

АННОТАЦИЯ

6D071100 – Геодезия мамандығы бойынша
философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін

Нұрақынов Серік Маратұлы

«СПУТНИКТИК ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ТАУ КРИОСФЕРАСЫНЫҢ ҚҰРАМДАС БӨЛІКТЕРІНІҢ ЖАҒДАЙЫН БАҒАЛАУ»

тақырыбындағы диссертациялық жұмысқа

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертация Жетісу Алатауы жотасындағы криосфера компоненттерін спутниктік технологиялар негізінде зерттеуге бағытталған. Зерттеудің негізгі міндеттері: спутниктік деректерді пайдалана отырып, тау мұздықтарының кеңістіктік-уақыттық өзгеру динамикасын анықтау; тасты мұздықтарының толыққанды каталогын жасап, олардың нақты шекараларын анықтау; белсенді тасты мұздықтарын инвентаризациялаудың модификацияланған әдістемесін әзірлеу; мұздықтардың геодезиялық массалық балансын есептеп, өзгерісін бағалау. Зерттеу нәтижелері Жетісу Алатауының су ресурстық әлеуетінің тұрақтылығын болжауға және мұздықтардың аймақтық гидрологиялық жүйелердегі рөлін модельдеуге мүмкіндік береді.

Зерттеу жұмысының өзектілігі. Жаһандық климаттың өзгеруі нәтижесінде тау криосферасының негізгі компоненттері – мұздықтар, қар жамылғысы және тасты мұздықтар (rock glaciers) – кеңістіктік және уақыттық тұрғыдан елеулі трансформацияға ұшырауда. Орталық Азия мен Қазақстан аумағындағы тау жүйелерінде орналасқан криосфера элементтері соңғы 50 жыл ішінде айтарлықтай деградацияға ұшырап отыр: Тянь-Шань тау жүйесіндегі мұздықтардың жалпы ауданы шамамен 30–40%-ға, ал Жетісу Алатауында 40–50%-ға дейін қысқарғаны анықталған. Аталған өзгерістер аймақтың гидрологиялық режиміне, экожүйе тұрақтылығына және әлеуметтік-экономикалық қызмет түрлеріне тікелей әсер етумен қатар, жоғары дәлдікті геодезиялық бақылауды талап ететін кеңістіктік-динамикалық құбылыстардың бірі ретінде қарастырылады. Дәстүрлі геодезиялық әдістер мұндай процестерді кең ауқымда және жүйелі түрде бақылауға шектеулі мүмкіндік береді. Осыған байланысты ғарыштық геодезия құралдары – радарлық интерферометрия (InSAR), жаһандық навигациялық спутниктік жүйелер (GNSS) және спутниктік оптикалық мониторинг – криосфералық өзгерістерді жоғары дәлдікпен және кеңістіктік қамтумен бақылауға мүмкіндік беретін тиімді әдістер ретінде алдыңғы қатарға шықты.

Тау криосферасының жай-күйін бағалау және оның кеңістіктік-уақыттық динамикасын модельдеу – инфрақұрылымды тиімді жоспарлау, табиғи ресурстарды ұтымды басқару және климаттық тәуекелдерді болжау мақсатында стратегиялық маңызды ғылыми міндеттердің бірі.

Жұмыстың мақсаты және міндеттері

Осы жұмыстың мақсаты – Жетісу Алатауы тау криосферасының негізгі компоненттерінің жағдайы мен олардың өзгеріс динамикасын спутниктік технологиялар негізінде кешенді түрде бағалау. Зерттеу аясында мұздықтардың ауданының кеңістіктік-уақыттық динамикасын талдау, геодезиялық массалық балансты есептеу және тасты мұздықтарының каталогын құрастыру қарастырылады.

Зерттеу мақсатына жету үшін келесі міндеттер қойылды:

– Жетісу Алатауы мұздықтарының ауданының кеңістіктік-уақыттық динамикасын спутниктік (оптикалық) деректер негізінде талдау;

- Спутниктік деректерді пайдалана отырып, белсенді тасты мұздықтарын инвентаризациялаудың модификацияланған әдістемесін әзірлеу;
 - Жетісу Алатауы тасты мұздықтарының (rock glaciers) каталогын құрастыру және оларды белсенділік дәрежесіне қарай жіктеу;
 - Спутниктік деректер негізінде мұздықтардың биіктік өзгерістерін бағалау және Жетісу Алатауы мұздықтарының геодезиялық массалық балансын (geodetic MB) есептеу.
- Зерттеу нысаны** – Жетісу Алатауы тау криосферасының құрамдас бөліктері.

Зерттеудің жаңалығы .

- Алғаш рет Жетісу Алатауы мұздықтарының аумақтық өзгеріс динамикасы (1956–2016 жж.) картасы жасалып, сонымен қатар 1990 жылдан бастап тасты мұздықтардың каталогы спутниктік деректер негізінде құрастырылды.
- Белсенді тасты мұздықтарды инвентаризациялау әдістемесі модификацияланды.
- Алғаш рет Жетісу Алатауы мұздықтарының биіктік өзгерістері мен геодезиялық массалық балансы (geodetic mass balance) спутниктік деректер негізінде карталары жасалды.

Қорғауға шығарылатын негізгі қағидаттары

- Жетісу Алатауы мұздықтарының 1956–2016 жж. аралығындағы аумақтық динамикасы картасы (мұздықтардың ауданы $49 \pm 2,8$ % қысқарып, 813,6 км²-ден 414,6 км²-ге дейін азайған, ал саны 985-тен 813-ке дейін кеміген). Цифрлық каталог (жалпы ауданы 83,4 км² болатын 848 тасты мұздық енгізілген).
- Белсенді тасты мұздықтарды инвентаризациялаудың модификацияланған әдістемесі.
- Жетісу Алатауы мұздықтарының 2000–2016 жж. аралығындағы биіктік өзгерістері мен геодезиялық массалық балансының карталары.

Зерттеу әдістері – Қолданылған зерттеу әдістері диссертациялық жұмыстың ғылыми мақсаттарына қол жеткізуге және алынған нәтижелердің ғылыми мәнін жан-жақты ашуға мүмкіндік берді. Қойылған ғылыми мәселелерді шешу үшін заманауи әдістер мен әдіснамалық тәсілдерге жүргізілген шолу мен талдау негізінде келесі әдістер кешені пайдаланылды:

– Мұздықтар ауданының кеңістіктік-уақыттық өзгеру динамикасын талдау: Бұл бағытта мультиспектралдық оптикалық спутниктік суреттерді талдау және визуалды интерпретация әдістері қолданылды. Атап айтқанда, порогтық қатынас әдісі (band ratio) пайдаланылып, мұздық шекараларын анықтауда жоғары дәлдікке қол жеткізілді.

– Тасты мұздықтардың (rock glaciers) каталогын құрастыру: Екі негізгі әдістің үйлесімі қолданылды: а) Геоморфологиялық талдау – Жер бедерінің сандық үлгілері (DEM) мен жоғары ажыратымдылықтағы оптикалық суреттер негізінде морфологиялық сипаттамаларды анықтау; б) Кинематикалық талдау – радарлық интерферометрия (InSAR) деректерін пайдалану арқылы тасты мұздықтардың қозғалыс динамикасын анықтау.

– Мұздықтардың геодезиялық массалық балансын бағалау: Бұл үшін жер бетінің екі цифрлық биіктік үлгісі – тарихи SRTM (2000 ж.) және заманауи TanDEM-X (2010 ж. кейінгі кезең) деректері математикалық салыстырылды. Есептеу нәтижесінде мұздықтардың массалық өзгерісінің кеңістіктік үлестірімі мен көлемі анықталды.

Зерттеудің негізгі нәтижелерінің сипаттамасы

1. *Спутниктік деректер негізінде (оптикалық) Жетісу Алатауы мұздықтарының ауданының кеңістіктік және уақыттық өзгеру динамикасына талдау.* 1956–2016 жылдар аралығында Жетісу Алатауының жеті негізгі өзен алабындағы мұздықтардың кеңістіктік және уақыттық өзгеріс динамикасы талданды. Мұздықтардың деградация қарқынының сандық мәндері есептеліп, ұзақ мерзімді өзгерістер анықталды. 2001 жылы жалпы ауданы

517,4 км² болатын 1040 мұздық тіркеліп, жаңартылған мұздықтар каталогына енгізілді. 2012 жылы бұл көрсеткіш 453,7 км² (938 мұздық), ал 2016 жылы 414,6 км² (896 мұздық) болды. 1956–2016 жылдар аралығында мұздықтардың жалпы ауданы 813,6 км²-ден 414,4 км²-ге дейін қысқарып, $49 \pm 2,8\%$ төмендеу тіркелді. Сонымен қатар, ең ірі мұздықтар бойынша тепе-теңдік биіктік сызықтары (Equilibrium-Line Altitude) анықталып, мұздықтардың еруіне әсер ететін негізгі факторлар талданды.

2. *Спутниктік деректер негізінде Жетісу Алатауындағы тасты мұздықтарының (Rock glaciers) каталогын құрастыру және олардың морфодинамикалық ерекшеліктерін анықтау.* Жетісу Алатауындағы тасты мұздықтарды анықтау және оларды шығу тегі бойынша жіктеу әдістері модификацияланды. Зерттеу нәтижесінде жалпы ауданы 83,4 км² болатын 848 тасты мұздықтар тіркеліп, бірыңғай каталог жасалды. Морфодинамикалық талдау нәтижелері бойынша ең үлкен аудандық үлеске ие тасты мұздықтар теңіз деңгейінен 2800–3400 м биіктік аралығында шоғырланғаны анықталды (70,51 км²), бұл жалпы көлемнің 84,5% құрайды. Ең ірі тасты мұздықтың ауданы 1,53 км², ал ең кішісі – 0,0043 км² болды. InSAR технологиясы негізінде тасты мұздықтардың қозғалыс жылдамдығы есептелді. Нәтижелерге сәйкес:– Ақсу өзен алабында 93 белсенді тасты мұздық тіркеліп, олардың орташа жылдық жылжу жылдамдығы 240 мм/жыл болды; – Лепсі өзен алабында 111 тасты мұздықтың жылжу жылдамдығы 252 мм/жыл шамасында есептелді. Сонымен қатар, инвентаризациялаудың модификацияланған әдістемесі әзірленіп, оның дәлдігі спутниктік деректермен расталды. Жіктеу нәтижесінде тасты мұздықтар шыққан тегі бойынша – үгінділік (talus rock glaciers) және мореналық (moraine rock glaciers) типтерге бөлініп, олардың аймақтық таралуы анықталды.

3. *Спутниктік деректерді пайдалана отырып, Жетісу Алатауының тау мұздықтарының геодезиялық массалық балансын есептеу және өзгеруін бағалау.* Жетісу Алатауы мұздықтарының биіктік және массалық өзгерістерін бағалау үшін Жер бетінің тарихи (SRTM) және қазіргі (TanDEM-X) цифрлық биіктік үлгілері математикалық салыстырылды. Аймақтық шкалада мұздықтардың орташа жылдық геодезиялық массалық балансы -0,44 m w.e. деп бағаланды. Жеке алаптар бойынша ең қарқынды массалық жоғалту: Ырғайты өзен алабында -0,59 m w.e., Тентек өзен алабында -0,55 m w.e. Ең баяу массалық жоғалту: Ақсу -0,35 m w.e., Лепсі -0,38 m w.e., Қаратал -0,40 m w.e. алаптарында тіркелді.

Жүргізілген зерттеулер мен ұсынылған әдістер Орталық Азияның таулы аймақтарындағы мұздану жағдайын зерттеу барысында еңбек пен қаржылық шығындарды едәуір азайтуға, сондай-ақ өңірлік криосфера мониторингін тиімді жүргізуге мүмкіндік береді.

Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы. *Гляциология және криосфера зерттеулеріне қосқан үлесі.* Жетісу Алатауы мұздықтары мен тасты мұздықтарының (rock glaciers) кеңістіктік-уақыттық динамикасын зерттеу негізінде аймақтық климаттық өзгерістердің криосфера компоненттеріне әсер ету заңдылықтары анықталды. Тасты мұздықтарды жіктеу және каталогтау үшін модификацияланған тәсілдер ұсынылып, бұл морфодинамикалық процестерді зерттеуге арналған теориялық-әдіснамалық базаны толықтырды. *Деректер базасын кеңейту.* 1956–2016 жылдар аралығындағы мұздықтардың аудандық өзгерісін сипаттайтын кең ауқымды деректер алғаш рет жүйеленіп, бұл мәліметтер гляциологиялық және климатологиялық зерттеулер үшін маңызды ғылыми база ретінде қызмет етеді деп күтілуде.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы: *Мұздықтардың деградация қарқынын бағалау* аймақтың болашақтағы су ресурстарының қолжетімділігін болжауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер су ресурстарын басқару, егін шаруашылығына су бөлу, сондай-ақ гидроэнергетикалық инфрақұрылымды жоспарлау және оңтайландыру үдерістерінде қолдануға негіз бола алады. *Тасты мұздықтардың қозғалыс жылдамдығын анықтау* негізінде сел, қар көшкіні және мореналық көлдердің жарылуы сияқты табиғи апаттардың

қаупін төмендетуге бағытталған алдын алу шаралары ұсынылды. Мысалы, Ырғайты алабында жылына шамамен 240 мм жылжитын белсенді тасты мұздықтардың анықталуы осы өңірдегі төтенше жағдайларға дайындық деңгейін арттыруға мүмкіндік береді. *Мұздықтардың есептелген массалық балансының орташа мәні* (-0,44 m w.e.) өңірдегі климаттың біртіндеп құрғақшылыққа бейімделу тенденциясын көрсетеді. Бұл көрсеткіш экожүйе тұрақтылығын қамтамасыз етуге бағытталған бейімделу стратегияларын әзірлеу үшін маңызды ғылыми негіз болып табылады. *Жетісу Алатауындағы криосфералық өзгерістерді* ескере отырып, аймақтық инфрақұрылымды (жолдар, көпірлер), соның ішінде Балқаш көлінің маңында жоспарланып отырған атом электр станциясын (АЭС) салу кезінде тәуекелдерді бағалауға мүмкіндік беретін карталар мен модельдер әзірленді. Аталған тау жотасынан бастау алатын өзендер – Ақсу, Қаратал және Лепсі – Балқаш көліне құятын судың шамамен 20%-ын қамтамасыз етіп, көлдің гидрологиялық режимін қалыптастыруда шешуші рөл атқарады.

Ғылыми ережелердің, тұжырымдар мен ұсынымдардың негізділігі мен дұрыстығы расталады:

Зерттеуде қолданылған спутниктік технологиялар - радарлық интерферометрия (InSAR) және оптикалық суреттерді талдау - қазіргі таңда мұздықтар мен тасты мұздықтарды зерттеу үшін халықаралық ғылыми қауымдастық тарапынан мойындалған әдістер болып табылады. Аталған әдістер NASA мен ESA жүзеге асыратын зерттеу бағдарламаларында кеңінен қолданылып келеді. Геодезиялық массалық балансты есептеу үшін SRTM (2000 ж.) және TanDEM-X (2010 жылдан бастап) деректерін салыстыру қазіргі таңда "алтын стандарт" ретінде қарастырылады. Климаттық және антропогендік факторлардың әсерін бағалау үшін РГП «Қазгидромет» ұсынған метеорологиялық мәліметтер негізінде регрессиялық талдау және корреляциялық байланыстарды есептеу әдістері қолданылды. Бұл тәсілдер климаттық зерттеулер саласында ғылыми тұрғыдан негізделген және дәлелденген. Ал тасты мұздықтар бойынша әзірленген каталогтың сапасы мен дәлдігі Global Land Ice Measurements from Space халықаралық стандарттарына сәйкес тексерілді.

Тұжырымдардың дәлелділігі: Жетісу Алатауындағы мұздықтар ауданының 1956–2016 жылдар аралығында 40–50%-ға қысқаруы аймақтағы деградациялық үдерістердің айқын көрсеткіші болып табылады және бұл көрсеткіш Орталық Азия аумағында байқалып отырған мұздықтардың орташа жылдық қысқару қарқынымен (жылына шамамен 0,5–1%) сәйкес келеді. Бұл мәліметтер IPCC-нің 2019 жылғы баяндамасында және басқа да беделді ғылыми басылымдарда келтірілген деректермен үйлеседі. Жетісу Алатауы мұздықтарының динамикасы Тянь-Шань мен Памир жоталарындағы зерттеу нәтижелерімен (мысалы, Farinotti et al., 2019) де салыстырмалы сипатталады. Есептелген орташа жылдық массалық баланс мәні (-0,44 m w.e.) Гренландия мен Гималай мұздықтарына тән көрсеткіштерге жақын, бұл алынған нәтижелердің кеңістіктік және климаттық тұрғыдан да өзектілігін дәлелдейді.

Зерттеу нәтижелері халықаралық деңгейде рецензияланатын **Remote Sensing** және **Water** журналдарында жарияланып, ғылыми қауымдастық тарапынан жоғары бағаланды. Осылайша, қолданылған әдістердің ғылыми негізділігі халықаралық стандарттармен, жасалған тұжырымдардың сенімділігі – тәуелсіз дереккөздермен, ал ұсынылған ұсынымдардың қолданбалы құндылығы – мемлекеттік стратегиялармен расталды. Бұл зерттеу ғылыми әдіснама мен практикалық шешімдердің өзара байланысын нығайтуға елеулі үлес қосады.

Тақырыптың ғылыми-зерттеу жұмыстарының жоспарымен және әртүрлі мемлекеттік бағдарламалармен байланысы. Ұсынылып отырған зерттеу жұмысы ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырған 2020–2022 жылдарға арналған «Қашықтықтан зондтау деректері негізінде Жетісу Алатауы

мұздықтарының массалық балансын аймақтық деңгейде бағалау және тасты мұздықтарды түгендеу» атты ғылыми жоба аясында (жоба нөмірі: AP08856470) орындалды.

Жариялымдар және практикалық нәтижелердің апробациясы. Диссертациялық зерттеу тақырыбы бойынша 5 ғылыми жұмыс жарияланды. Оның ішінде 3 мақала Scopus және Web of Science дерекқорларына енген рецензияланатын жоғары импакт-факторлы халықаралық журналдарда жарияланды. Атап айтқанда, «Remote Sensing» журналында 2 мақала жарияланды (процентиль – 91, Q1 санатына жатады), сондай-ақ «Water» журналында бір шолу мақаласы жарияланды (процентиль – 84, Q1). Бұдан бөлек, ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігі ұсынған ғылыми журналдар тізбесіне енген басылымдарда 2 мақала жарияланды.

Докторанттың әр мақаланы дайындауға қосқан жеке үлесі.

«The first Inventory of Rock Glaciers in the Zhetysu Alatau: the Aksu and Lepsy River Basins» атты мақалада докторант Жетісу Алатауы аумағындағы тасты мұздықтарға түгендеу жұмыстарын жүргізуге тікелей қатысып, атап айтқанда, Ақсу және Лепсі өзендерінің бассейндеріндегі тасты мұздықтардың кеңістіктік таралуын, морфологиялық сипаттамаларын және шығу тегіне қарай жіктелуін талдауға атсалысты. Зерттеу барысында ол спутниктік қашықтықтан зондтау деректері мен геокеңістіктік технологияларды қолдану арқылы түгендеу әдістемесін модификациялаумен айналысты. Сонымен қатар, алынған радиолокациялық деректерді өңдеу және интерпретациялау үшін InSAR технологияларын қолдану бойынша да маңызды жұмыс атқарды.

«Accelerated glacier area loss in the Zhetysu (Dzhungar) Alatau Range (Tien Shan) for the Period of 1956–2016» атты еңбекте докторант Жетісу Алатауындағы мұздықтардың ауданының өзгеру динамикасын бағалауда негізгі автор болып табылады. 1956–2016 жылдар аралығындағы спутниктік және аэрофотосурет деректерін талдау арқылы мұздықтар ауданының өзгеруін сандық тұрғыдан бағалап, мұздық деградациясының қарқындылығын анықтау әдістемесін әзірледі. Сондай-ақ, осы өңірдегі гляциологиялық үдерістерді сипаттайтын зерттеу нәтижелерін жинақтап, мақала құрылымын әзірлеуге және ғылыми тұжырымдарды негіздеуге елеулі үлес қосты.

«Application of Artificial Intelligence in Glacier Studies: A State-of-the-Art Review» атты шолу мақаласында С.М. Нурақынов мұздықтарды зерттеу саласында жасанды интеллект технологияларын қолдану бойынша ғылыми әдебиеттерді жүйелеу және талдау жұмыстарын жүзеге асырды. Ол тақырыптық зерттеулерді жинақтап, жасанды интеллект әдістерінің гляциологиялық қолданылу аясын бағалаумен қатар, мақаланың құрылымын жасап, бұл саладағы заманауи үрдістер мен болашағы туралы кешенді ғылыми шолу дайындауға жетекшілік етті.