

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-2-21-29.17>

FTAMP 37.27.03

37.27.17

37.27.21

ӨОЖ 556.55; 556.51

С. К. Алимкулов¹, А. Б. Мырзахметов², Г. Р. Баспакова^{*3},
Д. Ә. Рүстем⁴, А. Р. Загидуллина⁵, Г. Исақан⁶

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; sharafedenova@mail.ru)

⁴ Магистрант, жетекші инженер (Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, «География және су қауіпсіздігі институты»
АҚ, Алматы, Қазақстан; rustem.darkhan@mail.ru)

⁵ Ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;
zagidullina_a_88@mail.ru)

⁶ Ғылыми қызметкер («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан;
caira_t1412@mail.ru)

БАЛҚАШ КӨЛІНІҢ БАТЫС ЖӘНЕ ШЫҒЫС БӨЛІКТЕРІ АРАСЫНДАҒЫ СУ АЛМАСУДЫҢ ӨЗГЕРГІШТІГІ

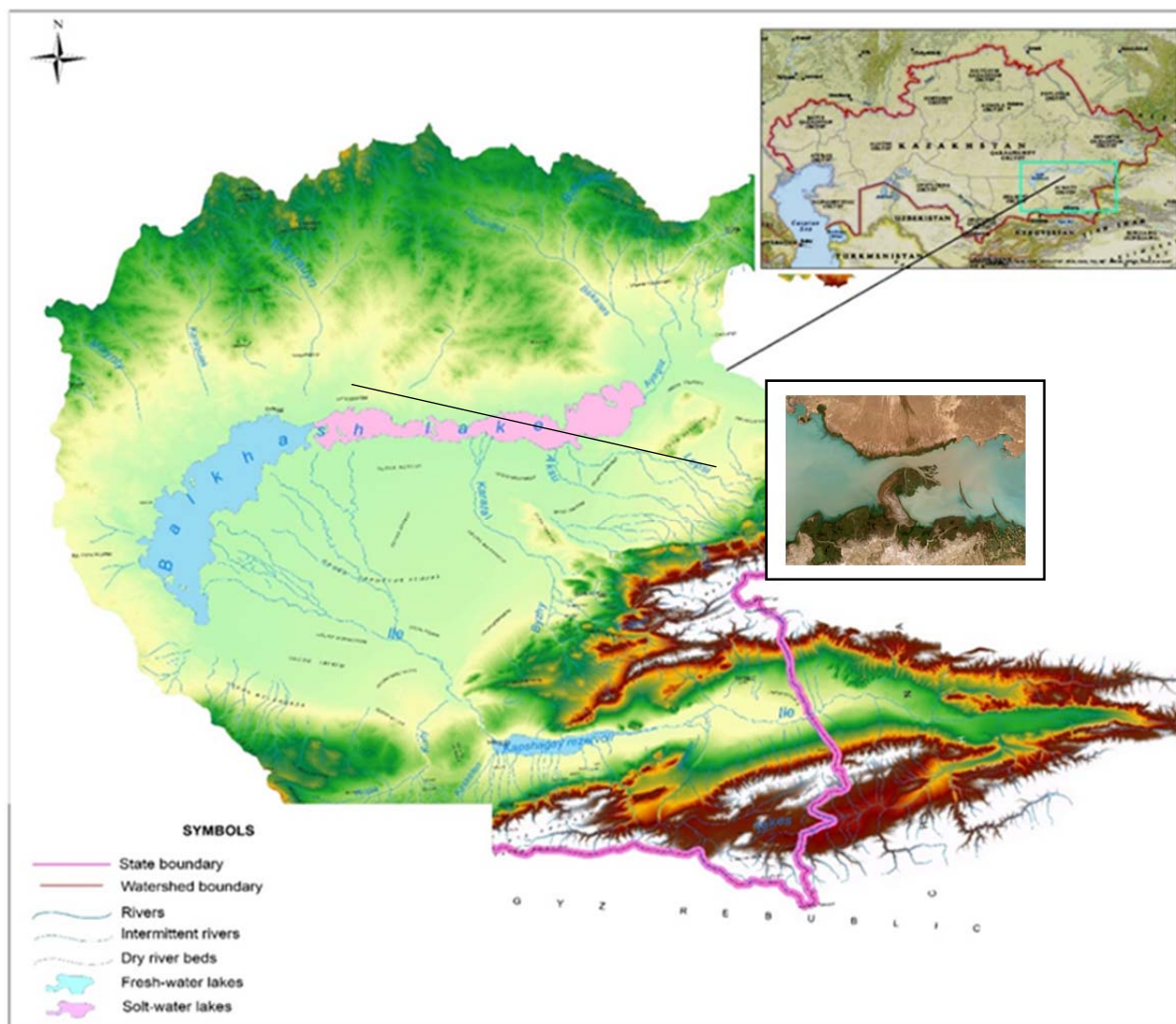
Аннотация. Мақалада 2024 жылы жүргізілген далалық гидрометриялық бақылаулар негізінде Балқаш көлін батыс және шығыс бөліктерге бөліп тұрған Ұзынарал бұғазындағы тұстамада су ағынының жылдамдығы мен көлемінің өзгергіштігі қарастырылады. Зерттеу барысында гидродинамикалық үдерістердің кеңістіктік-уақыттық заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік беретін бұғаздағы су өтімін өлшеуді қамтыды. Бұл өлшеулерге тұстамадағы судың бағытын, жылдамдығын, арнаның көлденең қимасын жатқызуға болады. Ағындының заңдылығын анықтау үшін, оның динамикасына әсер ететін метеорологиялық факторларға, соның ішінде атмосфералық қысымға, желге және ауа температурасына ерекше назар аударылады. Алынған деректерді талдау нәтижесінде су ағынының бағыты мен қарқындылығы осы факторларға тәуелді екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелерін Балқаш көлінің гидродинамикасын модельдеуге, су деңгейі режимі мен оның тендестігінің өзгеруін болжауға, сонымен қатар су жинау алабындағы өзен ағындысын басқару стратегияларын әзірлеу үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: су ағыны, Ұзынарал бұғазы, гидродинамика, ағын жылдамдығы, экспедициялық зерттеулер, су алмасу, өлшеу жұмыстары.

Кіріспе. Балқаш көлі дүние жүзіндегі ірі ішкі табиғи су айдындарының бірі болып табылады, оның сақталып қалуы Іле және Жоңғар Алатауынан бастау алатын өзен суына тәуелді [1]. Көлдің ерекшелігі болып, оның суының химиялық құрамы Іле өзені құятын батыс бөлігінде тұщы, ал шығыс бөлігінде судың жоғары минералдануымен сипатталып екі бөлікке бөлінуінде. Ұзынарал бұғазы осы бөліктердің арасындағы су алмасуда маңызды рөл атқарады [2-4]. Көлдегі судың тепе-теңдігіне әсер ететін Ұзынарал бұғазындағы су ағынының алмасу қарқындылығы көл деңгейінің маусымдық өзгерістерде айқын байқалады. Сонымен қатар, Балқаш көлінің екі бөлігінің арасындағы су алмасудың жағдайына әсер ететін маңызды факторлардың бірі – жергілікті барико-айналым жағдайларымен анықталатын аумақтағы жел режимі болып табылады.

Балқаш-Алакөл су жинау алабының таулы аймақтарында тау-аңғарлық желдер байқалса, Балқаш, Алакөл және Сасықкөл көлдерінің жағалау аймақтарында бриз желдері соғады. Солтүстік және оңтүстік Балқаш жағалауындағы жазық аймақтарда солтүстік-шығыс желінің күші басым. Желдің орташа жылдық жылдамдығы 1,5–2 м/с құрайды, ал максималды мөлшері сәуір-мамыр айларында байқалады [5, 6].

Балқаш көліндегі су алмасу заңдылықтарын зерттеу мақсатында жылдың әр мезгілінде жүргізілген далалық өлшеу жұмыстары Ұзынарал бұғазы арқылы өтетін су алмасудың ерекше-



1-сурет – Зерттеу нысаны

Figure 1 – Object research

ліктерін айқындайтын мәліметтер жинақтауға мүмкіндік берді. 1-суретте зерттеу нысанының орналасу карта-схемасы келтірілген.

Ұзынарал бұғазы Балқаш көлінің батыс және шығыс бөліктері арасындағы су алмасуды реттейтін маңызды гидрологиялық құрылым болып табылады және одан ағып өтетін судың өтіміне әдетте бірнеше күрделі факторлардың әсері байқалады: жел, толқындық үдерістер, сейш тербелістері, су ағыны мен көлдегі су тығыздығының айырмашылығы. Алайда, су тығыздығының ағынға әсері шамалы екені байқалады, өйткені гидрохимиялық және термиялық зерттеулердің деректері Батыс пен Шығыс Балқаш арасындағы өтпелі аймақта су температурасы мен оның минералдануының шамасында күрт өзгерістерін анықтамаған [7, 8]. Сонымен қатар, бұғаздағы ағынды сулардың жылдамдығы төмен. Егер жарияланған деректерге сүйенетін болсақ, онда Батыс Балқаштан шығысқа бағыттағы су ағынының жылдық көлемі $1-3 \text{ км}^3$ шамасында бағаланады. Осыған сүйене отырып, Ұзынарал бұғазындағы ағынның орташа жылдамдығы шамамен $2-6 \text{ м/с}$ болуы керек, алайда бұғазда жүргізілген нақты өлшемдер ағынның жылдамдығы әдетте $0,1-0,2 \text{ м/с}$ диапазонында өзгеретінін көрсетеді [9-11]. Ағыс жылдамдығы уақыт өте келе өзгеріп, сейш және жел процестерінің әсерінен болатын синусоидалы тербелістерден болатыны байқалады. Бұл жағдайда көл суының қозғалысы Шығыс және Батыс бағытта өзгергергіштігін метеорологиялық факторлардың әсерінен болатын заңдылықты анықтауды талап етеді.

Зерттеу әдістері мен материалдары. Балқаш көліне келіп түсетін су көздерінің барлығы дерлік булануға жұмсалады және Ұзын-Арал бұғазы арқылы Балқаштың батыс және шығыс бөліктері арасындағы күрделі су алмасу жағдайында оларда әртүрлі тұз режимдері мен судың минералдану дәрежесінің айырмашылығы байқалады. Көлдің шығыс бөлігінде судың минералдануы 4 г/л-ден асады, ал батыс бөлігіне құятын Іле өзенінің салыстырмалы түрде әлсіз минералданған суларының әсерінен батыс бөлігі тұщы. Бұл бөліктегі судың минералдануы 0,5-1,5 г/л аспайды. Жыл сайын Балқаш көлінің батыс бөлігінен шығыс бөлігіне Ұзынарал бұғазы арқылы судың айтарлықтай көлемі ағып келеді. Бірақ бұғазда батыстан шығысқа қарай тұрақты ағыс болмағанына қарамастан, батыстан шығысқа қарай жылжыған су көлемі шығыстан батысқа қарағанда көбірек болып келеді. Орташа алғанда бұл ағындардың айырмашылығы жылына 1,15 км³ құрайды. Су алмасудың қарқындылығы (ағынның көлемі) ағынға байланысты динамикалық сипатқа ие және көлдің батыс бөлігінің минералдану жағдайына әсер етеді. Балқаш көлінің екі бөлігі арасындағы тепе-теңдік ағынын зерттеген ғалымдар көп емес, дегенмен XX ғасырдың 30-шы жылдарының басынан 80-ші жылдарының аяғына дейін жүргізілген зерттеулердің белгілі нәтижелері бар. Бұрын жүргізілген зерттеулердің нәтижесіне сүйене отырып [12-20], Балқаш көлінде мұз жамылғысы болмайтын кезеңде әртүрлі табиғатына сай пайда болатын ағындардың әрекет ететіні белгілі болды. Ағындардың қалыптасуындағы тұрақты себеп ретінде, әдетте, өзен суларының келуі аталып өтеді [21, 22], ал уақытша фактор ретінде су бетіне желдің әсері мен соған байланысты су деңгейінің көтерілуі мен төмендеуі (сгон-нагон) көрсетіледі. Аталған факторлардың бірлескен әрекетінің нәтижесінде пайда болған ағындардың жылдамдығы, мысалы, Г. Р. Юнусовтың мәліметтері бойынша, Батыс Балқаштың кең бөліктерінде 0,2-0,3 м/с, ал тар тұстарында 0,8-1,2 м/с-қа дейін жетеді. Шығыс және Батыс Балқаш сулары Ұзынарал бұғазынан өтіп, тек қайталама-ауыспалы жылжып қана қоймай, сонымен қатар Сарыесік түбегінің шығысында да, батысында да орналасқан айналымға қатысатындығы су алмасуының өзіне тән ерекшелігі болып табылады. Нәтижесінде, Шығыс Балқаш суларының басым ауысуы Ұзынарал бұғазынан оңтүстік-батыс бағытта, ал Батыс Балқаш суларының басым ауысуы Ұзынарал бұғазынан оңтүстік-шығыс бағытта, яғни айналымдардың орналасуына сәйкес келеді. Айналымдардың болуы сулардың айтарлықтай көлденең араласуына ықпал етеді [10].

Балқаш көліндегі жиынтық ағындарды қалыптастыратын негізгі ағын түрлеріне жоғарыда қарастырылған сейшалық, желдік, толқындық, тығыздыққа байланысты ағындар жатады. Аталған әрбір ағын түрі тұрақталған күйде, даму немесе бәсеңдеу кезеңінде болуы мүмкін. Желдік ағын, сонымен қатар, дрейфтік - яғни жел бағытымен бағытталған, және компенсациялық – яғни желге қарсы бағытта әсер ететін ағыс түрінде болуы мүмкін.

Табиғи өлшеу деректері арқылы қандай да бір ағын түрін жеке дара зерттеу мүмкін болмағандықтан, бұл жерде және төменде келтірілетін барлық әдеби деректер мен соңғы жылдары жүргізілген далалық зерттеулер нәтижелері жиынтық ағын ретінде қарастырылады.

Сейштік және желдік ағындар арқылы мұз жамылғысы жоқ кезеңде судың жиынтық тасымал көлемі негізінен 130–150 км³ мөлшерінде болады, ал ең жоғары мәні 170 км³-ге дейін жетеді.

Мұз жамылғысы жоқ кезеңде Ұзынарал бұғазы арқылы сейштік және желдік ағындармен су тасымалының есептік көлемі 60 км³-ге тең болған, бұл осы учаске бойынша тікелей өлшеулер негізінде алынған көлемнен небәрі 7,5%-ға ғана артық [23].

Бұл жұмыста негізгі зерттеу әдісі ретінде гидрометриялық өлшеулер қолданылды. Далалық өлшеу мәліметтерін жинау мақсатында География және су қауіпсіздігі институтының қызметкерлері жылдың әр мезгілінде (қыста, жазда және күзде) жүйелі зерттеу жұмыстарын жүргізді.

Атап айтқанда, алғашқы далалық өлшеу жұмыстары 2022 жылдың 19 қыркүйегі мен 12 қазаны аралығында өтті. Кейінірек, 2024 жылы келесі кезеңдерде қайталама экспедициялар ұйымдастырылды:

10-15 ақпан;

19 тамыз – 27 қыркүйек;

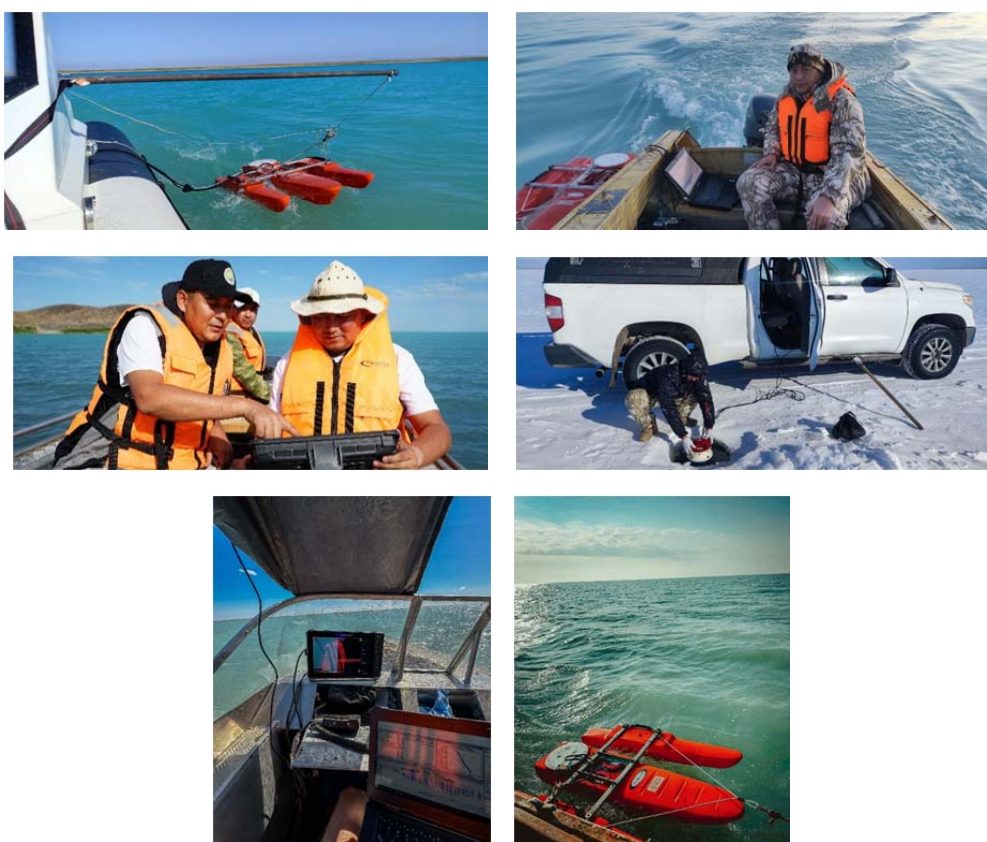
19-22 қараша.

2024 жылы жүргізілген зерттеу жұмыстары Ұзынарал бұғазы тұстамасында ғылыми-зерттеу жобаның міндеттерін орындауға бағытталды. Экспедиция барысында су бетінің гидрометеорологиялық жағдайын жүйелі бақылау мақсатында гидрометриялық тұстама белгіленіп, су ағынының жылдамдығын, су деңгейінің өзгерісін және белгілі бір уақыт ішінде өтетін су көлемін

өлшеу жұмыстарын жүргізді. Сонымен қатар, желдің әсерінен пайда болатын толқындар режимі мен көлдегі ағындардың жалпы сипаттамалары зерттелді.

2024 жылғы экспедициялық өлшеу жұмыстары 19 тамыз бен 27 қыркүйек аралығында ағынның орташа жылдамдығы 0,01–0,46 м/с-ты тіркеді, бұл тіркелген максималды мәндерден едәуір төмен (3,63 м/с дейін). Бұл сыртқы метеорологиялық факторларға да, су айналымының жергілікті ерекшеліктеріне де байланысты бұғаздағы гидродинамикалық жағдайлардың айқын өзгергіштігін көрсетеді. Бұғаздағы ағындар су алмасу кезеңдеріндегі жылдамдықтар мен бағыттардың айтарлықтай өзгеруімен сипатталады. Тұстамадағы ағынның бағыты 90°-тан 180°-қа дейін өзгеруі мүмкін, бірақ мұндай жағдайлар әдетте қысқа уақытқа созылады. Бағыты мен жылдамдығы тұрақсыз ағындар айтарлықтай және күшті дауылдар кезінде айқын байқалады, бірақ әлсіз сейш немесе компенсаторлық ағындардың әсерінен де көл ағынының өзгермелілігі әрдайым қозғалыста екенің өлшеу жұмыстары кезінде анықталды.

Гидрометриялық өлшеулер "Rio Grande" маркалы Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) класына жататын жоғары дәлдіктегі заманауи акустикалық профилографтың көмегімен жүргізілді (2-сурет).

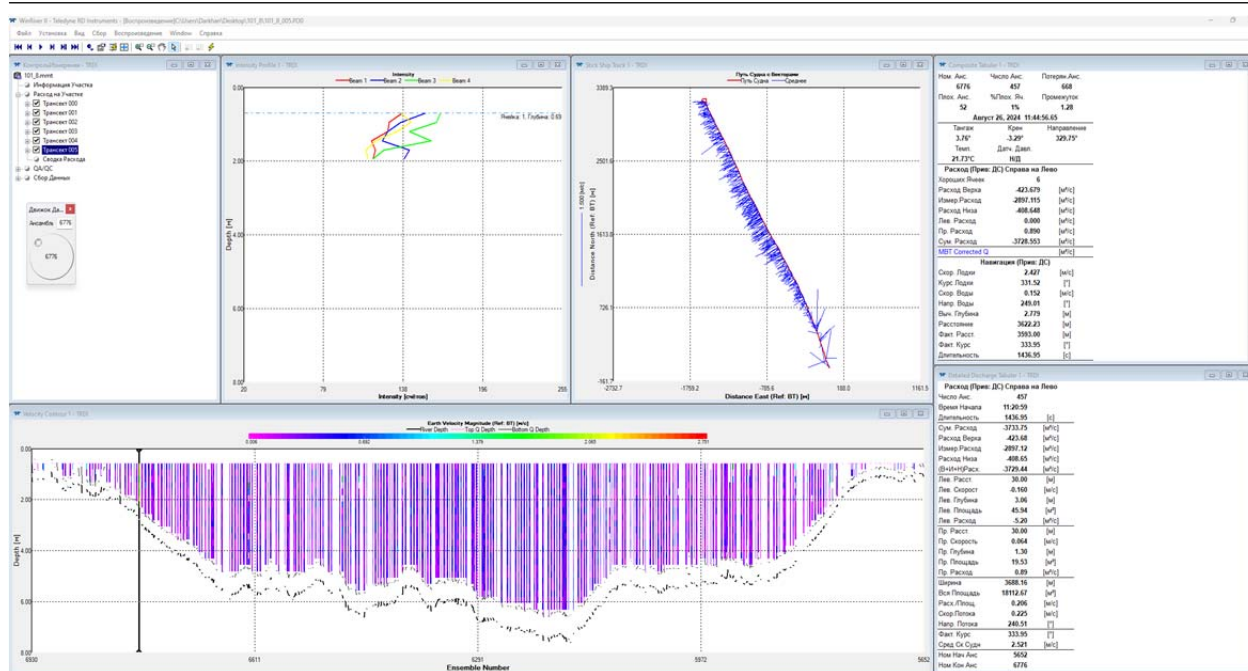


2-сурет – Ұзынарал бұғазындағы далалық өлшеу жұмыстары
Figure 2 – Field Measurement Surveys in the Uzynaral Strait

Бұғаздың көлденең қимасында өлшеу жұмыстарын жүргізу кезінде келесі элементтер анықталды:

- Қима сызығы бойымен бүкіл ені бойынша тереңдік өлшеніп, қимыл көлденең қиманың ауданы есептелді.
- Өлшенген ағын жылдамдықтарының негізінде аралықтардың орташа және ең жоғарғы жылдамдықтары мен судың бағыты анықталды.

Өлшеу жұмыстары кезінде профилограф "Rio Grande" құрылғысын WinRiver II бағдарламалық тілімен тікелей басқару арқылы өлшенді. WinRiver II бағдарламалық тілі өлшеу кезіндегі өзгерістерді байқауға және өлшеу мәліметтерін қабылдап өңдеу мен визуализациялауға мүмкіндік берді (3-сурет).



3-сурет – Ұзынарал бұғазының WinRiver II бағдарламасындағы көлденең кимасы

Figure 3 – Cross-Section of the Uzynaral Strait in the WinRiver II Software

Бұл құралдар арқылы тұстамада жалпы саны 55 гидрометриялық өлшеулер жүргізіліп әр түрлі уақытта ағыс жылдамдығы мен оның бағытын нақты анықтауға мүмкіндік берді. Жиналған мәліметтер бұғаздың гидрологиялық ерекшеліктерін бағалауға, сондай-ақ көлдегі су алмасу процестерін болжауға маңызды негіз болып табылады.

Нәтижелер мен талқылаулар. Балқаш көлінің батыс және шығыс арасындағы ағынның тепе-теңдігімен бірнеше ғалымдар айналысқан, XX ғасырдың 30-80 жылдардың аяғына дейін жүргізілген зерттеулер белгілі нәтижелер көрсеткен. Сонымен, жекелеген ғалымдар (Р. Д. Курдин және С. А. Рубинович) жыл сайынғы тепе-теңдік ағынымен қатар жел ағындарының әсерінен болатын ағын бар деген қорытындыға келген, оның мәні екі бағытта да шамамен $78,2 \text{ км}^3/\text{жыл}$ [24] өзгергіштігін анықтаған. Табиғи бақылау материалдары бұл шаманың нақты мәнге жақын екенін растайды. Г. Р. Юнусова мәліметтері бойынша, Ұзынарал бұғазындағы ағынды жылдамдығы екпінді желдің басында $1,07\text{-}0,85 \text{ м/с}$ болса, толқынның соңында $0,21 \text{ м/с}$ дейін ауытқиды. Жел басылғаннан кейін пайда болған сейштік ағындар жылдамдығы $0,25\text{-}0,27 \text{ м/с}$ болды десе, «Гидроэнергопроект» Ленинград филиалының мәліметі бойынша бұғаздағы ең жоғары жылдамдық 1954-1955 жж. $0,51 \text{ м/с}$, ал орташа жылдамдық $0,19 \text{ м/с}$ шамасында болған. БГМО деректері бойынша бұғаздағы су өтімі солтүстік-шығыстан соққан желдің күші $3\text{-}7 \text{ м/с}$ болған кезде $3600\text{-}5400 \text{ м}^3/\text{с}$ құрап, оңтүстік-батыстан соққан желмен $11300 \text{ м}^3/\text{с}$ жететіндігін есептеген [25].

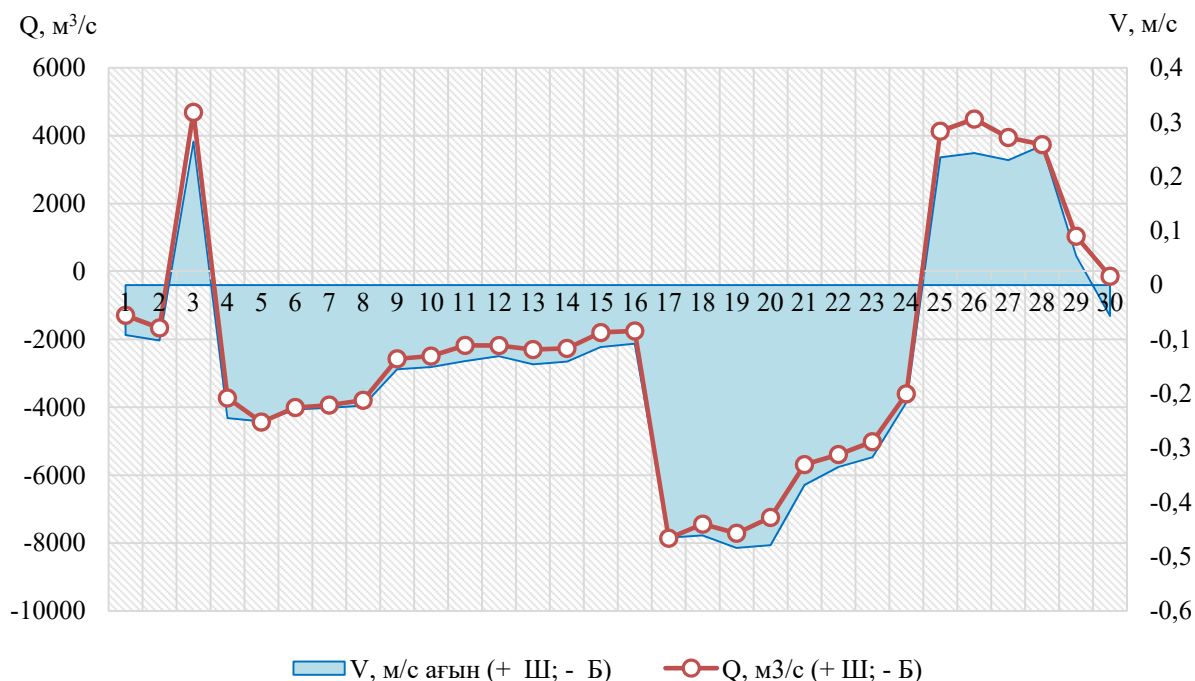
Далалық өлшеулердің нәтижелері. Экспедициялық жұмыстар жүргізу барысында Ұзынарал бұғазында Балқаш көлінің батыс және шығыс бөліктері арасындағы су ағынына 30 рет өлшеу жүргізілді. Бұндай зерттеулер көлдің су теңдестігін бағалауға, экожүйелік басқару мен су деңгейінің өзгеруінің қоршаған ортаға әсерін болжауда үлкен маңызға ие.

Далалық өлшеулердің нәтижесі бойынша Ұзынарал бұғазындағы су ағынының мөлшері бағытына қарай өзгеріп отырады. Олар батыс бағытта 138-ден 7858 м³/с-қа дейін, ал шығыс бағытта 1040-тан 4689 м³/с-қа дейін жетеді. Өлшемдер іс жүзінде бірдей су тереңдігінде жүргізілді, ол 7,02-ден 7,87 метрге дейінгі аралықты құрады.

Тәулік ішінде ағымдағы жылдамдықтың айтарлықтай өзгеруі байқалды. Су ағынының максималды жылдамдығы 3,63 м/с-қа дейін, орташа жылдамдықтары 0,07–0,458 м/с аралығында болды. Ағынның жылдамдығы күндізгі уақытта өзгеретіні атап өткен жөн: таңертеңнен түске дейін, содан кейін күннің екінші жартысынан кешке дейінгі өзгерістер. Бұл өзгерістер метеорологиялық факторлардың, соның ішінде атмосфералық қысымның, температураның және әсіресе жел бағытының ауытқуларына байланысты.

Ұзынарал бұғазында іс жүзінде нөлден 7,86 мың м³/с дейін су өтімінің кең ауқымды өзгерістері байқалатын өлшеулермен қамтылды. Бұл деректер ҚазКСР ГМС Брис экспедициясы жүргізген өлшеулер нәтижелерімен қанағаттанарлық түрде сәйкес келеді және оларды айтарлықтай толықтырады [9-11]. Көлдің іргелес бөліктері арасындағы су алмасудың нақты шамалары су теңдестігін есептеу арқылы алынғандардан едәуір үлкен. Жалпы су алмасудың абсолютті мәндері жел ағындарымен судың тасымалдануын есепке алу негізінде алынған шамаларға (екі бағытта да Ұзынарал бұғазы арқылы жылына 71-213 км³) жақын мәнге ие [24].

Ағын жылдамдығы мен су өтімінің байланысы. 4-суретте Ағын жылдамдығы мен су өтімінің өзара байланыс графигі көрсетілген. График деректері бұл екі параметр арасында **тікелей тәуелділік** бар екенін көрсетеді. Уақыт аралығында ағын бағыты бірнеше рет өзгеріп, кейбір кезеңдерде шығысқа (оң мәндер), ал кейбірінде батысқа (теріс мәндер) бағытталған.



4-сурет – Ағын жылдамдығы мен су өтімінің байланыс графигі
Figure 4 – Graph of the Relationship Between Flow Velocity and Discharge

Ағын жылдамдығы мен су өтімінің өзгерістері бір-біріне сәйкес келіп, олардың арасында тікелей тәуелділік бар екенін көрсетеді. Бұл жағдай көлде сейштік, желдік немесе тығыздыққа байланысты ағыс түрлерінің әсер етуі мүмкін екенін көрсетеді.

Бақылауларға сүйене отырып, желдің жиынтық ағындарды қалыптастыруда негізгі шешуші факторлардың бірі екені анықталды. Желдің әсерінен пайда болатын дрейфтік және компенсациялық ағындар көлдегі су массаларының қозғалысына тікелей ықпал етіп, жиынтық ағынның бағыты мен қарқындылығын анықтайды. Қарқынды желдер су ағынының бағытын өзгертеді, бұл Балқаш көлінің гидродинамикасы және оның батыс және шығыс бөліктері арасындағы ағын үшін ерекше маңызды. Бұл зерттеу нәтижелері көлдегі су массаларының өзгергіштігін одан әрі модельдеу және ауа райы жағдайына байланысты ондағы су деңгейінің өзгеруіне болжау үшін пайдалы болады.

Қорытынды. Зерттеу нәтижелері Ұзынарал бұғазындағы су ағымының динамикасы күрделі кеңістіктік-уақыттық өзгерістерге ұшырайтынын көрсетті. Далалық гидрометриялық өлшеулер негізінде ағын жылдамдығы мен су өтімінің маусымдық және тәуліктік ауытқуларға бейім екені анықталды, бұл көбінесе желдің жылдамдығы мен бағыты, атмосфералық қысым мен температуралық жағдайлар сияқты метеорологиялық факторлардың ықпалымен түсіндіріледі. Ағын жылдамдығы мен су көлемінің арасындағы тәуелділік талдауы бұғаздағы су алмасу процестерінің жел әсеріне жоғары сезімтал екенін дәлелдеді. Сонымен қатар, жүргізілген өлшеулер бұғаз арқылы

өтетін су көлемінің жыл мезгілдеріне қарай айтарлықтай өзгеретінін көрсетіп, Балқаш көлінің су деңгейіне ықпал етуі мүмкін екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелері Ұзынарал бұғазының гидродинамикалық моделін құру, көл деңгейінің болашақ өзгерістерін болжау және аймақтағы су ресурстарын тиімді басқару стратегияларын әзірлеу үшін маңызды ғылыми негіз бола алады. Бұдан бөлек, алынған мәліметтер өңірдегі экожүйелік тепе-теңдікті сақтау және су пайдалану тиімділігін арттыру мақсатында қолданылуы мүмкін.

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

ӘДЕБИЕТ

- [1] Проблемы гидроэкологической устойчивости в бассейне озера Балхаш / Под ред. А. Б. Самаковой. – Алматы: Издательство "Каганат", 2003. – 9 с.
- [2] 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 Water Environ. – 2022. – Vol. 20. – P. 315-323. <https://doi.org/10.1007/s10333-022-00890-x>
- [3] Турсунов Э. А. Обоснование возможной отметки, при которой произойдет расчленение оз. Балхаш // Научные статьи. – 2015. – № 4. – С. 61-65.
- [4] Турсунов Э. А., Мадиебеков А. С., Кулебаев К. М. Современные морфометрические характеристики оз. Балхаш. // Ученые записки. – 2014. – № 34. – С. 43-47.
- [5] Достай Ж. Д. Управление гидроэкосистемой бассейна озера Балхаш. – Алматы, 2009. – 449 с.
- [6] Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 13. Центральный и Южный Казахстан. Вып.2. Бассейн озера Балхаш. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 645 с.
- [7] Курдин Р. Д., Рубинович С. А., Внутриводоемный водо- и солеобмен и его роль в распределении минерализации воды по длине оз. Балхаш // Тр. КазНИГМИ. – 1975. – Вып. 52. – С. 40-63.
- [8] Браславский А. П., Чистяева С. П. Определение исправленных атмосферных осадков по методике ГГО // Труды КазНИГМИ. – 1979. – Вып. 65. – С. 3-94.
- [9] Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балкаш и Прибалкашья. – СПб.: Гидрометеоздат, 1995. – 269 с.
- [10] Многолетние колебания и изменения водного баланса и уровня оз. Балкаш и возможные модели их оценки прогноза на перспективу: дополнение к промежуточному отчету ГГИ по теме III. 23.03. Задание 10.02. Проблемы 0.85.01. плана ГКНТ. – Л., 1984. – 58 с.
- [11] Многолетние колебания и изменения водного баланса и уровня оз. Балкаш, возможные модели их оценки и прогноза на перспективу: Дополнение к промежуточному отчету о НИР «Дать оценку современной и прогнозной динамики гидрологического режима озера Балкаш, Каспийского и Аральского морей: (Сводный отчет за 2009–2011 гг.)». – Алматы, 2011. – 250 с.
- [12] Дуйсенов С. Т. Характеристика ветрового режима и карта результирующих ветровых полей над оз. Балхаш // Труды КазНИГМИ. 1980. – Вып. 55. – С. 92-111.
- [13] Исследование течений в озерах и водохранилищах (практическое пособие). – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 320 с.
- [14] Судольский А. С. Структура ветровых течений и методика их расчета: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – 1982. – 34 с.
- [15] Судольский А. С. Ветровые течения на некоторых водоемах ограниченных размеров // Труды ГГИ. – 1969. – Вып. 196. – С. 123-159.
- [16] Судольский А. С. Некоторые черты и режимные характеристики течений в западной части озера Балхаш и проливе Узынарал // Труды II Всесоюз. конференции «Динамика и термика рек, водохранилищ и эстуариев»: Тезисы докл. – М., 1984. – Т. 1. – С. 136-137.
- [17] Фомин Л. М. Об инерционных колебаниях в горизонтально-неоднородном поле скорости течения в океане // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. – 1979. – Т. 9, № 1. – С. 147-157.
- [18] Алимкулов С. К., Мырзахметов А. Б., Турсунова А. А., Таиров А. З., Болатов К. М. Особенности перетока воды в проливе Узынарал озера Балкаш // География и водные ресурсы. – 2022. – № 4. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2022-4-27-35.21>.
- [19] Турсунов Э. А., Мадиебеков А. С., Кулебаев К. М. Современные морфометрические характеристики оз. Балкаш // Ученые записки РГТМУ. – СПб., 2014. – С. 43-48.
- [20] Современное экологическое состояние бассейна озера Балхаш / Под ред. Кудекова. – Алматы: Изд-во «Канагат», 2002. – 388 с.
- [21] Домрачев П. Ф. Окончание гидрологических работ Балхашской научно-промысловой экспедиции в 1931 году // Изв. ГГИ. – 1931. – Т. 38. – С. 42-49.
- [22] Юнусов Г. Р. Гидрологический режим оз. Балхаш // III Всесоюз. гидрол. съезд. – Л., 1959. – С. 192-200.
- [23] Соколова А. А. Гидрологические и водохозяйственные аспекты Или-Балхашской проблемы. – 1989. – С. 155-199.
- [24] Курдин Р. Д., Рубинович С. А. Прогноз изменения водного баланса, уровня и минерализации воды оз. Балкаш на ближайшие десятилетия // Труды КазНИГМИ. – М.: Гидрометеоздат, 1975. – Вып. 52. – С. 64-86.
- [25] Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 13, вып. 2. Бассейн оз. Балкаш. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 652 с.

REFERENCES

- [1] Problems of hydroecological sustainability in the Lake Balkhash basin / Edited by A.B. Samakova. Almaty: Publishing House "Kaganat, 2003. 9 p. (in Russ.).
- [2] Myrzakhmetov A., Dostay Z., Alimkulov S., Tursunova A., Sarsenova I. Level regime of Balkhash Lake as an indicator of the state of the environmental ecosystems of the region // Paddy Water Environ. 2022. Vol. 20. P. 315-323. <https://doi.org/10.1007/s10333-022-00890-x>
- [3] Tursunov E. A. Justification of a possible mark at which Lake Balkhash will be dissected // Scientific articles. 2015. No. 4. P. 61-65 (in Russ.).
- [4] Tursunov E. A., Madibekov A. S., Kulebayev K. M. Modern morphometric characteristics Lake Balkhash. // Scientific notes. 2014. No. 34. P. 43-47 (in Russ.).
- [5] Dostai Zh.D. Management of the hydroecosystem of Lake Balkhash basin. Almaty, 2009. 449 p. (in Russ.).
- [6] Surface water resources of the USSR. Vol. 13. Central and Southern Kazakhstan. Issue 2. Lake Balkhash basin. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 645 p. (in Russ.).
- [7] Kurdin R. D., Rubinovich S. A., Intra-reservoir water and salt exchange and its role in the distribution of water mineralization along the length of Lake Balkhash // Proceedings of KazNIGMI. 1975. Issue 52. P. 40-63 (in Russ.).
- [8] Braslavsky A. P., Chistyayeva S. P. Determination of corrected atmospheric precipitation using the GGO method // Proceedings KazNIGMI. 1979. Issue. 65. P. 3-94 (in Russ.).
- [9] Actual problems of hydrometeorology of Lake Balkhash and the Balkhash region. SPb.: Gidrometeoizdat, 1995. 269 p. (in Russ.).
- [10] Long-term fluctuations and changes in the water balance and level of Lake Balkhash and possible models for their assessment and forecast for the future: Supplement to the interim report of the State Hydrometeorological Institute on topic III. 23.03. Task 10.02. Problems 0.85.01. of the State Committee on Science and Technology. L., 1984. 58 p. (in Russ.).
- [11] Long-term fluctuations and changes in the water balance and level of Lake Balkhash, possible models for their assessment and forecast for the future: Supplement to the interim report on R&D "To assess the current and forecast dynamics of the hydrological regime of Lake Balkhash, the Caspian and Aral Seas: (Summary report for 2009–2011)». Almaty, 2011. 250 p. (in Russ.).
- [12] Duisenov S. T. Characteristics of the wind regime and the map of resulting wind fields over Lake Balkhash // Proceedings of KazNIGMI. 1980. Issue 55. P. 92-111 (in Russ.).
- [13] Study of currents in lakes and reservoirs (practical guide). L.: Gidrometeoizdat, 1972. 320 p. (in Russ.).
- [14] Sudolsky A. S. Structure of wind currents and methods for their calculation. Abstract of dis. ... of Doctor of Technical Sciences. 1982. 34 p. (in Russ.).
- [15] Sudolsky A. S. Wind currents in some reservoirs of limited size // Proceedings of the State Hydrological Institute. 1969. Issue 196. P. 123-159 (in Russ.).
- [16] Sudolskii A. S. Some features and regime characteristics of currents in the western part of Lake Balkhash and the Uzunaral Strait // Proceedings of the II All-Union. Conference "Dynamics and Thermals of Rivers, Reservoirs and Estuaries": Abstracts of reports. Moscow, 1984. Vol. 1. P. 136-137 (in Russ.).
- [17] Fomin L. M. On inertial oscillations in a horizontally inhomogeneous field of current velocity in the ocean // Izvestiya AN SSSR. Ser. FAO. 1979. – Vol. 9, No. 1. P. 147-157 (in Russ.).
- [18] Alimkulov S. K., Myrzakhmetov A. B., Tursunova A. A., Tairov A. Z., Bolatov K. M. features of water flow in the Uzynaral strait of lake Balkhash // Geography and water resources. 2022. No. 4. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2022-4-27-35.21> (in Russ.).
- [19] Tursunov E. A., Madibekov A. S., Kulebaev K. M. Modern morphometric characteristics of Lake Balkhash // Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University. St.-Petersburg, 2014. P. 43-48 (in Russ.).
- [20] Modern ecological state of the Lake Balkhash basin // Ed. by Kudekov. Almaty: Kanagat Publishing House, 2002. 388 p. (in Russ.).
- [21] Domrachev P. F. Completion of hydrological works of the Balkhash scientific and industrial expedition in 1931 // Izvestiya GGI. 1931. Vol. 38. P. 42-49 (in Russ.).
- [22] Yunusov G. R. Hydrological regime of Lake Balkhash // III All-Union Hydrological Congress. L., 1959. P. 192-200 (in Russ.).
- [23] Sokolova A. A. Hydrological and water management aspects of the Ili-Balkhash problem. 1989. P. 155-199 (in Russ.).
- [24] Kurdin R. D., Rubinovich S. A. Forecast of changes in the water balance, level and mineralization of water in Lake Balkhash for the coming decades // Proceedings of KazNIGMI. M.: Gidrometeoizdat, 1975. Issue 52. P. 64-86 (in Russ.).
- [25] Surface water resources of the USSR. Vol.13, issue 2. Lake Balkhash basin. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 652 p. (in Russ.).

С. К. Алимкулов¹, А. Б. Мырзахметов², Г. Р. Баспакова^{*3},
Д. А. Рустем⁴, А. Р. Загидуллина⁵, Г. Исакан⁶

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; sharafedenova@mail.ru)

⁴ Магистрант, ведущий инженер (КазНУ им. аль-Фараби, АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; rustem.darkhan@mail.ru)

⁵ Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан;
zagidullina_a_88@mail.ru)

⁶ Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан;
caira_t1412@mail.ru)

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВОДООБМЕНА МЕЖДУ ЗАПАДНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЯМИ ОЗЕРА БАЛКАШ

Аннотация. Рассматриваются изменчивость скорости и объема потока воды в заливе пролива Узынарал, разделяющего озеро Балкаш на западную и восточную части, на основе полевых гидрометрических наблюдений, проведенных в 2024 году. Измерен расход воды в проливе, что позволило определить пространственно-временные закономерности гидродинамических процессов. Эти измерения включают направление воды, ее скорость и поперечное сечение в створе. Для определения закономерностей течения особое внимание уделяется метеорологическим факторам, влияющим на его динамику, в том числе атмосферному давлению, ветру и температуре воздуха. Анализ полученных данных показал, что направление и интенсивность течения воды зависят от этих факторов. Результаты исследования могут быть использованы для моделирования гидродинамики озера Балкаш, прогнозирования изменений уровня воды и ее равновесия, а также для разработки стратегий управления речным стоком на водосборной территории.

Ключевые слова: водный поток, пролив Узынарал, гидродинамика, скорость течения, экспедиционные исследования, водообмен, измерительные работы.

S. K. Alimkulov¹, A. B. Myrzakhmetov², G. R. Baspakova^{*3},
D. A. Rustem⁴, A. R. Zagidullina⁵, G. Isakan⁶

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;
sharafedenova@mail.ru)

⁴ Master's student, Lead Engineer (Al-Farabi Kazakh National University,
JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; rustem.darkhan@mail.ru)

⁵ Research Associate (JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan;
zagidullina_a_88@mail.ru)

⁶ Research Associate (JSC «Institute of Geography and water security», Almaty, Kazakhstan; caira_t1412@mail.ru)

VARIABILITY OF WATER EXCHANGE BETWEEN THE WESTERN AND EASTERN PARTS OF THE BALKHASH LAKE

Abstract. This article examines the variability of water flow velocity and volume in the Uzynaral Strait, which divides the Balkhash Lake into the western and eastern parts, based on hydrometric field observations conducted in 2024. The study involved measurements of water movement in the strait, allowing the identification of spatial and temporal patterns in hydrodynamic processes. These measurements included flow direction, velocity, and the cross-sectional profile of the channel. Special attention was given to meteorological factors influencing flow dynamics, such as atmospheric pressure, wind, and air temperature. The analysis of the collected data revealed that the direction and intensity of the water flow are closely linked to these climatic conditions. The findings can be applied to hydrodynamic modeling of the Balkhash Lake, forecasting changes in water level regimes and water balance, and informing strategies for river runoff management in the lake's catchment area.

Keywords: water flow, Uzynaral Strait, hydrodynamics, flow velocity, expeditionary research, water exchange, measurement work.