

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-41-55.5>

FTAMP 37.27.03

37.27.17

37.27.21

ӨОЖ 556.55; 556.51

С. К. Алимкулов¹, А. Б. Мырзахметов², Э. К. Талипова³,
Г. Р. Баспакова^{*4}, М. Ә. Қанай⁵, Д. Ә. Рүстем⁶

¹ Г. ғ. к., қауымдастырылған профессор, басқарма төрағасының орынбасары («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; sayat.alimkulov@mail.ru)

² PhD, аға ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; ahan.myrzahmetov@mail.ru)

³ PhD, аға ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; elmira_280386@mail.ru)

^{4*} PhD, аға ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; sharafedenova@mail.ru)

⁵ Докторант, кіші ғылыми қызметкер (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; makpal_994@mail.ru)

⁶ Магистрант, жетекші инженер (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; rustem.darkhan@mail.ru)

ЗАМАНАУИ КЛИМАТ ӨЗГЕРІСТЕРІ МЕН АЛАПТАҒЫ СУШАРУАШЫЛЫҚ ІС-ӘРЕКЕТТЕРДІ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, БАЛҚАШ КӨЛІНІҢ СУ ТЕНДЕСТІГІН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Мақалада климаттың өзгеруі мен антропогендік факторларды, соның ішінде, Іле өзенінің трансшекаралық сипаты және аймақтағы сушаруашылық іс-әрекеттерді ескере отырып, Балқаш көлінің су теңдестігі зерттелінді. Өзен ағындысы, атмосфералық жауын-шашын және булану бойынша ұзақ мерзімді бақылау деректері келтіріліп, өзен ағындысының реттелуінің су теңдестігі динамикасына әсері бағаланды. Зерттеуде Балқаш көлінің су теңдестігі 1947-2021 жылдар аралығында есептелді, есептеулер нәтижелері бойынша көлге келетін орташа көпжылдық өзен ағындысы - 14,5 км³/жыл, жауын-шашын - 3,42 км³/жыл, булану - 17,5 км³/жыл, жерасты суларының алмасуы - 0,38 км³ құрады. Алынған нәтижелер Балқаш-Алакөл сушаруашылық алабының су ресурстарын тұрақты басқару стратегияларын әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: су теңдестігі, кіріс, шығыс, өзен ағындысы, атмосфералық жауын-шашын, булану.

Кіріспе. Су теңдестігі – өзен алабы, көл, батпақ, басқа да зерттелетін нысан үшін бір уақыт кезеңінде (жыл, ай, онкүндік және т.б.) келетін судың ағып келуінің, тұтынылуының және жинақталуының (су қорының өзгеруі) арақатынасы, басқаша айтқанда, бұл су қорының сақталу заңының көрінісі. Зерттелетін табиғи нысанға және уақыттың есептік аралығында су теңдестігінің теңдеуі әртүрлі элементтерді қамтуы мүмкін, сондықтан оны түбегейлі зерттеуді талап етеді [1, 2].

Табиғат нысандарының (өзен немесе көлдің су жинау алаптары) шекараларында ылғалдың келуі, жинақталуы және шығындалу заңдылықтарын зерттеу судың табиғи факторлары мен үдерістерінің себеп-салдарлық байланыстарын талдаудың генетикалық әдістеріне негізделген су теңдестігі әдісін қолдану арқылы жүзеге асырылады [3]. Қазіргі уақытта су теңдестігі бойынша зерттеулер мен есептеулер аса маңызға ие, себебі судың болуы өнеркәсіптің, ауыл шаруашылығының және көліктің дамуына, халықтың қоныстануы мен шаруашылық іс-әрекетіне әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Көлдер мен су қоймаларының су теңдестігі су электр станцияларында энергия өндіруді бақылау үшін, сушаруашылық іс-шараларын (суару және сумен қамтамасыз ету үшін су алу, басқа алаптарға өзен ағындысын жіберу) жобалау кезінде, ағаш өңдеу және су көлігін пайдалану кестесін жасау, судың сапасын бағалау және көлдің су деңгейін болжау мен су қоймаларын толтыру кезінде кеңінен қолданылады.

Әрбір көл немесе көл жүйесі өзіне тән гидрологиялық сипаттамаларға ие және су теңдестігін зерттеу әрбір көлдің нақты гидрологиялық факторларға тәуелділігін анықтауға көмектеседі, бұл

басқару әдістерін жетілдіруге мүмкіндік береді. Оларға құрғақшылық кезінде суды пайдалануға шектеулер, су тасқыны болар алдында бөгеттер салу және адамдарды қауіпсіз орынға көшіру, тиімді электр энергиясын өндіруді қамтамасыз ету үшін су деңгейін бақылау, сонымен қатар судың мөлшері мен сапасын басқаруды жақсарту мақсатында су ағындарын бұруға қатысты маңызды шешімдер кіруі мүмкін [1, 2].

Су теңдестігінің кіріс пен шығыс элементтерінің сандық қатынасы су нысанына әсер ететін табиғи жағдайлардың өзгеруіне, сондай-ақ су айдынының шаруашылық игерілу деңгейіне байланысты уақыт бойынша өзгереді, яғни су айдынының су ресурстары сәйкесінше өзгереді. Су ресурстарын тиімді пайдалану мақсатында су теңдестігі негізінде ішкі су нысандарының су ресурстарын бағалау су айдындарының гидрометеорологиялық режимін зерттеудегі маңызды міндеттердің бірі болып табылады [4].

Балқаш көлінің гидрологиялық режимі және су теңдестігі әртүрлі ғылыми-зерттеу және жобалау ұйымдарының есептерінде бірнеше рет сипатталып, бағаланды. Балқаш көлінің су теңдестігінің сандық сипаттамаларын анықтау бойынша алғашқы зерттеулерді А. В. Шнитников жүргізген [5]. Кейінірек бұл су айдынының су теңдестігін есептеуге көптеген зерттеушілер қатысты: Г. Р. Юнусов, Л. К. Блинов пен М. А. Буркальцева, М. Н. Тарасов, А. Н. Жиркевич, Т. Искендіров, Р. Д. Курдин, Н. А. Багров, И. С. Соседов, В. В. Голубцов пен А. Н. Жиркевич, И. И. Скотцелас, Л. П. Остроумова және Д. К. Жүсіпбеков, Ж. Достай, С. Қ. Алимқұлов және т.б. Көлдің су теңдестігінің жеке құрамдас бөліктерін анықтауға көп жұмыстар арналған [6-11]. Жекелеген жылдар бойынша «Қазгидромет» РМК және Балқаш-Алакөл алаптық инспекциясында су теңдестігі есептелінеді және Мемлекеттік су кадастрының «Жер беті суларының режимі мен ресурстары туралы жылдық мәліметтер» сериясында және жыл сайынғы есептерде жарияланады.

Көптеген су көлемі жайылымдар мен атырауларда жоғалады, Іле өзенінің кең атырауымен қамтылған, жартылай екіге окшауланған Балқаш көлінің су теңдестігін зерттеу өте күрделі болып келеді, сонымен бірге Іле-Балқаш сушаруашылық алабының мәселелерін шешу үшін үлкен тәжірибелік маңызға ие. Бұған дейін де бірнеше рет су теңдестігі есептеулері жүргізілгенімен, әлі де шешімін таппаған мәселелер көп. Бұл зерттеулер сушаруашылық алап туралы ғылыми білімді кеңейтіп қана қоймай, жаңа сын-қатерлер жағдайында өңірдегі су ресурстарын тұрақты басқару бойынша тәжірибелік ұсыныстарды әзірлеуге мүмкіндік береді. Осылайша, Балқаш көлін зерттеу мен сақтауға бағытталған ғылыми зерттеулер өте өзекті болып табылады, яғни ол Қазақстанның негізгі экологиялық мәселелерінің бірін шешуге және аймақтың тұрақты дамуын қамтамасыз етуге ықпал етеді.

Материалдар мен зерттеу әдістері. Балқаш көлінің су теңдестігінің теңдеуі былай жазылады:

$$W_{\text{жер беті}} \pm W_{\text{жерасты}} + W_X - W_E = \pm \Delta W, \quad (1)$$

мұндағы $W_{\text{жер беті}}$ – көлге құятын өзен ағындысының көлемі, км^3 ; $W_{\text{жерасты}}$ – көлге келетін және ағып шығатын жерасты суының көлемінің нәтижесі, км^3 ; W_X – көл айнасына түсетін атмосфералық жауын-шашын көлемі, км^3 ; W_E – көлдің су бетінен булану көлемі, км^3 ; ΔW – көлдегі су көлемінің өзгерісінің көлемі, км^3 .

Өзен ағындысы. Көлдің батыс және шығыс бөліктері үшін жер беті ағындысының келуі бөлек анықталады. Көлдің батыс бөлігіне келетін ағынды Іле өзені бойымен жүзеге асырылады. Егер Іле өзені атырауында және оның Ир, Іле, Шұбар-Құнан және Нарын тармақтарында бақылаулар болса, өзен ағындысы жоғарыда аталған тармақтардың орташа жылдық өтімдерінің қосындысына тең. Өзен атырауында бақылаулар болмаған жағдайда, көлдің батыс бөлігіне жер беті ағындысының келуі келесі теңдеу арқылы есептеледі:

$$V_{\text{Бжер беті}} = V - P, \quad (2)$$

мұндағы V – Қапшағай шатқалындағы Іле өзенінің ағынды көлемі, $\text{км}^3/\text{жыл}$; P – Балқаш көлі Қапшағай шатқалында ағындының өзгеруі, $\text{км}^3/\text{жыл}$.

Шығыс Балқашқа жер беті ағындысының келуі Қаратал өзені – Раздольное ауылы, Лепсі өзені – Лепсі ауылы, Ақсу өзені – Қызылтаң ауылы, Аякөз өзені – Қаратас ауылы бекеттеріндегі бақылау деректері бойынша есептелді.

Атмосфералық жауын-шашын. Су нысанының бетіне түсетін атмосфералық жауын-шашын, әдетте, жақын маңдағы метеорологиялық станциялардағы атмосфералық жауын-шашын

өлшегіштерінің көрсеткіштері бойынша есептеледі, яғни Балқаш көлінің жағасында орналасқан: Ақтоғай, Сарышаған, Құйған, Балқаш және Алғазы аралы. Атмосфералық жауын-шашынның қабаты көлдің батыс және шығыс бөліктері үшін ай сайын бөлек есептеледі, содан кейін су бетінің ауданын ескере отырып, бір жыл бойындағы жауын-шашынның көлемі анықталды. Көл бетіне түсетін атмосфералық жауын-шашын қабаттарын есептеу кезінде метеорологиялық бекеттердегі бақылау деректеріне сулану, булану және желдің тұрақсыздығына түзетулер енгізіледі, олар ГГИ әдістемесіне және ҚазҰТЗИ ұсынымдарына сәйкес айқындалады [11, 12].

Су бетінен булану. Бұл шаманы есептеу булануға әсер ететін гидрометеорологиялық факторлар туралы ақпарат негізінде буланған судың көлемін анықтаудың жалпы қабылданған әдісіне негізделген.

Күрделі конфигурацияы бар су айдындарына арналған физикалық тұрғыдан ең дұрыс негізделген әдіс – бұл А. П. Браславский [13] және кейінірек Л. П. Остроумова одан әрі жетілдірген әдіс болып табылады [14]. Булану қабаты барлық көл бойынша ауа температурасы мен ылғалдылығының, жел жылдамдығының, төменгі және жалпы бұлттылықтың орташа мәндерімен анықталады, олар ауа сипаттамаларының өзгеруін ескере отырып, жағалық метеорологиялық бекеттердегі бақылаулар негізінде және ҚазҰТЗИ ұсынған әдістеме қолданылды [13, 14].

Зерттеу аймағы. Балқаш көлі су жинау алабының ауданы шамамен 413 мың км² құрайды, оның аумағының 15%-ы Қытайдың Шыңжаң Ұйғыр автономиялық ауданының (ШҰАА) солтүстік-батысында орналасқан. Балқаш көліне жер беті сулары Іле, Қаратал, Ақсу және Лепсі өзендері (кейде Аякөз өзені) арқылы келеді. Іле өзені Батыс Балқашқа, қалған салалары Шығыс Балқашқа құяды. Су жинау алабының солтүстік бөлігі – Сарыарқа баурайынан ағатын Бақанас, Тоқырауын, Мойынты және Жаманты өзендерінің ағындысы шамалы және уақытша су ағыны сипатына ие, сондықтан жыл сайын Балқаш көліне келіп құймайды. Шу-Іле суайрығынан бастау алатын уақытша су ағындары да осындай сипатқа ие. Олардың жер беті ағындысы өзеннің ысырынды конусында жоғалады [15, 16].

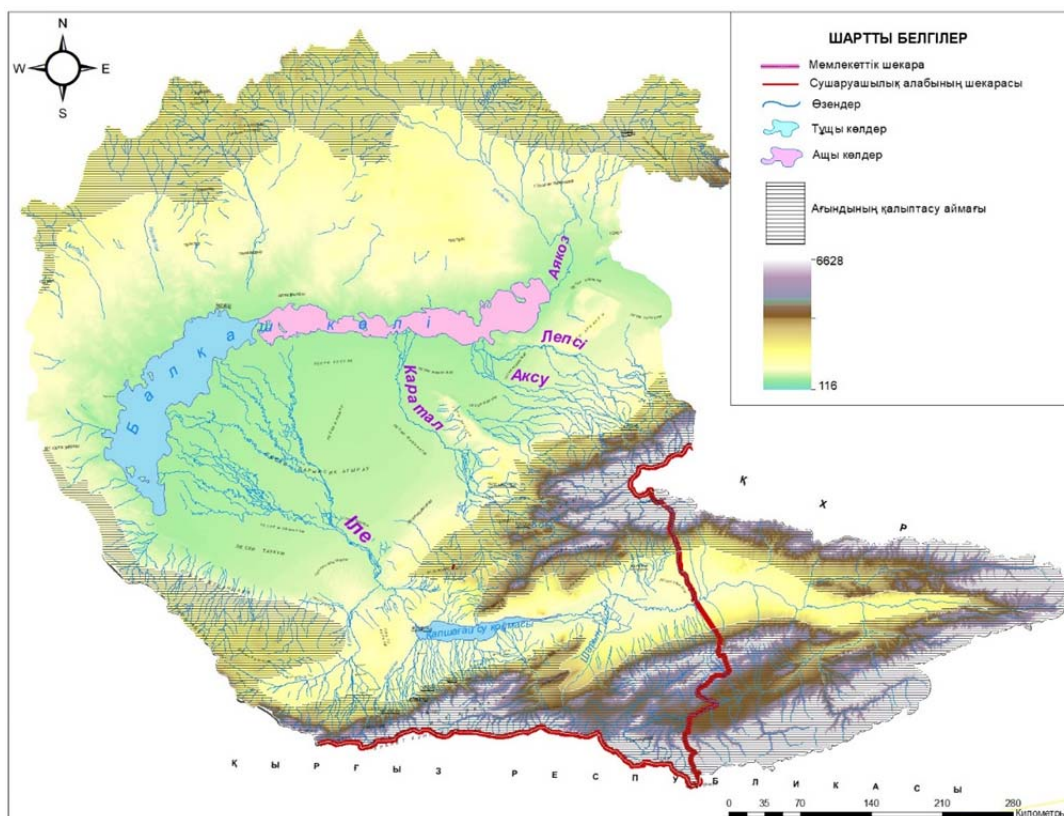
Бұл су артерияларының ең бастысы Іле өзені болып табылады, табиғи жағдайда оның үлесіне жалпы жер беті ағындысының шамамен 80%-ы келеді, өзеннің жалпы ұзындығы 1439 км, Қазақстан аумағында – 815 км. Іле өзенінің жалпы су жинау алабының ауданы – 131 тыс. км² (Балқаш көлі су жинау алабының шамамен 75%-ы), оның 77 400 км² – республика аумағында. Су жинау алабының негізгі ағынды құраушы бөлігі гидрографиялық желісі біршама дамыған (0,6-3 км/км² аралығынды) Қытай аумағында орналасқан. Оның тығыздығы алаптың ортаңғы және төменгі бөліктерінде (0,01 км/км² дейін) төмендейді, бұл жерде тек сол жағалау аймағы белсенді [15].

Гидрологиялық жағдайына сәйкес Балқаш көлі алабы ағынды қалыптасу аймағынан (таулы бөлігі) және ағындының таралу немесе жоғалу аймағынан (жазық бөлігі) тұрады (1-сурет). Балқаш көлі алабының жаңғырмалы су ресурстарының қалыптасу аймағына Іле ойпатымен бөлінген Тәңіртау және Жетісу Алатауы жатады. Су ресурстарының қалыптасу аймағының гидрологиялық ерекшеліктері жұмыстарда жеткілікті түрде егжей-тегжейлі қарастырылған [15, 16]. Су теңдестігін талдау және гидрографтардың генетикалық бөліну нәтижелері бойынша жаңғырмалы су ресурстарының қалыптасу жағдайларына тән үш табиғи аймақ анықталды.

3000 м-ден жоғары аумақты мұздық-қармен қоректенетін биік таулы нивальды-гляциалды аймақ алып жатыр. Гидрологиялық тұрғыдан және атмосфералық ылғалдың конденсациялануы тұрғысынан барлық дерлік маңызды өзендердің көздерін қамтитын ландшафттың ерекше және маңызды элементі мұздану болып табылады. Мұз басқан аймақтың ағыны жауын-шашын мөлшеріне де, абляция кезеңінің жылы балансына да байланысты, сондықтан мұздықтар ағындысының қалыптасуында биіктік және экспозициялық аудандастыру өте айқын көрінеді [15].

Екінші белдеу орташа таулы аймақ – 1500 м биіктікке дейін орналасқан. Өзендер маусымдық қардың еріген суымен қоректенеді. Белгілі бір үлес қар еріген кездегі және одан кейін түскен сұйық атмосфералық жауын-шашынға, сондай-ақ су тасқынын тудыратын нөсерлі жауын-шашынға тиесілі [15].

Төменгі аймақта өзен ағындысы – қардың еріген суынан, су тасқыны кезіндегі жауын-шашынмен қоректенуінен, ал жылдың қалған бөлігінде – жерасты суымен қоректенуінен қалыптасады. Өзеннің ысырынды конусындағы борпылдақ шөгінділермен өтіп жатқан өзендер, төменгі аймақтағы ағындының едәуір бөлігі жерасты сулардан қалыптасуына ықпал етеді [15].



1-сурет – Балқаш көлі аумағындағы өзен ағындысының қалыптасу аймағының сызбалық картасы

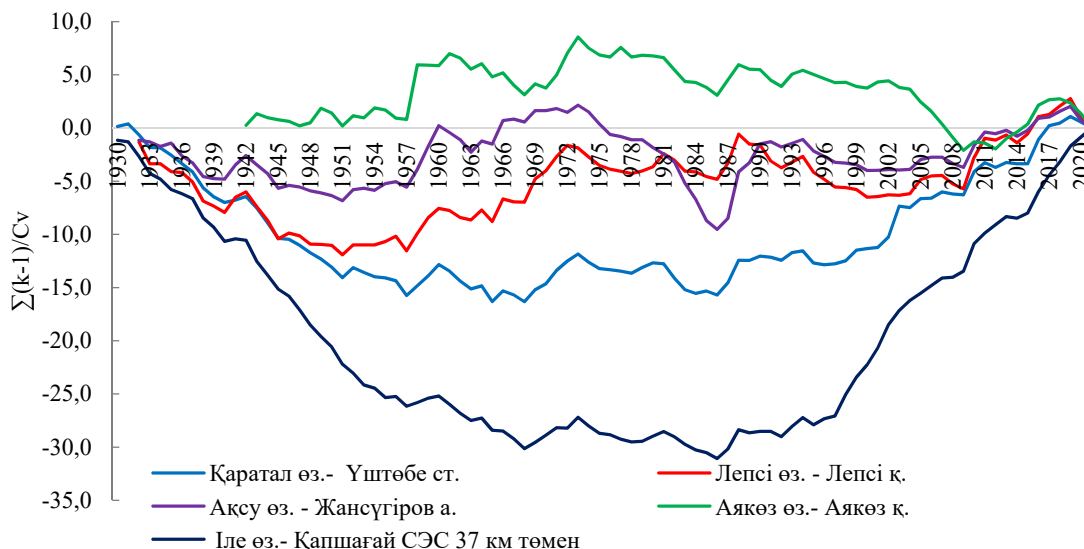
Figure 1 – Schematic map of the zone of formation of river flow on the territory of Lake Balkhash

Нәтижелер мен талқылау. Өзен ағындысы. Балқаш көлі сипаттамаларының ұзақ мерзімді ауытқулары негізінен Балқаш көліне келіп құятын өзен ағындысына байланысты, Балқаш көлінің географиялық нысан ретінде жұмыс істеуі, су ресурстарының сапасы және тұтастай алғанда көлдің бүкіл су экожүйесі келіп түсетін Іле өзені есебінен жүзеге асырылуда, өйткені ол көлдің су теңдестігі кіріс бөлігінің 80% көлемін құрайды [7-11, 15]. Іле өзені алабының негізгі ағындысын құрайтын бөлігі Қытай Халық Республикасының ШҰАА аумағында орналасқан, сондықтан Балқаш көлінің жер беті су ресурстарын қарастыру кезінде Қазақстан Республикасының аумағында қалыптасқан өзен ресурстарының өзгеру динамикасын, сондай-ақ транзиттік ағын ретінде көрші мемлекеттерден келетін кіріс динамикасын талдау қажет. ҚХР Іле өзені алабында көптеген жобаларды жүзеге асыруда, соның ішінде гидротехникалық ғимараттар құрылысы. Сарапшылардың бағалауы бойынша, бұл жобаларды жүзеге асыру 2050 жылға қарай Қазақстандағы Іле өзені ағындысының 40%-ға азаюына, ал өнеркәсіптік (негізінен мұнай өндіру және мұнай өңдеу) кәсіпорындарын іске қосу нәтижесінде Қытайдағы өзен суының ластануына алып келеді [17].

ҚХР аумағында Іле өзені алабындағы су ресурстарын тұтынудың 80%-ы ауыл шаруашылығына арналған, 1970 жылдары Қытайдағы ауылшаруашылық жерлерінің көлемі 572 294 га, 2001 жылы 808 551 га, 2013 жылы 940 276 га болған [18, 19]. Қазіргі уақытта Іле өзені алабының Қытай аумағында 50-ден астам әртүрлі су қоймалары салынды, оның ішінде көлемі 0,5–1,0 км³ ірілері де бар. 1990 жылдың басынан 2015 жылға дейін су қоймаларының құрылысы жоғары қарқынмен жүргізілген, Landsat мұрағаттық суреттері бойынша Іле, Текес және Қаш өзендерінің салаларында 9 су қоймасы салынған [20]. Олардың ішінде көлемі бойынша 2005 жылы салынған екі су қойма, Текес өзеніндегі Қапшағай және Қаш өзеніндегі Жарынтай су қоймалары ерекше көзге түседі [21].

Климат өзгеруінің өзен ағындысына әсері. Өзендердің гидрологиялық режимі негізінен климаттық жағдайлармен, атап айтқанда атмосфералық жауын-шашын мөлшерімен, ауа температурасының таралуымен, буланумен, өзендердің қоректену көздерінің арақатынасымен, жер бедерінің сипатымен, сондай-ақ өзен алаптарының гидрогеологиялық және басқа да ерекшелік-

терімен анықталады. Балқаш көліне құятын негізгі өзендер ағындысының ұзақ мерзімді ауытқуын талдау – су өтімдерінің жылдар бойы тұрақты ауытқуларының болуын көрсетеді. 2-суретте Балқаш көліне құятын негізгі өзендердің біріктірілген интегралдық қисық сызықтарының графигі көрсетілген. Алынған мәліметтердің негізінде аз және көп сулы фазалар, сондай-ақ бақылау кезеңінде сулылықтың өзгеруінің толық циклдері көрсетілген.

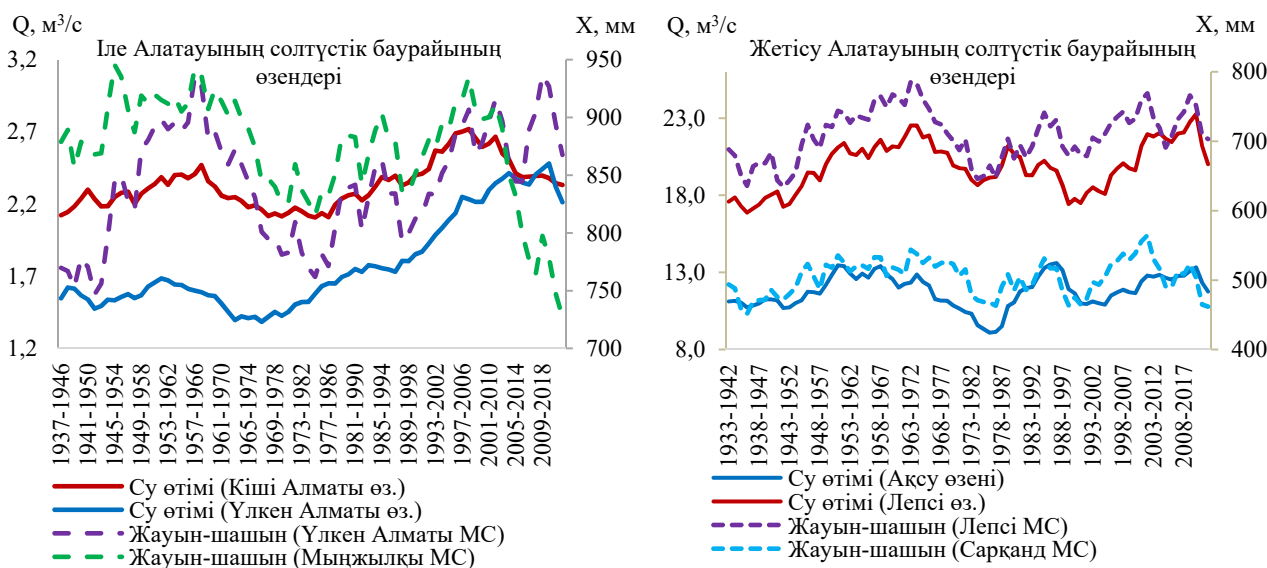


2-сурет – Балқаш көліне құятын негізгі өзендердің модульдік коэффициенттерінің біріктірілген интегралдық қисықтары

Figure 2 – Combined integral curves of the modulus coefficients of the main rivers flowing into Lake Balkhash

Суреттен көрініп тұрғандай, интегралдық қисықтардың көпшілігі сулылықтың 4 негізгі фазасын көрсетеді: 30-дан 50-ші жылдардың ортасына дейін аз сулы және одан әрі 70-ші жылдарға дейін көп сулы фазалар, 70-ші жылдардан бастап 80-жылдардың ортасына дейін ағындының төмендеуі байқалады, содан кейін мол сулы су кезеңін байқауға болады.

Климаттың өзгеруі жағдайында су ресурстарының аумақ бойынша біркелкі таралмауы жағдайды қиындатады. Егер өзен ағындысын әсіресе Іле-Балқаш алабындағы табиғи жағдайда ағынды қалыптасу аймағында қарастыратын болсақ (3-сурет), соңғы жылдары ол аздап өсті.



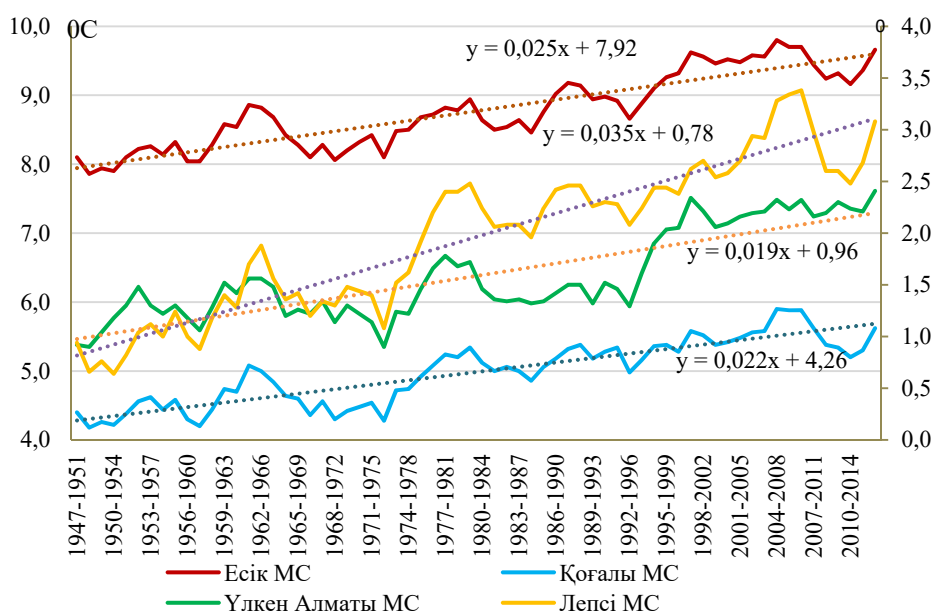
3-сурет – Іле-Балқаш алабындағы өзендердің су өтімі және атмосфералық жауын-шашынның көпжылдық жүрісі (10 жылдық орташа жылжымалы)

Figure 3 – River flow and long-term course of atmospheric precipitation in the Ile-Balkhash basin (10-year moving average)

Ағынды қалыптастырушы факторлардың және өзен ағындысының уақыт бойынша өзгерістігін көрсететін негізгі заңдылық циклдік ауытқулар болып табылады. 3-суретке сәйкес қарастырылып отырған алаптағы өзен ағындысы мен атмосфералық жауын-шашын динамикасы синхронды болып табылады. Бірақ 2000 жылдарға дейінгі ағынды мен жауын-шашынның біріктірілген графиктері көрсеткендей олардың синхрондылығы байқалады, одан кейінгі жылдары жүрісі әртүрлі, басқа факторлардың әсері (ауа температурасының жоғарылауы, атмосфералық айналым және т.б.) себебінен болуы мүмкін.

Ағындының өзгеруін сипаттайтын тағы бір фактор – өзен алаптарының жер бедері, соның ішінде ең алдымен абсолюттік биіктігі. Су жинау алабының абсолютті биіктігінің жоғарылауымен климаттық факторлар мен оның төсеніш беті өзгереді, демек, өзендердің қоректену жағдайлары да өзгереді. Сонымен қатар биік таулы аймақтардағы өзендердің қоректенуінде мұздықтар мен мәңгі қардың маңызы зор, орташа таулы және тау етегіндегі аймақтарда маусымдық қар жамылғысының, сұйық атмосфералық жауын-шашынның және жерасты суларының маңызы айтарлықтай артады [48].

Жоғарыда айтылғандай, 2000 жылдан кейінгі өзен ағындысы мен жауын-шашынның асинхрондылығы, яғни ағындының шамалы артуы ауа температурасының жоғарылауынан қар мен мұздың ұзақ мерзімді қорының тез еруіне (таудағы мұздандудың бұзылуы) байланысты [49, 50]. Қарастырылып отырған аймақта климаттың өзгеруі, негізінен ауа температурасының жоғарылауымен сипатталады және ауа температурасының жоғарылау жылдамдығы 1947-2021 жылдар аралығында $0,19-0,35^{\circ}\text{C}/10$ жыл аралығында болды (4-сурет).



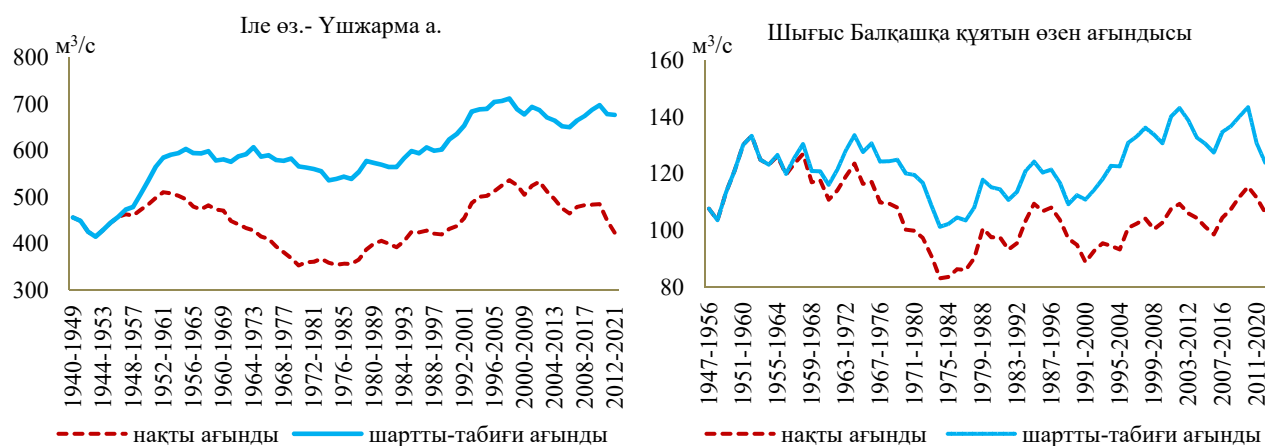
4-сурет – Іле-Балқаш алабындағы ауа температурасының көпжылдық жүрісі (5 жылдық жылжымалы орташа көрсеткіш)

Figure 4 – Multi-year trend of air temperature in the Ile-Balkhash basin (5-year moving average)

1955-1956 жылдан 2015 жылға қарай Іле Алатауының солтүстік баурайының өзен алабындағы Солтүстік Іле мұз жүйесі мұздықтарының ашық бөлігінің ауданы 287,3-тен 162,5 км²-ге дейін 43,4%-ға азайған [24-26]. Жоңғар мұздықтар жүйесінде, Жетісу Алатауының оңтүстік бөлігінде Қорғас және Өсек өзендерінің алаптарында 1955-1956 жылдардан бастап 2015 жылға қарай мұздықтардың ауданы біршама қысқарған, 226,4-тен 117,2 км²-ге, 48,2%-ға азайған. Жетісу Алатауының солтүстік беткейінде Ақсу, Лепсі және Биен өзендерінің алабында 1955-1956 жылдардан 2015 жылға қарай 304,1-ден 182,5 км²-ге дейін, 40,0%-ға азайған. [26, 27]. Жетісу Алатауының батыс бөлігінде Қаратал өзені алабында 1955-1956 жылдан 2015 жылға қарай 215-тен 115 км²-ге дейін, 46,5%-ға азайған. Қазақстан Республикасының аумағындағы Текес алабында ауданы 31,1%-ға (143,9-дан 99,1 км²-ге дейін) азайды [28].

И. В. Северскийдің зерттеу нәтижелері бойынша, Солтүстік Іле мұз жүйесінің мұздықтарының басым көпшілігі ағымдағы ғасырдың соңына қарай (2080-2085 жж.), ал Оңтүстік Жетісу Алатауының мұздануы жойылуы анықталған деградация жылдамдығын 2,2 км²/жыл (0,97%/жыл) сақтай отырып - 2060 жылдың соңына қарай жоғалуы мүмкін [29].

Антропогендік факторлардың өзен ағындысына әсері. Қарастырылып отырған аймақтың зерттелуі ежелгі дәуірде басталған. Жалпы алғанда, гидрометриялық бақылаулардың ағымдағы кезеңі үшін табиғи режим жоқ, өйткені алапта суармалы егіншілік жүйесі ұзақ уақыттан бері жүргізіліп келеді. 5-суретке сәйкес, Іле өзені бойындағы шартты-табиғи және нақты ағындының арасындағы айырмашылық шамамен 50-ші жылдардан басталады, Шығыс Балқашқа құятын өзендер үшін табиғи гидрологиялық режимнің бұзылуы 70-жылдардан бастап байқалады (5-сурет). Демек, суармалы егіншіліктің әсері өзен ағындысын бағалаудың дәлдігі шегінде, яғни 5%-дан аспайтын деңгейде болған жағдайда ғана шартты табиғи кезең туралы айтуға болады.



5-сурет – Балқаш көліне құятын негізгі өзендердің ағындысының көпжылдық жүрісі (нақты және шартты-табиғи ағынды)

Figure 5 – Multi-year flow of the main rivers flowing into Lake Balkhash (actual and conditional-natural flow)

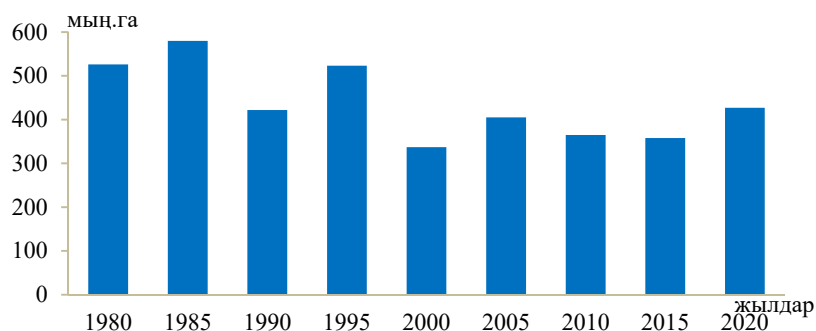
Жалпы, антропогендік факторларды ескере отырып, ағындының ұзақ мерзімді жүрісінде үш кезеңді бөлуге болады:

шартты-табиғи кезең (1970 ж. дейін) Қапшағай су қоймасы толтырылғанға дейін, антропогендік әсері шамалы (суару);

Қапшағай су қоймасын төмендетілген сумен толтыру кезеңі (1970-1987 жж.);

Қазақстан Республикасының аумағында су шаруашылығы саласына байланысты режимнің бұзылуымен және Қытай Халық Республикасы аумағынан келетін Іле өзені ағындысының қарқынды төмендеуіне байланысты судың жоғарылау кезеңі (1988-2021 жж.);

Балқаш көлі алабындағы судың негізгі тұтынушысы суармалы егіншілік болып табылады. Ол облыстың жалпы су тұтынуының 90%-ға жуығын құрайды. Қазіргі Жетісу облысында суару желісі бар жердің ауданы 400 мыңды құраса, 1925 жылы 115 мың, 1945-1946 жж. 322 мың гектарды құраған, 1980-1985 жж. суармалы жер көлемінің ұлғаюы байқалады (6-сурет).



6-сурет – Балқаш көлі алабындағы суармалы жерлер көлемінің өзгеруі, мың га
Figure 6 – Change in the area of irrigated land in the Lake Balkhash basin, thousand hectares

1991 жылы Кеңес Одағы ыдырағаннан кейін Іле өзені атырауындағы және Балқаш көлі алабындағы орасан зор суармалы егістік алқаптары қараусыз қалды, суармалы егіншіліктің төмендеуі Қазақстан Республикасы аумағында антропогендік әсердің айтарлықтай төмендеуіне алып келді. Балқаш көлі алабы ірі суармалы жүйелерінің болуымен ерекшеленеді, оның ішінде ауданы 31,7 мың га, су тұтынуы жылына 1,3 км³ болатын Ақдала күріш массиві, ауданы 20 мың га, тұтынуы 0,3 км³/жыл болатын Қаратал күріш массиві, ауданы 15,3 мың га, жалпы су алуы 166 млн м³/жыл Шеңгелді суару массиві [30, 31].

Бірқатар су қоймаларының пайдалануға берілуі Қазақстан Республикасының аумағындағы өзен ағындысының өзгеруіне айтарлықтай әсер етті. Жалпы алғанда, алаптың қазақстандық бөлігінде 38-ге жуық су қоймасы бар, олардың сыйымдылығы ≥ 106 м³ болатын 9 су қойма, оның ішінде ең ірілері Қапшағай, Бартоғай және Күрті, сонымен қатар жүзден астам орта және шағын көлемді су қоймалары бар [15].

Қапшағай су қоймасы сипаттамалары бойынша еліміздегі ең ірі су қоймаларының бірі болып табылады. Оның жобалық көрсеткіштегі жалпы көлемі 485 м абс. биіктікте 28,1 км³ құрайды, бұл Іле өзені ағындысының екі жылдық көлеміне тең. Су қоймасын толтыру 1969 жылы 29 желтоқсанда басталып, 1985 жылдың 1 қаңтарында оның көлемі 13,99 км³ жетті, бұл жобалық көлемнің шамамен 50%-ы. Су қоймасын толтыру басталып, булану мен фильтрацияға судың қосымша шығыны көбейген кезде Балқаш көлінің деңгейі төмендей бастады. Осыған байланысты, сондай-ақ облыстағы басқа су ағындарында суармалы жерлердің ұлғаюына және басқа да гидротехникалық құрылыстардың салынуына байланысты Қапшағай су қоймасының жобалық деңгейін 10 м-ге, ал көлемін 14 км³-ге дейін төмендету туралы шешім қабылданды.

Осылайша, 1947-2021 жылдар аралығындағы есептеулер нәтижелері бойынша көлге келіп құятын орташа ағынды көлемі: Батыс Балқашқа (Іле өзені) – 11,2 км³/жыл, Шығыс Балқашқа – 3,3 км³/жыл; жалпы көлге – 14,5 км³/жыл құрады. 7-суретте көлдің батыс және шығыс бөліктері үшін жер беті ағындысының көпжылдық жүрісі көрсетілген (7-сурет).



7-сурет – Жер беті ағындысының (өзен ағындысының) көпжылдық жүрісі

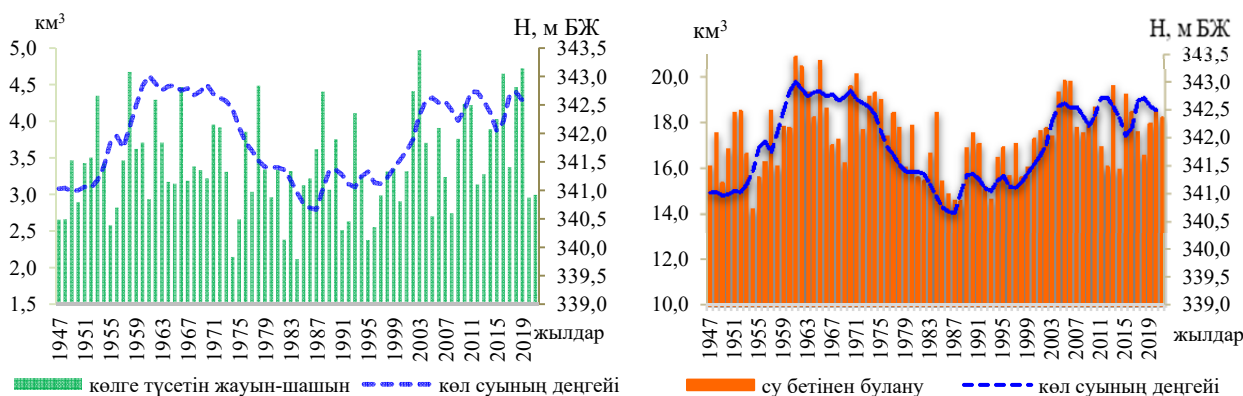
Figure 7 – Multi-year course of surface runoff (river runoff)

Есептеу нәтижелері көрсеткендей, Іле өзені және Балқаш көлінің шартты-табиғи режимі кезеңінде (1947-1969 жж.) көлге келіп құятын жер беті орташа ағындысы келесіні құрады: Батыс Балқашта – 12,3 км³/жыл, Шығыс Балқашта – 3,67 км³/жыл, жалпы көлге – 16,0 км³/жыл.

Қапшағай су қоймасын толтыру кезеңінде (1970-1987 жж.) көлге құятын жер беті орташа ағындысы келесіні құрады: Батыс Балқашқа – 9,48 км³/жыл, Шығысқа – 3,02 км³/жыл, жалпы көлге – 12,5 км³/жыл.

Су мөлшерінің жоғарыланған реттелетін ағынды кезеңінде (1988 – 2010 жж.) көлге келіп құйған жер беті орташа ағындысы мөлшері: Батыс Балқашта – 11,4 км³/жыл; Шығыста – 3,27 км³/жыл; жалпы көлде – 14,7 км³/жыл болды.

Атмосфералық жауын-шашын. Су бетіне түсетін атмосфералық жауын-шашынның жыл аралық өзгергіштігі бар, бірақ көл деңгейінің сызығымен салыстырғанда біркелкі емес. Орташа жылдық жауын-шашын мөлшері көл деңгейінің жүрісімен сәйкес келеді, бірақ максимум және минимумның басында аздап ығысуымен ерекшеленеді, яғни максималды және ең аз жауын-шашынның кезеңі көл деңгейінің максимумынан ертерек болады. Осылайша, 1947 жылдан 1962 жылға дейін көл деңгейінің төмендеуі фондында жауын-шашын мөлшерінің артуы байқалды (8-сурет).



8-сурет – Балқаш көлінің су деңгейінің және су бетінен булану мен су бетіне түсетін жауын-шашын мөлшерінің көпжылдық жүрісі

Figure 8 – Multi-year trends in the water level of Lake Balkhash and the amount of evaporation and precipitation falling on the surface of the water

Көлдің деңгейі көтерілген кезде, жауын-шашын мөлшерінің азаюы байқалады. 1963 жылдан 1971 жылға дейін жауын-шашын көлдердің салыстырмалы түрде жоғары деңгейі кезінде тұрақты болды. 1970 жылдардан кейін, Қапшағай су қоймасы салынғаннан кейін жауын-шашын мөлшері мен көл деңгейі арасындағы байланыс бұзылды, алайда бұзылған ағынды кезеңінде көлдегі судың жоғары деңгейі максималды жауын-шашын мөлшерінен кейін байқалды. Өзен ағындысының көлемімен салыстырғанда жауын-шашынның көлемі шамалы, сондықтан оның жыл аралық және маусымдық су деңгейлерінің өзгергіштігіне әсері азырақ.

Су бетінен булану. Балқаш көлінің су бетінен буланудың көпжылдық жүрісінде 1950-1965 жылдар аралығында су бетінен буланудың тұрақты өсуі байқалды, ал буланудың ұлғаюы көлдің су беті ауданының ұлғаюымен байланысты, өйткені бұл кезеңде көлдегі беттік ағынды көбірек болды және сәйкесінше оның көл айнасының ауданы ұлғайған сайын буланған судың көлемі де өсті. Қапшағай су қоймасын салу және толтыру кезеңінде оның мөлшерінің төмендеуі байқалды, ал одан кейінгі жылдары көл бетінен булану күшейді (8-сурет). Булану қарқындылығын анықтайтын негізгі климат түзуші факторларға ауа температурасы жатады, ал көл маңында орналасқан метеобекеттердің мәліметтері бойынша қарастырылып отырған кезеңде ауа температурасы 0,36⁰C/10 жылға жоғарылаған. Болашақта бұл тенденциялардың сақталуы булану процестерінің қарқындылығының жоғарылауының бастамасы болуы мүмкін.

Жерасты суларының келіп құюы және ағып шығуы. Балқаш көлінің жерасты суларының қоршаған ортамен алмасуы жерасты суларының көл қазаншұңқырына келіп түсуі және көл суының

жағаға сіңуі арқылы жүзеге асады. Судың көл түбіне сүзілуі байқалмаған. Бұл түбін құрайтын сазды жыныстардың сүзу қабілетінің төмендігімен, оның қалың лай шөгінділерімен бітелуімен және қысымның аз градиентімен түсіндіріледі.

Көлдің су теңдестігінде нәтижелік су алмасу (келіп түсу минус ағып шығу) жиі пайдаланылды. Сонымен бірге көптеген зерттеушілер оны оң деп қабылдап, шартты түрде жерасты ағындысы деп атады. Оның мөлшері туралы пікірлер айтарлықтай екіжақты болды.

Өткен ғасырдың 80-жылдарында Қазақстан Республикасы Ғылым академиясының Гидрогеология және гидрофизика институтының қызметкерлері С. М. Шапиро мен О. В. Подольный [32] бақылау деректерін, оның ішінде тәжірибелік бұрғылау жұмыстарын және геофльтрация үдерісін үлгілеуді пайдалана отырып, жерасты сулары деңгейінің маусымдық ауытқуы, жерасты суларының алмасуын бағалау бойынша алдыңғы зерттеулерден көп жағынан сапалы түрде ерекшеленетін жұмыс атқарды. [32] еңбектегі мәліметтері бойынша жерасты су алмасуында көлден судың шығуы басым болады. Нәтижесінде су алмасуы – 0,384 км³/жылға тең, оның ішінде Батыс Балқаш үшін – 0,338, Шығыс Балқаш үшін – 0,046 км³/жыл.

Балқаш көлі су теңдестігінің өзгерістері. Осы зерттеуде Балқаш көлінің су теңдестігі 1947-2021 жылдар аралығында есептелді, бұл кезде метеобекеттер мен бекеттердің бақылау деректері болды, бұл атмосфералық жауын-шашын мен булануды есептеуге негіз болды, олар шартты түрде үш сипаттамалық кезеңге бөлінді. Біріншісі – 1947-1969 жж. шартты-табиғи кезең, антропогендік әсері шамалы; екіншісі – 1970-1987 жж., Қазақстан Республикасы аумағында қарқынды су шаруашылығы қызметіне (Қапшағай су электр станциясын толтыру және суармалы жерлерді игеру) байланысты сумен қамтамасыз етудің қысқаруымен реттелетін кезең; үшіншісі – 1988-2021 жж. сулылықтың жоғарылауымен қазіргі реттелген кезең (Қазақстан Республикасының аумағындағы су шаруашылығы қызметіне және Қытай Халық Республикасы аумағынан Іле өзенінің қарқынды төмендеуіне байланысты).

Су теңдестігінің барлық элементтерін қарастыра отырып, көлдегі судың кірісі мен шығысының толық бейнесін бере аламыз. Өр түрлі кезеңдердегі су теңдестігі құрамдастарының орташа мәндері кестеде келтірілген.

Өртүрлі кезеңдерге арналған Балқаш көлінің орташа су теңдестігі, км³/жыл

Average water balance of Lake Balkhash for different periods, km³/year

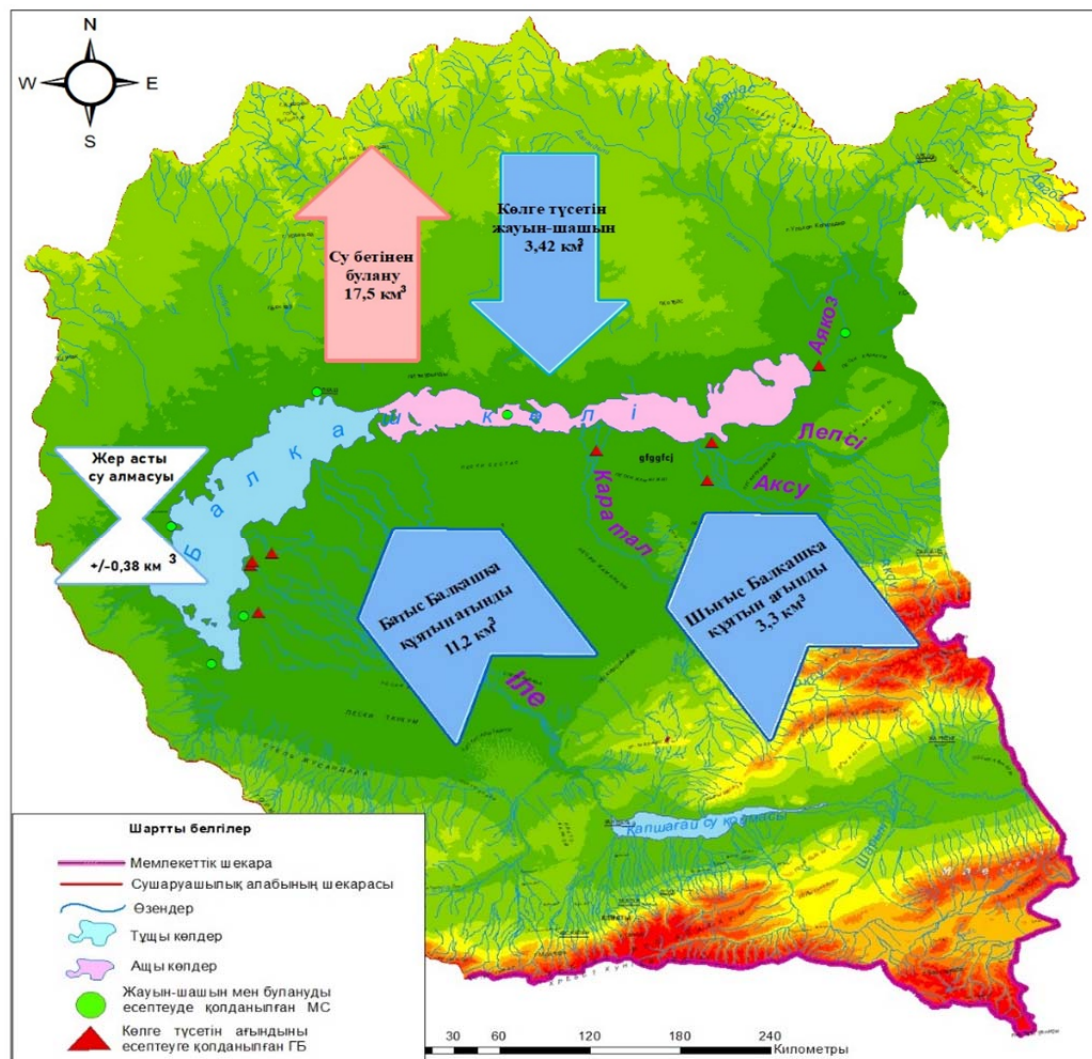
Кезең	Кіріс			Шығыс			Баланс
	Келіп түсетін ағынды	Жауын-шашын	Барлығы	Булану	Vф	Барлығы	
1947-1969	16,0	3,43	19,4	17,8	0,384	18,1	1,30
1970-1987	12,5	3,22	15,7	17,3	0,384	17,6	-1,91
1988-2021	14,7	3,53	18,2	17,1	0,384	17,5	0,70

Кестеден көріп отырғанымыздай, шартты-табиғи кезең (1947-1969 жж.) келесідей болды: жер беті ағындысы – 16,0 км³/жыл; оның 12,3 км³/жыл – Іле өзені бойынша; атмосфералық жауын-шашын – 3,43 км³/жыл, булану – 17,8 км³/жыл.

Қапшағай су электр станциясы салынғаннан кейінгі кезеңде 1970-1987 жж. Балқаш көлінің су теңдестігі қатты өзгерді. Осы кезеңде жер беті суларының нақты келуі 12,5 км³/жыл құрады, ал оның табиғи мөлшері 18,2 км³/жыл болды, яғни антропогендік азаю 5,73 км³/жыл (көлге түспеген), атмосфералық жауын-шашын – 3,22 км³/жыл, булану – 17,3 км³/жыл.

Қазақстан Республикасы мен Қытай Халық Республикасының суы мол циклдың ағындысына антропогендік әсер ету кезеңінде (1988-2021 жж.) көлге келіп түскен су 14,7 км³/жыл, оның 11,4 км³/жыл Іле өзенінен түскен, ал олардың табиғи мөлшері сәйкесінше 21,3 және 17,3 км³/жыл. Атмосфералық жауын-шашын – 3,53 км³/жыл. Көл бетінен булану жылына 17,1 км³.

Шартты-табиғи кезеңдегі су теңдестігінің кіріс бөліктері шығыстан артық болып шықты, ол дегеніміз 1,30 км³ оң сәйкессіздік бар. Су мөлшері азайған реттелетін кезеңде кіріс бөліктерінің көлемі шығыс бөліктерінен аз болды, ал теңдестік сәйкессіздік теріс болды – 1,91 км³. Суы мол реттелген кезеңде су теңдестігінің кіріс бөлігі шығыс бөліктерінен қайтадан жоғарылады, ал теңдестік сәйкессіздік оң сипатқа ие болды және 0,70 км³ құрады.



9-сурет – 1947-2021 жж. аралығындағы Балқаш көлінің орташа су теңдестігі

Figure 9 – Average water balance of Lake Balkhash from 1947 to 2021

Осылайша, 1947-2021 жылдар аралығындағы есептеулер нәтижелері бойынша көлдегі келетін орташа жер беті ағындысы: Батыс Балқашта (Іле өзені) – $11,2 \text{ км}^3/\text{жыл}$; Шығыс Балқашта – $3,3 \text{ км}^3/\text{жыл}$; көлде жалпы алғанда – $14,5 \text{ км}^3/\text{жыл}$ құраған (9-сурет).

Көл бетіне түсетін орташа жауын-шашын мөлшері $3,42 \text{ км}^3/\text{жыл}$, су бетінен булану – $17,5 \text{ км}^3/\text{жыл}$, жерасты суларының алмасуы – $0,38 \text{ км}^3$ құрады.

Қорытынды. Балқаш көлінің су теңдестігі элементтерінің алынған мәндерін талдау нәтижесінде теңдестіктің кіріс бөлігінде негізгі үлесі Іле өзені бойымен Батыс Балқашқа құятын жер беті су ағындысына тиесілі деген қорытындыға келуге болады, Шығыс Балқашқа келетін өзен ағындысы көлемі көл бетіне түсетін атмосфералық жауын-шашынмен сәйкес келеді. Көлге түсетін ағынды судың барлығы дерлік булануға жұмсалады. Көлдегі су деңгейінің динамикасы күрделі және түсініксіз. Балқаш көлінің орташа жылдық су деңгейінің хронологиялық жүрісі соңғы онжылдықта деңгей режимінің фазасы, амплитудасы және ұзақтығы айтарлықтай өзгерістерге ұшырағанын көрсетеді. Мысалы, қысқа мерзімді тербелістердің амплитудасы $0,7-0,8$ метрге жетті, олар бұрын тегістелген және $0,5$ м-ден аспайтын.

Қаржыландыру. Бұл ғылыми зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім Министрлігінің АР19677869 «Балқаш көлінің су деңгейін басқарудың гидрологиялық негіздері» гранттық қаржыландыру бағдарламасы негізінде жасалынды.

ӘДЕБИЕТ

- [1] Голомах Ю. В., Сало Ю. А. Структура многолетнего водного баланса озера Пряжинское // Петрозаводск, 2006. – С. 4.
- [2] Методы изучения и расчета водного баланса / Ред. В. С. Вуглинский, Г. С. Клейн и др. – Л., 1981. – С. 201-233.
- [3] Torabi Haghighi A., Bjørn Kløve A sensitivity analysis of lake water level response to changes in climate and river regimes // *Limnologica*. – 2015. – Vol. 51. – P. 118-130. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.02.001>
- [4] Викулина З. А. Водный баланс озер и водохранилищ Советского Союза. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 174 с.
- [5] Шнитников А. В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. – Л.: Наука, 1969. – 246 с.
- [6] Юнусов Г. Р. Водный баланс озера Балкаш // Проблемы водохозяйственного использования р. Или: Сб. науч. работ. – Алма-Ата, 1950. – С. 141-189.
- [7] Жиркевич А. Н. Водный баланс озера Балкаш и перспективы его изменений в связи с использованием водных ресурсов Или-Балкашского бассейна // Труды КазНИГМИ. – М.: Гидрометеиздат, 1972. – Вып. 44. – С. 140-168.
- [8] Курдин Р. Д., Рубинович С. А. Прогноз изменения водного баланса, уровня и минерализации воды оз. Балкаш на ближайшие десятилетия // Труды КазНИГМИ. – М.: Гидрометеиздат, 1975. – Вып. 52. – С. 64-86.
- [9] Голубцов В. В., Жиркевич А. Н. Водный баланс оз. Балкаш и динамика его элементов в естественных условиях и проведении в бассейне водохозяйственных мероприятий // Труды КазНИГМИ. – 1973. – Вып. 50. – С. 153-177.
- [10] Myrzakhmetov A., Dostay Z., Alimkulov S., Tursunova A., Sarsenova I. Level regime of Balkhash Lake as the indicator of the state of the environmental ecosystems of the region // *Paddy and Water Environment*. – 2022. – № 20(3). – P. 315-323. <https://doi.org/10.1007/s10333-022-00890-x>
- [11] Разработка метода составления годового водного баланса оз. Балкаш: Отчет о НИР / РГП «Казгидромет» № ГР 01930010160 / Отв. исполн. С. П. Шиварева. – Алматы, 2005. – 47 с.
- [12] Браславский А. П., Чистяева С. П. Определение исправленных атмосферных осадков по методике ГГО-КазНИИ // Тр. КазНИГМИ. – 1979. – Вып. 65. – С. 3-94.
- [13] Браславский А. П., Остроумова Л. П. Расчет испарения воды с поверхности оз. Балкаш // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. – 1988. – Вып. 101. – С. 52-78.
- [14] Остроумова Л. П. Учет сложной конфигурации при расчете температуры и влажности натекающего воздуха по данным наблюдений на прибрежной метеостанции // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. – Вып. 91. – 1985. – С. 72-75.
- [15] Достай Ж. Д. Управление гидроэкосистемой бассейна озера Балкаш. – Алматы, 2009. – 236 с.
- [16] Достай Ж. Д., Алимкулов С. К., Сапарова А. А. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Ресурсы речного стока. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод юга и юго-востока Казахстана. – Алматы, 2012. – Т. VII, кн. 2. – 360 с.
- [17] Мальковский И. М., Толеубаева Л. С. Трансграничный бассейн озера Балкаш: сценарии сбалансированного водопользования // Материалы II всероссийской научной конференции «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии». – Барнаул, 2014. – С. 337-343.
- [18] Медеу А. Р., Мальковский И. М., Толеубаева Л. С. Арал и Балкаш: зоны реального и потенциального водного кризиса. – 2016. http://www.cawater-info.net/bk/papers_01.htm
- [19] Зонн И. С., Жильцов С. С., Семенов А. В., Костяной А. Г. Трансграничные реки Казахстана и Китая // Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2018. – № 4(27). – С. 82-90.
- [20] Luo L., Gao Y.Q. Current status of policies and laws for sustainable development and utilization of land and water resources along He River and its development strategies // *J. South. Agric.* – 2011. – Vol. 42. – P. 1579-1582.
- [21] Thevs N., Nurtazin S., Beckmann V., Ott K., Imentai A., Baibagysov A. Desertification risks and land use changes in the transboundary Ili river basin, Kazakhstan and China // In Proceedings of the International Disaster and Risk Conference IDRC. – Davos, Switzerland. – 2014.
- [22] Спивак Л. Ф., Муратова Н. Р., Витковская И. С., Батырбаева М. Ж., Алибаев К. У., Модажанов С. Г. Результаты космического мониторинга системы водохранилищ на притоках реки Иле на территории Китая // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни». – Алматы, 2016. – Кн. 1. – С. 424-432.
- [23] Терехов А. Г., Долгих С. А. Геоинформационная система оперативной оценки объема запаса воды в искусственных водохранилищах китайского сектора бассейна реки Иле // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной подведению итогов объявленного ООН десятилетия «Вода для жизни». – Алматы, 2016. – Кн. 1. – С. 170-175.
- [24] Severskiy I., Vilesov E., Armstrong R., et al. Changes in glaciation of the Balkhash–Alakol basin, central Asia, over recent decades // *Annals of Glaciology*. – 2016. – Vol. 57(71). – P. 382-394. <https://doi.org/10.3189/2016AoG71A575>
- [25] Вилесов Е. Н. Изменение размеров и состояния ледников Казахстана за 60 лет (1955-2015 гг.) // Лед и снег. – 2018. – Т. 58, № 2. – С. 159-170. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-2-159-170>
- [26] Қалдыбаев А. А., Yaning Ch. Оценка изменений площади ледников в северной части Жетысуского Алатау на основе данных ДЗЗ // Хабаршы. География сериясы. – 2022. – № 3(66). – С. 4-16. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v66.i3.01>
- [27] Усманова З.С., Капица В.П. Современное оледенение и гляциальные озера бассейна Каратал // *KazNU Bulletin. Geography series*. – 2015. – № 1(40). – С. 255-265.

- [28] Усманова З.С. Оценка изменений ледников бассейнов рек Шарын и Текес (казахстанская часть бассейна реки Иле) по данным космического мониторинга // Вестник КазНУ. Серия геогр. – 2014. – № 1(38). – С. 72-79.
- [29] Shahgedanova M., Afzal M., Severskiy I. et al. Changes in the mountain river discharge in the northern Tien Shan since the mid-20th Century: Results from the analysis of a homogeneous daily streamflow data set from seven catchments // J. Hydrol. – 2018. – No. 564. – P. 1133-1152. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.001>
- [30] Бурлибаев М. Ж., Достай Ж. Д., Мирхашимов И. А., Николаенко Э., Турсунов А. А. Современное экологическое состояние экосистем Иле-Балкашского бассейна. – Алматы, 2009. – 115 с.
- [31] Отчет о деятельности БАБИ за 2014 год. Алматы: Балкаш-Алакольская бассейновая инспекция по регулированию использования и охраны водных ресурсов, 2015. – 341 с.
- [32] Шапиро С. М., Подольный О.В. Подземный сток в озеро Балкаш // Подземный водообмен суши и моря. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – С.128-138.

REFERENCES

- [1] Golomakh Yu.V., Salo Yu.A. The structure of the long-term water balance of Lake Pryazhinskoe. Petrozavodsk, 2006. P. 4 (in Russ.).
- [2] Methods of studying and calculating the water balance / Ed. by V. S. Vuglinsky, G. S. Klein et al. L., 1981. P. 201-233 (in Russ.).
- [3] Torabi Haghighi A., Bjørn Kløve A sensitivity analysis of lake water level response to changes in climate and river regimes // *Limnologica*. 2015. Vol. 51. P. 118-130. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.02.001>
- [4] Vikulina Z. A. The water balance of lakes and reservoirs of the Soviet Union. L.: Hydrometeoizdat, 1979. 174 p. (in Russ.).
- [5] Shnitnikov A. V. Intrasecular variability of the components of total moisture. L.: Nauka, 1969. 246 p. (in Russ.).
- [6] Yunusov G. R. The water balance of Lake Balkash // Problems of water management use of the Ili river: Collection of scientific papers. Alma Ata, 1950. P. 141-189 (in Russ.).
- [7] Zhirkevich A. N. The water balance of Lake Balkash and the prospects of its changes in connection with the use of water resources of the Ili-Balkash basin // Proceedings of KazNIGMI. Moscow: Gidrometeoizdat. 1972. Issue 44. P. 140-168 (in Russ.).
- [8] Kurdin R. D., Rubinovich S. A. Forecast of changes in the water balance, lake water level and mineralization. Balkash for the coming decades // Proceedings of KazNIGMI. Moscow: Gidrometeoizdat, 1975. Issue 52. P. 64-86 (in Russ.).
- [9] Golubtsov V. V., Zhirkevich A.N. The water balance of the lake. Balkash and the dynamics of its elements in natural conditions and conducting water management activities in the basin // Proceedings of KazNIGMI. 1973. Issue 50. P. 153-177 (in Russ.).
- [10] Myrzakmetov A., Dostay Z., Alimkulov S., Tursunova A., Sarsenova I. Level regime of Balkhash Lake as the indicator of the state of the environmental ecosystems of the region // *Paddy and Water Environment*. 2022. No. 20(3). P. 315-323 <https://doi.org/10.1007/s10333-022-00890-x>
- [11] Development of a method for compiling the annual lake water balance. Balkash: Research report / RSE "Kazhydromet" No. GR 01930010160 / Translated by S. P. Shivareva. Almaty, 2005. 47 p. (in Russ.).
- [12] Braslavskiy A. P., Chistyayeva S. P. Determination of corrected atmospheric precipitation by the methodology of the State // Tr. KazNIGMI. 1979. Issue 65. P. 3-94 (in Russ.).
- [13] Braslavskiy A. P., Ostroumova L. P. Calculation of evaporation of water from the lake surface. Balkash // Tr. KazNII Goskomhydromet. 1988. Issue 101. P. 52-78 (in Russ.).
- [14] Ostroumova L.P. Taking into account a complex configuration when calculating the temperature and humidity of the flowing air according to observations at a coastal meteorological station // Tr. KazNII Goskomhydromet. 1985. Vol. 91. P. 72-75 (in Russ.).
- [15] Dostay J.D. Management of the hydroecosystem of the Lake Balkash basin. Almaty, 2009. 236 p. (in Russ.).
- [16] Dostay J.D., Alimkulov S.K., Saparova A.A. Water resources of Kazakhstan: assessment, forecast, management. River flow resources. Renewable resources of surface waters of the south and south-east of Kazakhstan. Almaty, 2012. Vol. VII, book 2. 360 p. (in Russ.).
- [17] Malkovsky I. M., Toleubaeva L. S. Transboundary basin of Lake Balkhash: scenarios of balanced water use // Proceedings of the II All-Russian scientific conference Water and environmental problems of Siberia and Central Asia. Barnaul, 2014. P. 337-343 (in Russ.).
- [18] Medeu A. R., Malkovsky I. M., Toleubaeva L. S. Aral and Balkhash: zones of real and potential water crisis. 2016. http://www.cawater-info.net/bk/papers_01.htm (in Russ.).
- [19] Zonn I.S., Zhiltsov S.S., Semenov A.V., Kostyanov A.G. Transboundary rivers of Kazakhstan and China // Bulletin of the S.Y. Witte Moscow University. Series I: Economics and Management. 2018. No. 4(27). P. 82-90 (in Russ.).
- [20] Luo L., Gao Y.Q. Current status of policies and laws for sustainable development and utilization of land and water resources along Ili River and its development strategies // *J. South. Agric.* 2011. Vol. 42. P. 1579-1582.
- [21] Thevs N., Nurtazin S., Beckmann V., Ott K., Imentai A., Baibagysov A. Desertification risks and land use changes in the transboundary Ili river basin, Kazakhstan and China // In Proceedings of the International Disaster and Risk Conference IDRC. Davos, Switzerland, 2014 (in Russ.).

[22] Spivak L. F., Muratova N. R., Vitkovskaya I. S., Bатырбаева M. Zh., Alibaev K. U., Modazhanov S. G. Results of space monitoring of the reservoir system on the tributaries of the Ile River in China // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to summarizing the results of the UN Decade "Water for Life". Almaty, September 22-24, 2016. Book 1. P. 424-432 (in Russ.).

[23] Terekhov A. G., Dolgikh S. A. Geoinformation system for the operational assessment of the volume of water reserves in artificial reservoirs of the Chinese sector of the Ile River basin // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to summarizing the results of the UN decade Water for Life. Almaty, September 22-24, 2016. Book 1. P. 170-175 (in Russ.).

[24] Severskiy I., Vilesov E., Armstrong R., et al. Changes in glaciation of the Balkhash–Alakol basin, central Asia, over recent decades // Annals of Glaciology. 2016. Vol. 57(71). P. 382-394. <https://doi.org/10.3189/2016AoG71A575>

[25] Vilesov E. N. Change in the size and condition of glaciers in Kazakhstan over 60 years (1955-2015) // Ice and snow. 2018. Vol. 58, No. 2. P. 159-170. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-2-159-170>(in Russ.).

[26] Kaldybaev A. A., Yaning Ch. Assessment of changes in the area of glaciers in the northern part of the Zhetysu Alatau based on remote sensing data // Khabarshy. Geography of the series. 2022. No. 3(66). P. 4-16. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v66.i3.01> (in Russ.).

[27] Usmanova Z. S., Kapitsa V. P. Modern glaciation and glacial lakes of the Karatal basin // KazNU Bulletin. Geography series. 2015. No. 1(40). P. 255-26 (in Russ.).

[28] Usmanova Z. S. Assessment of glacier changes in the Sharyn and Tekes river basins (the Kazakh part of the Ile River basin) according to space monitoring data // Bulletin of KazNU. Geogr series. 2014. No. 1(38). P. 72-79 (in Russ.).

[29] Shahgedanova M., Afzal M., Severskiy I. et al. Changes in the mountain river discharge in the northern Tien Shan since the mid-20th Century: Results from the analysis of a homogeneous daily streamflow data set from seven catchments // J. Hydrol. 2018. 564. P. 1133-1152. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.001>

[30] Burlibaev M. Zh., Dostai Zh. D., I. Mirkhashimov, A., Nikolaenko E., Tursunov A.A. The current ecological state of the ecosystems of the Ile-Balkash basin. Almaty, 2009. 115 p. (in Russ.).

[31] Report on BABI's activities for 2014. Balkhash-Alakol Basin Inspectorate for the Regulation of the Use and Protection of Water Resources. Almaty, 2015. 341 p. (in Russ.).

[32] Shapiro S. M., O.V.Podolny. Underground runoff into Lake Balkash // Underground water exchange of land and sea. L.: Gidrometeoizdat, 1984. P. 128-138 (in Russ.).

**С. К. Алимкулов¹, А. Б. Мырзахметов², Э. К. Талипова³,
Г. Р. Баспакова^{*4}, М. А. Канай⁵, Д. А. Рустем⁶**

¹ К. г. н., ассоциированный профессор, заместитель председателя правления
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; sayat.alimkulov@mail.ru)

² PhD, старший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; ahan.myrzahmetov@mail.ru)

³ PhD, старший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; elmira_280386@mail.ru)

^{4*} PhD, старший научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; sharafedenova@mail.ru)

⁵ Докторант, младший научный сотрудник (КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии
и водной безопасности», Алматы, Казахстан; makpal_994@mail.ru)

⁶ Магистрант, ведущий инженер (КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии и
водной безопасности», Алматы, Казахстан; rustem.darkhan@mail.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНОГО БАЛАНСА ОЗЕРА БАЛКАШ С УЧЕТОМ ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И КРУПНЫХ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В БАССЕЙНЕ

Аннотация. Исследован водный баланс озера Балкаш с учетом влияния климатических изменений и антропогенных факторов, таких, как трансграничный характер реки Иле и водохозяйственная деятельность в регионе. Представлены многолетние данные наблюдений за стоком рек, атмосферными осадками и испарением, а также оценено влияние регулирования речного стока на динамику водного баланса. Установлен водный баланс озера Балкаш с 1947 по 2021 год. По результатам расчетов средний поверхностный сток озера составил 14,5 км³/год, осадки – 3,42 км³/год, испарение – 17,5 км³/год, обмен подземных вод – 0,38 км³. Результаты могут быть использованы для разработки стратегий устойчивого управления водными ресурсами Балкаш-Алакольского бассейна.

Ключевые слова: водный баланс, приход, расход, речной сток, атмосферные осадки, испарение.

S. K. Alimkulov¹, A. B. Myrzakhmetov², E. K. Talipova³,
G. R. Baspakova*⁴, M. A. Kanay⁵, D. A. Rustem⁶

¹ Candidate of Geographical Sciences, associate Professor, Deputy Chairman of the Board
(JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; *sayat.alimkulov@mail.ru*)

² PhD, Senior Researcher (JSC «Institute of Geography and water security»,
Almaty, Kazakhstan; *ahan_myrzahmetov@mail.ru*)

³ PhD, Senior Researcher (JSC «Institute of Geography and water security»,
Almaty, Kazakhstan; *elmira_280386@mail.ru*)

^{4*} PhD, Senior Researcher (JSC «Institute of Geography and water security»,
Almaty, Kazakhstan; *sharafedenova@mail.ru*)

⁵ Doctoral student, junior researcher (Al-Farabi Kazakh National University,
JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; *makpal_994@mail.ru*)

⁶ Master, Leading Engineer (Al-Farabi Kazakh National University,
JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; *rustem.darkhan@mail.ru*)

WATER BALANCE OF LAKE BALKHASH, TAKING INTO ACCOUNT THE MAIN CLIMATIC FACTORS AND MAJOR WATER MANAGEMENT ACTIVITIES IN THE BASIN

Abstract. The article studies the water balance of Lake Balkhash taking into account the influence of climatic changes and anthropogenic factors such as the transboundary character of the Ile River and water management activities in the region. Long-term observation data on river runoff, precipitation and evaporation are presented, and the influence of river runoff regulation on water balance dynamics is assessed. The study calculated the water balance of Lake Balkhash in the period from 1947 to 2021. According to the results of calculations, the average surface runoff of the lake was 14.5 km³/year, precipitation – 3.42 km³/year, evaporation – 17.5 km³/year, groundwater exchange – 0.38 km³. The results obtained can be used to develop strategies for sustainable water resources management in the Balkash-Alakol basin.

Keywords: water balance, arrival, flow, river runoff, precipitation, evaporation.