

**ЕГИЗБАЕВА АСЕТ САГАТБЕКОВНАНЫҢ**  
8D07303 – Картография білім беру бағдарламасы бойынша  
философия докторы (Ph.D) дәрежесін алу үшін дайындаған

**Балқаш көлі бассейніндегі өзендер ағынының маусымдық ауытқуын  
ЖҚЗ негізінде модельдеу және болжау атты диссертациясына**

**АНДАТПА**

XI ғасырдың ортасына қарай технологиялық жетістіктер су ресурстарын зерттеу, басқару және модельдеуде жаңа әдіснамалық мүмкіндіктерді ашты. Цифрлық дәуірдің дамуы Жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ), машиналық оқыту (Machine Learning) және географиялық ақпараттық жүйелерді (ГАЗ) гидрологиялық үдерістерді жан-жақты талдау, су балансының өзгерістерін анықтау, өзен ағынын дәл болжау және күрделі су жүйелерін модельдеу үшін кеңінен қолдануға жол ашты. Бұл заманауи әдістер су ресурстарын ұтымды басқаруға, экологиялық тепе-теңдікті сақтауға және климат өзгерістеріне бейімделудің тиімді стратегияларын әзірлеуге ықпал етеді.

**Зерттеу тақырыбының өзектілігі.** Балқаш көлі бассейні - Орталық Азиядағы су ресурстарының экожүйелік және экономикалық тұрғыдан аса маңызды аймақтарының бірі. Бұл бассейн су ресурстарын ауыл шаруашылығы, өнеркәсіп және тұрмыстық қажеттіліктерді қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Алайда соңғы онжылдықтарда климаттық өзгерістер, жаһандық жылыну, халық санының артуы және антропогендік факторлар аймақтың экожүйелік тұрақтылығы мен су қауіпсіздігіне елеулі қауіп төндіруде. Су ресурстарына түсетін жүктеменің артуы гидрологиялық тепе-теңдіктің бұзылуына әкеліп, су тапшылығы мәселесін күрделендіруде.

Балқаш көлі бассейнінің трансшекаралық сипаты су ресурстарын басқаруда қосымша қиындықтар тудырады. Су ресурстарын тиімді әрі әділ бөлу қажеттілігі Қазақстан мен Қытай сияқты көрші елдер арасында халықаралық деңгейде келіссөздер жүргізуді талап етеді. Бұл фактор аймақтық тұрақтылықты қамтамасыз ету, экожүйелерді сақтау және әлеуметтік-экономикалық дамуға тікелей әсер етеді.

Климаттың өзгеруі жөніндегі үкіметаралық сарапшылар тобының (КӨУСТ) 2021 жылғы баяндамасында жаһандық температураның тұрақты жоғарылауы және жауын-шашынның маусымдық ауытқулары қар жамылғысының қысқаруына, өзен ағынының азаюына және экожүйелердің деградациясына себеп болып отырғаны атап өтілген. Климаттық сценарийлер (SSP2-4.5 және SSP5-8.5) қысқы кезеңде су ағынының артуын, ал көктемгі және жазғы кезеңдерде төмендеуін болжайды. Бұл өз кезегінде су ресурстарын басқару жүйесіне жаңа сын-тегеуріндер туындатып, климаттық өзгерістер жағдайында бейімделу стратегияларын әзірлеу қажеттілігін арттырады.

Қазақстан Президенті Қасым-Жомарт Кемелұлы Тоқаевтың 2023 жылғы Жолдауында су тапшылығының экологиялық және ұлттық қауіпсіздікке тигізетін әсерін азайту үшін заманауи технологияларды енгізу және жаңа Су кодексін әзірлеу қажеттілігі ерекше атап өтілді. Осыған байланысты су

ресурстарын тиімді пайдалану, экожүйелердің тұрақтылығын сақтау және климаттық өзгерістерге бейімделу бойынша ғылыми негізделген шешімдер әзірлеу қазіргі таңда аса өзекті мәселеге айналып отыр. Нәтижесінде диссертациялық жұмыстың өзектілігі артып, су ресурстарын басқарудың заманауи әдістерін ғылыми тұрғыдан негіздеу қажеттілігі айқындалды.

**Зерттеудің нысаны.** Балқаш көлі бассейніндегі өзендер ағынының маусымдық ауытқулары және оларға климаттық өзгерістер мен антропогендік факторлардың әсері.

**Зерттеу жұмысының пәні.** Балқаш көлі бассейніндегі өзен ағынының маусымдық динамикасын зерттеу, ЖҚЗ деректері мен гидрологиялық модельдерді интеграциялау арқылы модельдеу және болжау әдістерін жетілдіру.

**Зерттеудің мақсаты мен міндеттері.** Балқаш көлі бассейніндегі өзен ағынының маусымдық ауытқуларын ЖҚЗ деректері мен гидрологиялық модельдер негізінде талдау және болжау. Аталған мақсатқа қол жеткізу үшін келесі міндеттерді шешу қарастырылды:

Балқаш көлі бассейнінің гидрологиялық және климаттық ерекшеліктерін кешенді талдау, оның ішінде температуралық өзгерістер, жауын-шашын үлгілері, топырақ ылғалдылығы мен қар жамылғысының маусымдық динамикасын жоғары дәлдікпен зерттеу.

ЖҚЗ (MODIS, Sentinel, Landsat) деректерін пайдалана отырып, қар жамылғысы, жер жамылғысының өзгерістері және құрғақшылық көрсеткіштері бойынша кеңістіктік тақырыптық карталар әзірлеу.

HBV гидрологиялық моделін аймақтандыру және оны ЖҚЗ түсірістерін өңдеудің дешифрлік алгоритмдерімен біріктіру арқылы өзен ағынын дәл және болашаққа болжау, сондай-ақ экстремалды гидрологиялық жағдайларды анықтау.

SSP2-4.5 және SSP5-8.5 климаттық сценарийлерін қолдану арқылы температура мен жауын-шашынның гидрологиялық процестерге әсерін бағалау.

ЖҚЗ деректері, гидрологиялық модельдер және машиналық оқыту алгоритмдері негізінде су тасқыны мен құрғақшылық сияқты экстремалды гидрологиялық құбылыстарды жедел анықтау алгоритмін әзірлеу.

**Диссертациялық зерттеуде қолданылған әдіс-тәсілдер.** Диссертациялық зерттеу Балқаш көлі бассейніндегі өзен ағынының маусымдық динамикасын кешенді түрде талдау үшін заманауи әдістерді қолдануға негізделді. ЖҚЗ деректері өзен ағынының кеңістіктік және уақыттық динамикасын зерттеуде, қар жамылғысы мен жер жамылғысының өзгерістерін анықтауда қолданылды. HBV гидрологиялық моделі арқылы өзен ағынын модельдеу және болжау жүзеге асырылды, ал модель параметрлері климаттық сценарийлерге (SSP 2-4.5, SSP 5-8.5) негізделген болжамдар жасау үшін калибрленді.

ГАЗ технологиялары гидрологиялық процестерді визуализациялауда және зерттеу аймағының кеңістіктік ерекшеліктерін картографиялық бейнелеуде маңызды рөл атқарды. Сонымен қатар, математикалық және

статистикалық әдістер (корреляция, регрессия,  $R^2$ , NSE, PBIAS) зерттеу нәтижелерінің дәлдігін бағалауға мүмкіндік берді.

Су тасқыны мен құрғақшылық сияқты экстремалды гидрологиялық жағдайларды жедел бағалау үшін машиналық оқыту алгоритмдеріне негізделген арнайы скрипт әзірленді. Бұл әдіс табиғи апаттардың ықпалын азайтуға және су ресурстарын тиімді басқаруға бағытталған жедел шешімдер қабылдау үшін қолданылды.

Әдіс-тәсілдердің интеграциясы зерттеу нәтижелерінің жоғары дәлдігін қамтамасыз етіп, су ресурстарын басқару және климаттық бейімделу стратегияларын әзірлеуде маңызды ғылыми және практикалық негіз қалады.

**Зерттеудің теориялық-әдіснамалық негіздері.** Зерттеу барысында ЖҚЗ деректері, гидрологиялық модельдер және су балансын талдауға арналған сандық әдістер қолданылды. Зерттеудің ғылыми негізін құрайтын негізгі еңбектерге Д. Цзянның «The Role of Satellite-Based Remote Sensing in Improving Simulated Streamflow: A Review» (2019), [1], А.А. Асылбекованың «Арақашықтан зерделеу мәліметтерін пайдалану арқылы Іле Алатауының солтүстік беткейіндегі ландшафттарды зерттеу» (2010), [2], А.А. Тұрсынованың «Water Resources of Kazakhstan in Conditions of Uncertainty» (2021), [3], Э.К. Талипованың «Климаттың заманауи және келешектегі өзгерістерінің Іле өзені алабының су ресурстарына әсері» (2023), [4], С.К. Алимкуловтың «Жетісу Алатауының солтүстік беткейіндегі өзендер ағындысының жылышылық үлестірімін бағалау» (2022), [5], К.К. Дускаевтің «Оценка максимальных расходов воды рек города Алматы» (2019) [6], В.С. Чередниченконың «Колебания климата в Иле-Балхашском бассейне и его связь с уровнем озера» (2009), [7] және В.Г. Сальниковтың «Климатические колебания общей циркуляции атмосферы, осадков и речного стока над территорией Казахстана» (2011), [8]. Сонымен қатар, гидрологиялық модельдеу және сандық әдістерді қолдану бойынша В.А. Шелутконың «Численные методы в гидрологии», (1991), [9], В.Г. Андрияновтың «Внутригодовое распределение речного стока: основные закономерности и их использование в гидрологических и водохозяйственных расчетах» (1960), [10], С.Қ. Дәулетқалиев, Д.Қ. Жүсіпбеков М.М. Молдахметовтың «Гидрологиялық ақпараттарды математикалық өңдеу әдістері» (2012) атты оқу құралы [11].

**Жұмыстың теориялық маңыздылығы.** Ғылыми-зерттеуде гидрология, климатология және картография салаларындағы тұжырымдамалар жерді қашықтан зондтау, географиялық ақпараттық жүйелер және гидрологиялық модельдеу негізінде талданып, Балқаш көлі бассейніндегі өзен ағынының маусымдық динамикасын зерттеуге бағытталған. Жұмыста қолданылған теориялық тұжырымдар география ғылымындағы геокеңістіктік талдау, ЖҚЗ технологиялары және климаттық өзгерістердің гидрологиялық процестерге әсерін зерттеуге негізделген.

Зерттеу барысында алынған ғылыми нәтижелер өзендердің маусымдық өзгерістерін модельдеу мен болжау әдістерін жетілдіруге, сондай-ақ ЖҚЗ деректерін қолдану арқылы гидрологиялық процестерді кеңістіктік және уақыттық тұрғыда талдауға мүмкіндік береді. Бұл теориялық тұжырымдар

сандық гидрология мен картография ғылымдарының дамуына, сондай-ақ картография білім беру бағдарламаларын жетілдіруге маңызды үлес қосады.

**Зерттеу жұмысының жаңалығы.** Бұл зерттеу Балқаш көлі бассейніндегі су ресурстарының маусымдық динамикасын алғаш рет ЖҚЗ деректері мен HBV гидрологиялық моделі негізінде кешенді түрде талдаумен ерекшеленеді. Қар жамылғысы мен өзен ағынының өзара байланысы анықталып, климаттық өзгерістердің әсерін бағалау мақсатында 2030 және 2050 жылдарға арналған болжамдық сценарийлер жасалды.

HBV және E-Flow модельдері су ресурстарын басқару мен экожүйелердің тұрақтылығын бағалауда тиімді қолданылды. ЖҚЗ деректері мен ГАЖ технологиялары арқылы кеңістіктік талдау жүргізіліп, су балансының өзгерістерін көрсетуге арналған үш өлшемді карталар әзірленді.

Зерттеу нәтижелері су ресурстарын болжаудың дәлдігін арттырып, климаттық бейімделу мен экожүйелерді сақтау стратегияларын ғылыми тұрғыда негіздеуге мүмкіндік берді. Сонымен қатар, су тасқыны мен құрғақшылық сияқты табиғи апаттарға жедел әрекет етуге арналған арнайы алгоритм әзірленді.

**Қорғауға ұсынылатын тұжырымдар:**

- Балқаш көлі бассейніндегі өзендердің маусымдық ағын динамикасын зерттеуде E-Flow және HBV модельдері ЖҚЗ (MODIS, Sentinel, Landsat) деректері мен гидрометеорологиялық мәліметтермен интеграцияланып, су ресурстарының маусымдық және кеңістіктік сипаттамаларын жоғары дәлдікпен анықтайтын сенімді талдау әдістері ретінде айқындалды.
- HBV моделі аймақтық параметрлерді калибрлеу және SSP2-4.5 пен SSP5-8.5 климаттық сценарийлерін қолдану арқылы климаттық және антропогендік факторлардың су ресурстарына әсерін болжауда, сондай-ақ су ресурстарын басқару стратегияларын әзірлеуде тиімді және жетілдірілген модельдеу әдісі ретінде бағаланды.
- ЖҚЗ технологиялары мен HBV моделі негізінде құрғақшылық пен су тасқынын жедел анықтау және бағалауға арналған арнайы алгоритм әзірленіп, ол су ресурстарын басқару, табиғи апаттарға жедел әрекет ету және климаттық тәуекелдерді азайтуға арналған тиімді шешім ретінде ұсынылды.

**Диссертация тақырыбының ғылыми-зерттеу жобаларымен байланысы.** Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігінің 2021-2023 жылдарға арналған бағдарламалық-нысанды қаржыландыру аясындағы BR10764920 «Суаруға жаңа жерлерді енгізу, қолданыстағы суару жүйелерін қайта құру және жаңғырту барысындағы суару технологиялары мен техникалық құралдары» ғылыми-техникалық бағдарламасының шеңберінде жүргізілді.

**Ғылыми нәтиже алудағы автордың жеке қосқан үлесі.** Автордың докторлық диссертациясының шеңберінде жүргізілген ғылыми-зерттеу жұмыстары отандық және шетелдік баспаларда жарияланған ғылыми мақалаларға негізделген. Жарияланған ғылыми мақалалардың мәліметтері мен практикалық нәтижелері автордың жеке ғылыми ізденісі нәтижесінде

жинақталды және ғылыми жұмыс лаборатория қызметкерлерімен бірлескен жұмыс ретінде қарастырылмайды. Автор өз зерттеулерінде өзіндік тұжырымдар жасап, жеке зерттеу жүргізді.

**Зерттеу жұмысының нәтижелерінің сыннан өтуі.** Зерттеу жұмысының негізгі мәселелері мен нәтижелері 2021–2024 жылдар аралығында халықаралық және республикалық ғылыми-практикалық конференцияларда талқыланып, ғылыми қауымдастық тарапынан сыннан өтті. Нәтижелер Балқаш-Алакөл трансшекаралық су-шаруашылық алабындағы құрғақшылық жағдайын бағалау тақырыбында «Фараби әлемі» халықаралық ғылыми конференциясында (Алматы, Қазақстан), сондай-ақ GARSS 2022 - IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (2022 ж.), Youth Forum on Innovative Geospatial Information Applications (Чианграй, Таиланд, 2023 ж.) және International Journal of Geoinformatics Conference (Куала-Лумпур, Малайзия, 2021 ж.) ғылыми алаңдарында ұсынылды. Бұл нәтижелер су ресурстарын басқару және климаттық өзгерістерді зерттеу саласында ғылыми қауымдастық тарапынан жоғары бағаланды.

**Зерттеу жұмысының талқыланылуы мен мақұлдануы.** Зерттеу жұмысының негізгі ғылыми нәтижелері мен қорытындылары Қазақстандық және шетелдік ғылыми басылымдарда, халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференцияларда 7 ғылыми жұмыс жарияланды. Оның ішінде Elsevier, Web of Science, Scopus базаларына енетін 4 мақала. Сонымен қатар ізденушінің Scopus және Web of Science базасы бойынша Хирша индексі - 4.

**Диссертациялық жұмыстың құрылымы.** Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 бөлімнен, қорытынды мен 198 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен, 15 кестеден, 51 суреттен, 6 қосымшалардан тұрады. Бет саны - 148