,5} \right]^{-2} \right], \quad (3)$$

мұндағы g - еркін түсу үдеуі (м/с^2), F - алу ұзындығы (м), (U_{10}) - теңіз бетінен 10 м биіктіктегі желдің жылдамдығы (м/с), $u_* = U_{10}(C_D)^{0,5}$ - теңдеумен бағаланатын үйкеліс жылдамдығы (м/с), C_D - фронтальды кедергі коэффициенті.

Модельденген толқын биіктіктері спутниктік ақпараттармен салыстырылды, нәтижесінде SMB әдісімен есептелген толқын биіктіктерінің шамасы салыстырмалы түрде жақын келетінін байқадық. Балқаш көлі ұсақ аралдардан құралғандықтан, әр аймаққа жеке-жеке жергілікті бекет ақпараттарына байланысты модел құрылды.

Жағалау инженериясы саласында толқын биіктігін талдау және болжау шешуші рөл атқарады. Толқын биіктіктерінің негізінде жатқан статистикалық үлестірімдер толқындардың орташа және ең жоғарғы биіктіктеріне қатысты олардың қалай таралуын сипаттау үшін қажет. Бұл зерттеу жұмысында біз толқын параметрлерінің өзгеріс динамикасына болжам жасау мақсатында шекаралық шамаларды анықтау үшін таралудың Вейбулл және Рэлей түрлерін қолдандық (4)-(5). Балқаш көлінің шығыс бөлігі мен батыс бөлігі едәуір айырмашылықтарға ие болғандықтан, таралудың қай түрі тиімді екенін анықтау қажет.

Рэлейдің таралуы – бұл векторлық шамалардың көрсеткішіне нақты қолданылатын және көбінесе толқындық талдау жұмыстарында қолданылатын ықтималдықтың таралуы. Бұл әсіресе толқындық жазбадағы ең жоғары толқындардың үштен бірінің орташа биіктігін білдіретін, толқындардың айтарлықтай биіктігін модельдеуге өте қолайлы. Параметрлер: Вейбуллдың таралуынан айырмашылығы, Рэлейдің таралуында тек бір параметр бар. Ол таралуды немесе таралу ендігін анықтайтын масштаб параметрі - a . Толқын биіктігінің ықтималдық тығыздығының функциясы туралы математикалық логикаға негізделген негізгі болжамдар Рэлей функциясына негізделген. Рэлей таралу функциясы келесі формуламен анықталады (4):

$$f(h) = \frac{2h}{a^2} \exp - \left(\frac{h}{a} \right)^2, \quad (a, h > 0), \quad (4)$$

мұндағы, a - масштаб параметрі.

Рэлей таралуындағы масштаб параметрінің көрсеткіші 2-ге тең болатын болса, онда ол Вейбулл таралуының функция болып табылады [6].

Вейбулл таралуының ықтималдық тығыздығын келесі формуламен анықтаймыз (5):

$$f(h) = \frac{b}{a} \left(\frac{h}{a} \right)^{b-1} \exp - \left(\frac{h}{a} \right)^b, \quad (a, b, h > 0), \quad (5)$$

мұндағы, a - масштаб параметрі, b - пішін параметрі. Толқындардың экстремалды биіктігін зерттеу жағдайында ол толқындардың максималды немесе орташа мөлшерін анықтайды. Егер a мәні жоғары болса, онда ол толқынның максималды орташа биіктігін көрсетеді. Пішін параметрі b - деп белгіленген, және таралу қисығының пішінін анықтайды. Бұл таралу асимметриясы мен таралудың ең жоғарғы шегіне (экспесс) әсер етеді. Атап айтқанда, пішін параметрі таралудың жылдамдығын сипаттайды. Егер $b < 1$ болса, бұл төменгі биіктіктегі толқындардың жиі кездесетіндігін көрсетеді. $b = 1$ кезінде үлестіру экспоненциалды ыдырау арқылы жүреді. $b > 1$ кезінде таралу жылдамдығының жоғарылауына ие, яғни биік толқындар жиі кездесетіндігін білдіреді. Масштаб пен пішін параметрлері бірге айтарлықтай биіктіктегі толқындар үшін Вейбуллдың таралуын анықтайды және таралу формасының орналасуы, таралуы және сипаттамалары туралы ақпарат береді. a және b мәндері эмпирикалық деректер негізінде бағаланады немесе бақыланатын толқын биіктігі деректерін Вейбулл таралуына сәйкестендіру үшін статистикалық талдау арқылы алынады. Зерттеу жұмысында RStudio бағдарламалау тілі арқылы сипатталған таралу функцияларының коэффициенттерін анықтаймыз.

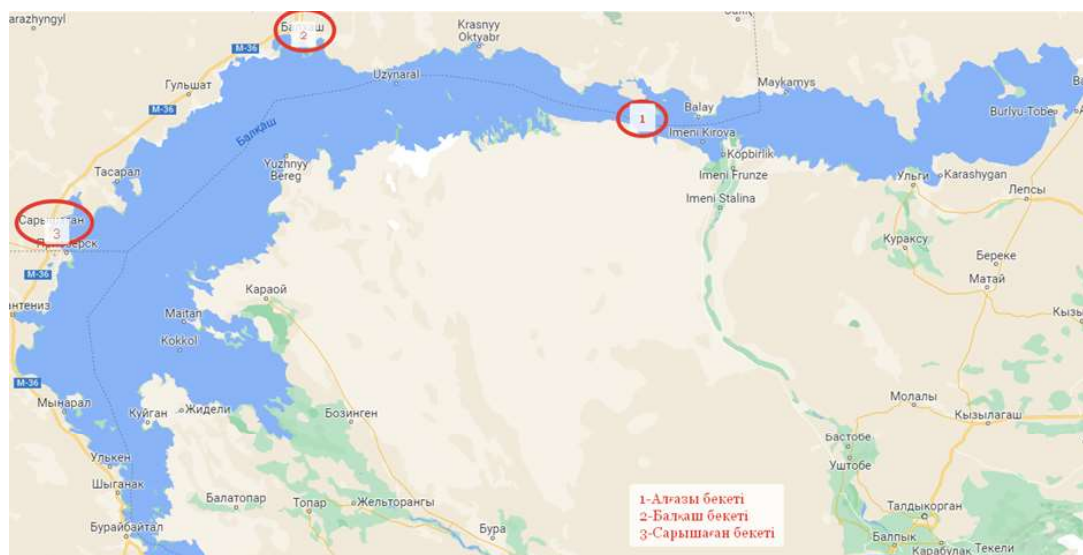
3. НӘТИЖЕЛЕР

Жерсеріктік ақпараттардың сенімді екендігіне көз жеткізу үшін деректерге жұптық талдау жасалу қажет (1-кесте). Жұптық талдауға жылдық орташа толқын биіктігі алынды. Моделдеу әдістерінің ішінде SMB параметрлік әдісі жерсерік деректерінің көрсеткішіне жақын келетіндігін байқадық. Жұптық талдауға ақпараттар саны көп болған жылдар таңдалды.

Кесте 1 – Жергілікті деректер мен жерсеріктік деректер арасындағы жұптық талдау

Жерсерік		жылдар											
		1995	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1995-2019 жж аралығындағы жерсеріктік альтиметриялы деректерде тіркелген толқын биіктігінің орташа жылдық көрсеткіші													
ERS-1	1.23												
ERS2	1.33												
GFO-1		2.868											
JASON-2		1.82	2.438	2.1269	2	2.149	2.389	2.138	2.4				
ENVISAT-1			3.1	3.06	3.6								
CRYOSAT2				0.83	1.01	0.33	5.06	0.45	2.59	1.39	0.79	3.98	
JASON-3									3.4	3.47	3.55	3.3	
Жергілікті гидрологиялық бекеттерден алынған ақпараттарды қолданып, моделденген толқын биіктігінің орташа жылдық көрсеткіші													
Бекет атауы	Әдіс түрі	1995	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
St.Balkhash	SMB	3.25	3.17	3.09	2.85	2.88	3.09	3.2	2.8	2.92	3.01	2.76	3.49
	CEM	0.70	0.63	0.717	0.69	0.76	0.67	0.7	0.67	0.74	0.72	0.67	0.64
	Wilson	0.58	0.51	0.6	0.58	0.65	0.56	0.59	0.56	0.63	0.62	0.56	0.53
St.Saryshagan	SMB	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.92	3.52	3.51	3.68	2.92	3.92
	CEM	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.41	0.46	0.38	0.4	0.38
	Wilson	0.25	0.28	0.54	0.31	0.32	0.29	0.31	0.3	0.34	0.27	0.29	0.28
St.Algazy	SMB	2.9	2.95	3.19	2.5	2.04	2.82	2.3	-	-	-	-	-
	CEM	0.5	0.59	0.78	0.64	0.68	0.72	0.67	-	-	-	-	-
	Wilson	0.4	0.5	0.719	0.54	0.6	0.64	0.59	-	-	-	-	-

Біздің жағдайымызда жергілікті дерек ретінде Балқаш көлінде орналасқан үш гидрологиялық ақпараттардан алынған мәліметтер қолданылды (3-сурет). 1-кестеде жерсеріктер мен жергілікті бекеттерден алынған толқын биіктігінің жылдық орташа көрсеткіші тіркелген. Сары түспен әдістің шама көрсеткіші спутниктік деректердің көрсеткішіне жақын болып келетін сәйкестіктері белгіленген. Жергілікті бекеттерден



Сурет 3 – Балқаш көліне тиісті гидрологиялық бекеттерінің геолокациясы

алынған ақпарат жел жылдамдығы ғана болғандықтан, параметрлік әдістер арқылы толқын биіктігінің шамасы есептелінді. Кестеде тек SMB әдісінің шама көрсеткіші спутниктік деректердің көрсеткішіне жақын келетінін байқауға болады. Дәл осы әдісті алдағы зерттеу жұмыстарына қолданып, толқын параметрлерінің көрсеткіштерін 2030 жылға болжам жасау негізделді.

Балқаш, Сарышаған және Алғазы гидрологиялық бекеттеріне тиісті ақпараттар келесі кестеде көрсетілген (2-кесте).

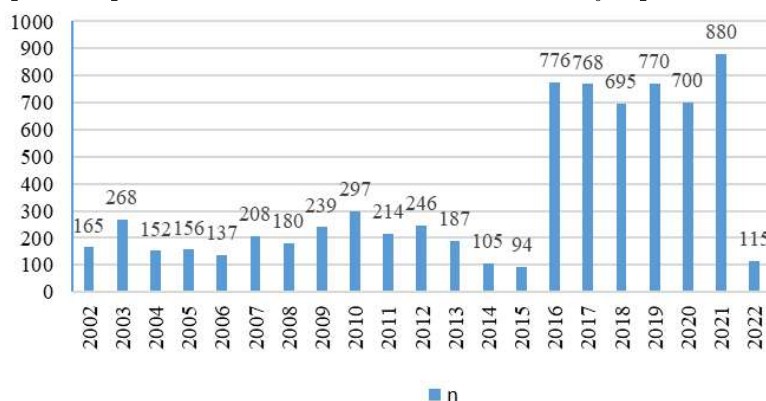
Кесте 2 – Гидрологиялық бекеттердің географиялық орналасу орыны мен жұмыс жасау аралығы

№	Бекет атауы	Ендігі	Бойлығы	Қызмет жасау жылдары	Тиісті ұйым
1	Алғазы	46°32'59.5"N	76°50'23.3"E	1950-2014	ҚАЗГИДРОМЕТ
2	Балқаш	46°50'37.3"N	74°58'45.9"E	1937-қазіргі уақытқа дейін	ҚАЗГИДРОМЕТ
3	Сарышаған	46°07'04.7"N	73°36'38.1"E	1957- қазіргі уақытқа дейін	ҚАЗГИДРОМЕТ

Гидрологиялық бекеттерде тек 10 м жел жылдамдығын өлшеп тұратын болғандықтан, біз Maple бағдарламасын қолданып толқын биіктігін модельдедік. Зерттеуде моделдеуге келесі әдістер қолданылды: SMB, Wilson, CEM. Параметрлік әдістердің көмегімен есептелген толқын биіктігі альтиметриялық деректермен салыстырылып, таралу функцияларының коэффициенттері анықталды (1-кесте). Жергілікті өлшемдер Балқаш көлі бойлық бойынша 73° -80° С. Е.және ендік бойынша 44° -49° ш.б. шекараларын пайдалана отырып, JASON деректерінің толық жиынтығынан таңдалды. Аталмыш жерсерік жиырма жылда Балқаш көлі бойынша 7352 мәлімет жинаған (4-сурет).

Талдау нәтижелерінің дұрыс болуы үшін алдымен жергілікті бекеттерден алынған ақпараттар көмегімен модельденген толқын биіктігі мен жерсеріктен алынған толқын биіктігі туралы ақпараттар бір құжатқа біріктірілді. Жергілікті бекеттер жел жылдамдығын күнделікті өлшеп тұрса, жерсерік айына бір рет кей айларда оннан аса ақпаратқа ие болған. Осындай сәйкессіздік орын алғандықтан, алдымен ақпараттарда сәйкес күндер анықталып, жиналды. R бағдарлау тілінің көмегімен, үлкен ақпараттар бір жүйеге келтіріліп, талданды [8]. Гидрологиялық бекеттер: Балқаш бекеті, Сарышаған бекеті және Алғазы бекетінен алынған толқын биіктігінің таралу функция

Әр жыл үшін пайдаланылған JASON бақылауларының саны



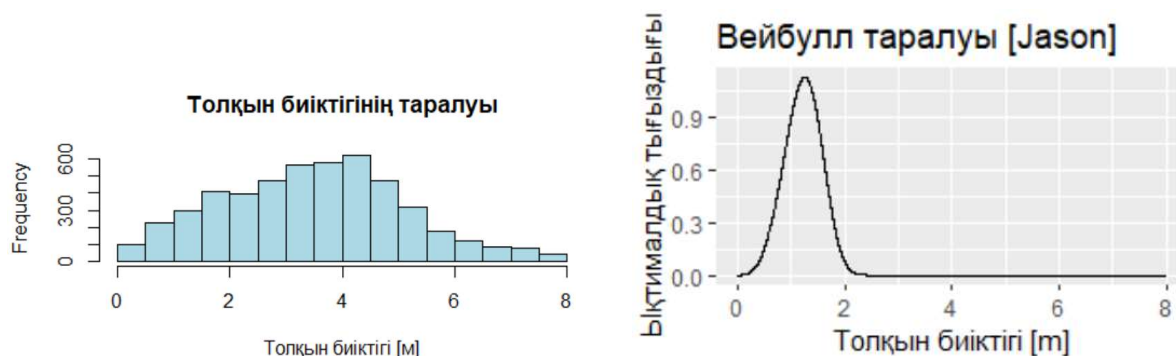
Сурет 4 – JASON жерсерігінің Балқаш көлі бойынша әр жылда жинаған деректер көрсеткіші

коэффициенттері мен жерсерігінен алынған толқын биіктігінің таралу коэффициенттері анықталды (3-кесте).

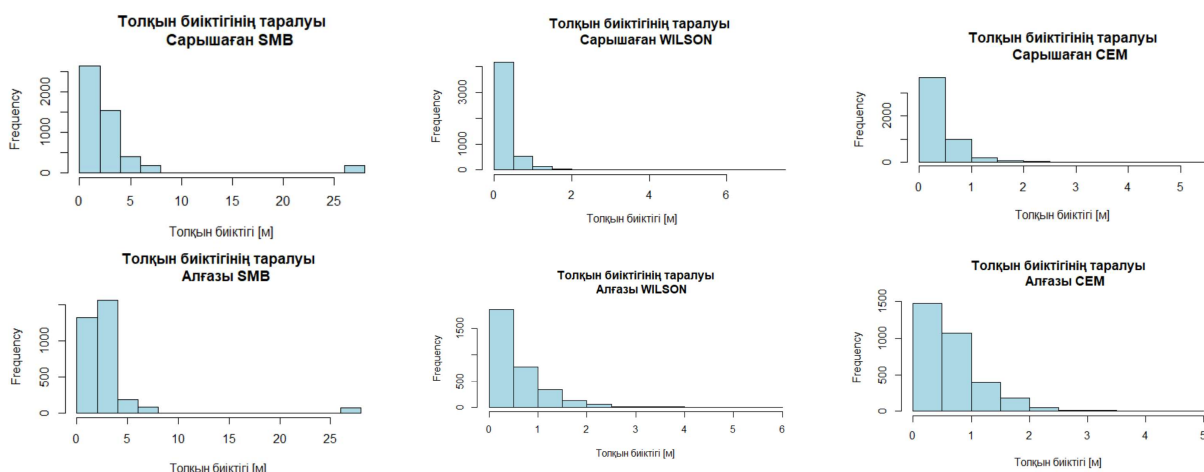
Кесте 3 – Вейбулл мен Рэлейдің таралу функциясының коэффициенттері

	Әдістер	Вейбулл		Рэлей
		a	b	
Жерсерік 2002-2022		1.27	3.57	3.13
Balkhash	SMB	1.08	3.16	3.62
Balkhash	Wilson	1.46	0.625	0.49
Balkhash	CEM	1.85	0.761	0.55
Saryshagan	SMB	0.638	1.95	3.86
Saryshagan	Wilson	0.941	0.297	0.45
Saryshagan	CEM	1.2	0.427	0.45
Жерсерік 2002-2014		1.01	3.12	2.95
Algazy	SMB	0.785	2.29	3.5
Algazy	Wilson	0.95	0.53	0.59
Algazy	CEM	1.22	0.67	0.61

Анықталған коэффициенттерден, егер Вейбулл пішін параметрін талдасақ, онда 2002-2022 ж.ж. аралығында биіктігі 4-5 метрге жуық толқындардың көбірек екендігін байқауға болады (5-сурет). Вейбулл таралу функциясындағы пішін көрсеткішінен де жоғарғы биіктіктегі толқындардың көп екендігін байқауға болады. Келтірілген кесте нәтижесін визуалды түрде байқасақ, жергілікті бекеттерден алынған деректерді қолданып модельденген толқын биіктіктерінің көрсеткіші едәуір төмен екендігін байқауға болады (6-сурет).



Сурет 5 – 2002-2022 ж.ж. аралығындағы Jason жерсерігінің толқын биіктігі бойынша көрсеткіші



Сурет 6 – Балқаш, Сарышаған, Алғазы гидрологиялық бекеттерінің деректері бойынша толқын биіктігінің таралуы

Вейбулл және Рэлей таралуларының шама көрсеткіші болжам жасау барысында шекаралық шама көрсеткіштер ретінде қолданылады. Толқын биіктігін 2030 жылға дейін моделдеу кезінде осы коэффициенттерді ескеру маңызды рөл атқарады.

6-суретте жергілікті бекеттерден алынған деректер бойынша модельденген толқын биіктіктерінің 1991-2022 ж.ж. аралығындағы орташа толқын биіктігінің шама көрсеткіші бейнеленген.

4. ҚОРЫТЫНДЫ

Мақала өзектілігі мен қажеттілігі еліміздің ірі көлдерін альтиметриялық деректер арқылы бақылап, әлемдік деңгейде қолданыста бар әдістердің Балқаш көлі үшін тиімді түрін анықтау болғандықтан, Балқаш көліне тиісті альтиметриялық жерсеріктік деректері қолданылып, жергілікті гидрологиялық бекеттерден алынған деректер моделденіп, салыстырылды. Зерттеу жұмысы кезінде SMB параметрлік әдістің шама көрсеткіші жерсеріктік деректерге жақын екені анықталды. Вейбулл және Рэлей таралу функцияларының ықтималдық коэффициенттері анықталып, кескіндері көрсетілді. Көрсетілген жылдар аралығында $H_{Smax}=8$ m болса, ең төменгі толқын биіктігі $H_{Smin}=0.023$ m. Экстремалды толқын биіктігі $H_{ext}=1/3 H_{Smax}$ екенін ескеретін болсақ, онда Балқаш көліндегі көрсеткіш $H_{ext}=2.6$ m болды. Вейбулл таралуының сызбасы кестедегі көрсеткішке сәйкес екені байқалды. Экстремалды толқын биіктігінің пайыздық ықтималдық көрсеткіші 5% - 3.73 м, 50% - 7.5 м, 90% - 8.63 м. Яғни, 100 жыл ішінде ең қауіпті, жоғарғы толқын биіктігі 8 метрден асатын толқын биіктігі болатын ықтималдық жоғары екенін байқауға болады, ал 3 метрден асатын толқын биіктігі экстремалды болады деген болжам өте төменгі көрсеткішке ие болса, 7.5 метрлік толқын биіктігі 50% ықтималдықты көрсетті. Анықталған ықтималдық коэффициенттері толқын климатының толқындық моделін жасау кезінде ескеріліп, жағажай қауіпсіздігі мен құрылысына септігін тигізеді.

Алғыс. Ғылыми жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды (AP14871838 – «Серіктік альтиметрия мәліметтерін қолдана отырып Қазақстан су тоғандарының толқындық климатын зерттеу»).

Авторлардың қосқан үлесі:

Бейсембекова М.К. – RADS альтиметриялық деректер қорынан жерсеріктертік деректерді жинау, RStudio бағдарламасы арқылы деректерді өңдеу, ақпараттарды сүзгіден

өткізіліп, талдау. Жергілікті модельденген деректермен жұптық талдау жасау. Таралу функцияларының параметрлік көрсеткіштерін анықтау, салыстыру.

Мамерова Г.М. – «Казгидромет» РМК арқылы Балқаш көлінің бойында орналасқан үш жергілікті бекеттерден ақпараттарды жинау, желдің орташа жылдамдығына қатысты жергілікті ақпараттарды қолданып, Maple бағдарламасында толқынның орташа биіктік көрсеткішін есептеп, модельдеу.

Ракишева З.Б. – мәтін жазу және оның мазмұнын сыни тұрғыдан қайта қарау, жариялау үшін мақаланың соңғы нұсқасын бекіту, жұмыстың барлық аспектілері үшін жауапты болуға келісім беру, деректердің дұрыстығына немесе мақаланың барлық бөліктерінің тұтастығына байланысты мәселелерді дұрыс зерттеу және шешу.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Radar Altimeter Database System (RADS). [Electr. res.] – URL: <http://rads.tudelft.nl/rads/rads.shtml> (Accessed: 25.09.2023).
- 2 Бейсембекова М.К. Сравнение данных спутниковой альтиметрии с местными гидрологическими данными по озеру Балхаш // Вестник КазАТК. – 2022. – Т. 121. № 2. – С. 337-347. DOI: <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2022-121-2-337-347>.
- 3 Jelenak Z. Altimeter wave and wind data for mariners and scientific community. [Electr. res.] -URL: <https://resources.eumetrain.org/data/4/486/mw2018> (Accessed: 05.10.2023).
- 4 Сапожников Д.Г. Современные осадки и геология озера Балхаш. – Москва, 1951. – 218 с.
- 5 Muraleedharan G., Rao A.D., Kurup P.G., Unnikrishnan N., Mourani S. Modified Weibull distribution for maximum and significant wave height simulation and prediction // Coastal Engineering. – 2007. – Vol. 54. №8. – С. 630-638. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2007.05.001>.
- 6 Aulia S.A., Syamsul A., Wimala L.D. Sverdrup Munk Bretschneider modification (SMB) for significant wave height prediction in Java Sea // British Journal of Applied Science and Technology. – 2016. – Т. 16. №2. – С. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.9734/BJAST/2016/19669>.
- 7 Soomere T. Numerical simulations of wave climate in the Baltic Sea: a review // Oceanologia. – 2023. – Vol. 65. №1. – P. 117-140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2022.01.004>.
- 8 Izaguirre C., Mendez F.J., Menendez M., Luceno A., Losada I.J. Extreme wave climate variability in southern Europe using satellite data // J. Geophys. Res. – 2010. – Vol. 115. №C4. – P. 357–366. DOI: <https://doi.org/10.1029/2009JC005802>.
- 9 Alves G.M., Young I.R., 2004. On estimating extreme wave heights using combined Geosat, Topex/Poseidon and ERS1 altimeter data // Applied Ocean Research. – 2003. – Vol. 25. №4. – P. 167–186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2004.01.002>.
- 10 Vanem E., Fazeres-Ferradosa T. A truncated, translated Weibull distribution for shallow water sea states // Coastal Engineering. – 2022. – Vol. 172. – P. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2021.104077>.
- 11 Prevosto M., Krogstad H.E., Robin, A. Probability distributions for maximum wave and crest heights // Coastal Engineering. – 2000. – Vol. 40. №4. – P. 329–360. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3839\(00\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S0378-3839(00)00017-X).

М.К. Бейсембекова, Г.М. Мамерова, З.Б. Ракишева

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, 71, Алматы, 050040, Казахстан

Моделирование высот волн озера Балхаш параметрическим методом SMB

Аннотация: В области океанографии, метеорологии и береговой инженерии анализ и прогноз высот волн играют ключевую роль. Понимание статистических распределений, лежащих в основе этих высот волн, необходимо для характеристики их поведения, особенно в отношении максимальных и значительных высот волн. На данный момент отсутствуют исследовательские работы, методические рекомендации и статьи по мониторингу волнового климата и динамики изменения параметров волнения крупных озер Казахстана. Соответственно, целью и актуальностью данного исследования является мониторинг, изучение, анализ состояния водно-болотных угодий с использованием эффективных методов и возможностей современных технологий, а также открытие пути к рекомендациям, которые помогут оптимизировать структуру и строительство пляжей. В этой статье сравниваются две часто используемые функции, функции распределения Вейбулла и Рэлея, для подбора измеренного распределения вероятности высот волны в заданном месте за определенный период. Использовались параметрические методы SMB, СЕМ и Wilson при моделировании высот волн и попарного анализа для проверки точности спутниковых данных. Данные, среднее значение высот волн, полученные из базы альтиметрических данных RADS были статистически проанализированы для озера Балхаш. Определены функции распределения вероятностей Вейбулла и Рэлея и идентифицированы их параметры. Средняя и максимальная высоты волн были оценены с использованием обеих функций распределения и сравнены между собой.

Ключевые слова: альтиметрическая база данных RADS, параметрические методы, распределение Вейбулла, распределение Рэлея, высота волны, RStudio, озеро Балхаш.

M.K. Beisembekova, G.M. Mayemerova, Z.B. Rakisheva

Al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi Ave., 71, Almaty, 050040, Kazakhstan

Modeling wave heights of Lake Balkhash using the parametric SMB method

Abstract: In the fields of oceanography, meteorology and coastal engineering, wave height analysis and prediction play a key role. Understanding the statistical distributions underlying these wave heights is necessary to characterize their behavior, especially with respect to maximum and significant wave heights. At the moment, there are no research works, methodological recommendations and articles on monitoring the wave climate and the dynamics of changes in wave parameters of large lakes in Kazakhstan. Accordingly, the purpose and relevance of this study is to monitor, study, analyze the condition of wetlands using effective methods and the capabilities of modern technologies, as well as open the way to recommendations that will help optimize the structure and construction of beaches. This paper compares two commonly used functions, the Weibull and Rayleigh distribution functions, to fit the measured probability distribution of wave height at a given location over a specified period. SMB, CEM and Wilson parametric methods were used in wave height modeling and pairwise analysis to verify the accuracy of satellite data. Average wave height data obtained from the RADS altimetry database was statistically analyzed for Lake Balkhash. Weibull and Rayleigh probability distribution functions are determined and their parameters are identified. The mean and maximum wave heights were estimated using both distribution functions and compared with each other.

Keywords: RADS altimetric database, parametric methods, Weibull distribution, Rayleigh distribution, wave height, RStudio, lake Balkhash.

References

- 1 Radar Altimeter Database System (RADS). [Electronic resource] Available at: <http://rads.tudelft.nl/rads/rads.shtml> (Accessed: 25.09.2023).
- 2 Beysembekova M.K. Sravneniye dannykh sputnikovoy al'timetrii s lokal'nymi gidrologicheskimi dannymi na ozere Balkhash, Vestnik KazATK. 2022. Vol. 121. Is. 2. P. 337-347. DOI: <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2022-121-2-337-347> [in Russian]
- 3 Jelenak Z. Altimeter wave and wind data for mariners and scientific community. [Electronic resource]. Available at: <https://resources.eumetrain.org/data/4/486/mw2018> (Accessed: 05.10.2023).
- 4 Sapozhnikov D.G. Sovremennyye otlozheniya i geologiya ozera Balkhash. Moscow, 1951. 218 p. [in Russian].
- 5 Muraleedharan G., Rao A.D., Kurup P.G., Unnikrishnan N., Mourani S. Modified Weibull distribution for maximum and significant wave height simulation and prediction, Coastal Engineering. 2007. Vol. 54. Is. 8. P. 630-638. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2007.05.001>.
- 6 Aulia S.A., Syamsul A., Wimala L.D. Sverdrup Munk Bretschneider modification (SMB) for significant wave height prediction in Java Sea, British Journal of Applied Science and Technology. 2016. Vol. 16. Is. 2. P. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.9734/BJAST/2016/19669>.
- 7 Soomere T. Numerical simulations of wave climate in the Baltic Sea: a review, Oceanologia. 2023. Vol. 65. Is. 1. P. 117-140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2022.01.004>.
- 8 Izaguirre C., Mendez F.J., Menendez M., Luceo A., Losada I.J. Extreme wave climate variability in southern Europe using satellite data, J. Geophys. Res. 2010. Vol. 115. Is. C4. P. 357-366. DOI: <https://doi.org/10.1029/2009JC005802>.
- 9 Alves G.M., Young I.R., 2004. On estimating extreme wave heights using combined Geosat, Topex/Poseidon and ERS1 altimeter data, Applied Ocean Research. 2003. Vol. 25. Is. 4. P. 167-186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apor.2004.01.002>.
- 10 Vanem E., Fazerer-Ferradosa T. A truncated, translated Weibull distribution for shallow water sea states, Coastal Engineering. 2022. Vol. 172. P. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2021.104077>.
- 11 Prevosto M., Krogstad H.E., Robin, A. Probability distributions for maximum wave and crest heights, Coastal Engineering. 2000. Vol. 40. Is. 4. P. 329-360. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3839\(00\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S0378-3839(00)00017-X)

Авторлар туралы мәлімет:

Бейсембекова Меруерт Кыдырхановна – *байланыс үшін автор*, механика кафедрасының оқытушысы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғ., 71, Алматы, 050040, Қазақстан.

Маемерова Гүлнара Маратовна – PhD, механика кафедрасының аға оқытушысы, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғ., 71, Алматы, 050040, Қазақстан.

Ракисшева Зауре Баяновна – ф.-м.ғ.к., механика кафедрасының профессор м.а., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби даңғ., 71, Алматы, 050040, Қазақстан.

Beisembekova Meruyert Kydyrkhanovna – *corresponding author*, lecturer at the Department of Mechanics, Al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi Ave., 71, Almaty, 050040, Kazakhstan.

Mayemerova Gulnara Maratovna – PhD, senior lecturer at the Department of Mechanics, Al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi Ave., 71, Almaty, 050040, Kazakhstan.

Rakisheva Zauze Bayanovna – candidate of physical and mathematical sciences, project manager, acting professor at the Department of Mechanics, Al-Farabi Kazakh National University, Al-Farabi Ave., 71, Almaty, 050040, Kazakhstan.

Редакцияға түсті: 02.12.2023. Түзетілген нұсқа: 17.01.2024.

Түзетілген нұсқа: 29.03.2024. Мақұлданды: 29.03.2024. Онлайн қолжетімді: 30.03.2024.