

А.К. Толепбаева^{1*}, **Р.Қ. Қарағұлова¹**,
А.А. Танбаева^{1,2}, **Ұ.Р. Алдаберген¹**

¹ҚР ҒЖБМ «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

²Қазақ ұлттық Аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: akmaral1980@mail.ru

ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДАУ ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ МҰЗДЫҚТАРДЫ ДЕШИФРЛЕУ (Іле және Жетісу алатауы таулы аудандарының мысалында)

Мұздықтар климаттың өзгеруіне ерекше сезімтал табиғи нысандардың бірі, сондықтан олардың көлемі мен ауданы климаттық факторларға байланысты өзгеріске ұшырайды. Мұздықтардың еруі – ғаламдық жылынудың тікелей әсерінен туындаған және қазіргі уақытта әлемді алаңдатып отырған экологиялық мәселелердің бірі. Әсіресе, тау мұздықтары климаттың өзгеруіне қатты тәуелді және олардың динамикасы өзендердің төменгі ағысында орналасқан экожүйелер мен халықтың өмір сүруіне, шаруашылық әрекетіне тікелей әсер етеді. Қарастырып отырған аумақтағы мұздықтардың қарқынды еруі ауызсу тапшылығына әкелуі мүмкін, сондай-ақ, олардың еруінен туындайтын қауіп-қатерлерді, яғни сел, көшкін және су басу қаупін арттырады. Осыған байланысты тау мұздықтарын дешифрлеу, жағдайын қадағалау және ауданының өзгеруін бағалау, картографиялау аса өзекті мәселелердің бірі.

Зерттеудің негізгі мақсаты – Landsat ғарыштық түсірілімдерін және автоматты, жартылай автоматты дешифрлеу әдістерін, соның ішінде каналдар қатынасы (Band Ratio Method) әдісін қолдана отырып, зерттеу аймағындағы тау мұздықтарының шекараларын анықтау.

Дереккөз ретінде Landsat 7 ETM+ және Landsat 8 OLI жерсеріктік түсірілімдері пайдаланылды. Сонымен қатар геоақпараттық жүйелер (ГАЗ) технологиялары мен Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) әдістері, көпспектрлі суреттерді өңдеу және жіктеу, мұздықтарды автоматты және жартылай автоматты дешифрлеу, каналдар қатынасы (Band Ratio Method) әдісі және де алынған нәтижелерді нақтылау мақсатында қолмен түзету мен салыстырмалы талдау әдістері қолданылды.

Мұздықтарды дешифрлеу үдерісінде халықаралық деректер қоры мен түрлі әдістерге салыстырмалы талдау жүргізілді. Сонымен қатар мұздықтарды басқа табиғи нысандардан дәл ажыратуға мүмкіндік беретін тиімді спектралдық әдіс ретінде каналдар қатынасы (Band Ratio Method) әдісін қолдану процесі жан-жақты талданды. Зерттеу нәтижесінде Landsat ғарыштық түсірілімдерін дешифрлеу арқылы Іле және Жетісу Алатауы таулы аймақтарындағы мұздықтардың 2024 жылғы шекаралары анықталып, олардың векторлық қабаттары құрылды және атрибуттық кестелері толтырылды.

Алынған нәтиже климаттың өзгеруі жағдайында елдің су ресурстарының өзгерісін және де табиғи қауіп-қатерлерді бақылап, бағалауға көмектеседі. Спутниктік жүйелер тұтынушыларға жетуі қиын таулы аймақтарда мұз қабаты туралы жедел ақпарат алуға мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: ГАЗ технологиясы, жерді қашықтықтан зондтау, дешифрлеу, мұздықтар, Sentinel 2, Landsat-8, ғарыштық түсірілімдер, табиғи қауіптер.

A.K. Tolepbayeva^{1*}, R.K. Karagulova¹, A.A. Tanbayeva^{1,2}, U.R. Aldabergen¹

¹JSC «Institute of Geography and Water Security» MES RK, Almaty, Kazakhstan

²Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: akmaral1980@mail.ru

Glacier interpretation based on remote sensing data (Using the example of the mountain regions of Ile and Zhetysu Alatau)

Glaciers are the most sensitive natural objects to climate change, so their volume and area change significantly under the influence of climatic factors. The melting of glaciers under the direct impact of global warming is one of the most acute environmental problems of our time. Mountain glaciers are the most dependent on climate change and their dynamics have a direct impact on ecosystems, life and economic activities of the population in the lower reaches of rivers. Intensive melting of glaciers in the research region may cause drinking water shortages and also increases the risk of hazardous processes

such as mudflows, snow avalanches, rock-slides and floods. In this regard, the problem of deciphering, monitoring, assessing and mapping area changes of glaciers is very relevant.

The main objective of the study is to delineate the boundaries of mountain glaciers in the study area using Landsat satellite imagery and automated and semi-automated interpretation methods, with particular emphasis on the band ratio method (Band Ratio Method) as the primary technique.

Satellite images from Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI were used as data sources. Additionally, geographic information system (GIS) technologies and remote sensing (RS) methods were applied, including multispectral image processing and classification, automatic and semi-automatic glacier delineation, and the Band Ratio Method. Manual correction and comparative analysis methods were also employed to refine the obtained results.

During the glacier interpretation process, a comparative analysis of international datasets and various methods was carried out. Additionally, the process of applying the Band Ratio Method, an effective spectral technique that allows precise differentiation of glaciers from other natural objects, was thoroughly analyzed. The study results identified the 2024 glacier boundaries in the Ile and Zhetysu Alatau mountain regions through the interpretation of Landsat satellite imagery, and their vector layers were created along with the completion of attribute tables.

The results allow monitoring and assessment of water resources changes and natural hazards in the context of climate change. Satellite systems make it possible to get operational information to consumers about ice stockpiles in hard-to-reach mountain regions.

Keywords: GIS technologies, Earth remote sensing, interpretation, glaciers, Sentinel 2, Landsat-8, satellite imagery, natural hazards.

А.К. Толепбаева^{1*}, Р.К. Карагулова¹, А.А. Танбаева^{1,2}, У.Р. Алдабергген¹

¹АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан

*e-mail: akmaral1980@mail.ru

Дешифрирование ледников на основе данных дистанционного зондирования Земли (на примере горных районов Иле и Жетысу Алатау)

Ледники являются наиболее чувствительными к изменению климата природными объектами, поэтому их объём и площадь значительно меняются под влиянием климатических факторов. Таяние ледников под прямым воздействием глобального потепления является одной из наиболее острых экологических проблем современности. Горные ледники наиболее зависимы от изменения климата и их динамика напрямую воздействует на экосистемы, жизнь и хозяйственную деятельность населения в низовьях рек. Интенсивное таяние ледников в изучаемом регионе может вызвать дефицит питьевой воды, а также увеличивает риск проявления опасных процессов, таких как сели, лавины, оползни и паводки. В этой связи проблема дешифрирования, мониторинга, оценки и картографирования площадных изменений ледников является весьма актуальной.

Основная цель исследования – определить границы горных ледников на исследуемой территории с использованием спутниковых снимков Landsat и методов автоматизированного и полуавтоматизированного дешифрирования, в частности, с применением метода отношения каналов (Band Ratio Method).

В качестве источников данных использовались спутниковые снимки Landsat 7 ETM+ и Landsat 8 OLI. Кроме того, были применены технологии геоинформационных систем (ГИС) и методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), обработка и классификация мультиспектральных изображений, автоматическое и полуавтоматическое дешифрирование ледников, метод отношения каналов (Band Ratio Method), а также методы ручной корректировки и сравнительного анализа для уточнения полученных результатов.

В процессе дешифрирования ледников был проведён сравнительный анализ международных баз данных и различных методов. Кроме того, был подробно проанализирован процесс применения метода отношения каналов (Band Ratio Method) как эффективного спектрального метода, позволяющего точно выделять ледники от других природных объектов.

В результате дешифрирования спутниковых снимков Landsat были определены границы ледников в горных районах Иле и Жетысу Алатау на 2024 год, созданы их векторные слои и заполнены атрибутивные таблицы.

Полученные результаты позволяют осуществлять мониторинг и оценку изменений водных ресурсов и природных опасностей в условиях изменения климата. Спутниковые системы дают возможность получать оперативную информацию потребителям о ледовом запасе в труднодоступных горных регионах.

Ключевые слова: ГИС-технологии, дистанционное зондирование Земли, дешифрирование, ледники, Sentinel 2, Landsat-8, космоснимки, природные опасности.

Кіріспе

Қазіргі уақытта климаттың өзгеруіне байланысты мұздықтардың кеңістіктік-уақыттық өзгерістерін талдау ерекше маңызға ие болып отыр, өйткені мұздықтар мөлшерінің өзгеруі климаттық жағдайлардың өзгеруінің көрсеткіштерінің бірі болып табылады. Себебі олар өзгерістерге жауап ретінде өздерінің өлшемдерін өзгертеді және сонымен қатар аймақтық масштабтағы маңызды маусымдық немесе ұзақ мерзімді гидрологиялық резервуарлар болып табылады. Мұздықтар ағынының болжамдары су ресурстарын жоспарлау және басқару үшін маңызды ақпарат береді (WCRP, 2025; Huang, 2022).

Тау мұздықтары өзен ағындысына әсер етеді, өзен алаптарында төтенше жағдайларды тудырады, бұл жақын маңдағы елді мекендер үшін қауіпті жағдайлардың туындау қаупіне әкелуі мүмкін (Макаров, 2022). Сондай-ақ, мұздықтардың еруі нәтижесінде таулы аймақтардың тұрғындарына қауіп төндіретін мұздық көлдер пайда болады. Осыған байланысты мұздықтардың қазіргі жағдайын зерттеу маңызды ғылыми міндеттердің бірі.

Қазіргі таңда мұздықтарды зерттеуде көптеген әдістер кеңінен қолданылуда, олардың ішінде Жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) технологиялары қарқынды дамып келеді. Солардың ішінде ең жиі қолданылатын әдістердің бірі – мұздық жамылғысын картаға түсіру және оның аумағын анықтау үшін оптикалық жерсеріктік түсірілімдерді пайдалану. Оптикалық ғарыштық деректер негізінде қар мен мұзды дәл ажырату үшін каналдар қатынасы әдісі, қардың қалыпты айырмашылық индексі (NDSI), кеңінен пайдаланылады.

Сонымен қатар радиолокациялық түсіру (SAR) мұздықтардың құрылымын зерттеу және олардың қозғалысын ауа райы мен тәулік уақытынан тәуелсіз бақылау үшін маңызды құрал болып табылады. Осы әдістің бір түрі – интерферометриялық радиолокация (InSAR), ол мұздық бетінің қозғалыс жылдамдығы мен деформациясын жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Мұздықтардың биіктігін бағалау және беткі өзгерістерді анықтау үшін лазерлік альтиметрия (LiDAR) кеңінен қолданылады, ал жылу түсірілімдері температуралық ерекшеліктерді айқындап, мұздықтың еру аймақтарын анықтауға септігін тигізеді. Ірі аумақтарда мұздық массасындағы өзгерістерді бағалау үшін GRACE және GRACE-FO спутниктерінен алынған гра-

виметриялық мәліметтер қолданылады. Ал жергілікті деңгейде мұздықтардың егжей-тегжейлі үшөлшемді модельдерін құруда фотограмметрия және үшқышсыз ұшу аппараттарының (УҰА) түсірілімдері маңызды рөл атқарады.

Сондай-ақ соңғы жылдары машиналық оқыту және жасанды интеллект әдістері спутниктен алынған үлкен көлемдегі деректерді автоматты түрде классификациялау және талдау үшін кеңінен қолданыла бастады, бұл мұздықтарды бақылау тиімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді.

Соңғы уақыттағы ғаламдық климаттың өзгеруі жағдайында таулы мұздықтардың еруі үдей түсуде және ол өз кезегінде сел, жылжыма мен су тасқыны сияқты табиғи қауіптердің артуына әкеліп отыр. Осы орайда, мұздық жүйелерін бақылауда жетуі қиын таулы аймақтарда орналасқан мұздықтардың көлемінің өзгеруін бақылаудың тиімді тәсілі жерді қашықтықтан зондтау әдістері болып отыр. Жерді бақылаудың көп уақыттық деректері – қоршаған ортаның өзгеруін бақылау үшін құнды ақпарат. Жерді қашықтықтан зондтау қар гидрологиясы мен климаттың өзгеруін жақсырақ түсіну үшін маңызды болып табылатын нақты уақыт режиміндегі деректерді, ғаламдық қамтуды және тарихи мәліметтердің үздіксіз тіркелуін қамтамасыз етеді. Ауқымды кеңістіктік және уақыттық қамту арқылы ЖҚЗ өнімдері қардың жаңа көрсеткіштері мен негізгі және қолданбалы ғылыми деректерді қолдайтын таулы аймақтың қар жамылғысы мен төменгі ағыстағы су ресурстары арасындағы кеңістіктік және уақыттық байланыстарды түсінуге мүмкіндік береді (Eberle, 2016; Wang, 2014; Sproles, 2018). Мұздықтар туралы деректер зерттеліп отырған аумақтың су ресурстарын қалыптастыру заңдылықтарын анықтауда және де олардың еруінен туындайтын қауіп-қатерлерді бағалауда маңызды рөл атқарады. Алайда, ЖҚЗ мәліметтерін визуализациялау және талдау үшін деректерді өңдеудің бірқатар операцияларын жүргізу қажет, бұл көп уақытты және қашықтықтан зондтау деректерімен жұмыс істеу тәжірибесін талап етеді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Жұмыс барысында мұздықтардың шекараларын дешифрлеу кезінде пайдаланылатын ЖҚЗ деректеріне белгілі бір талаптар қойылды: ашық, қолжетімді, салыстырмалы түрде дәлдігінің жоғары болуы, уақыттың кеңінен қамтылуы,

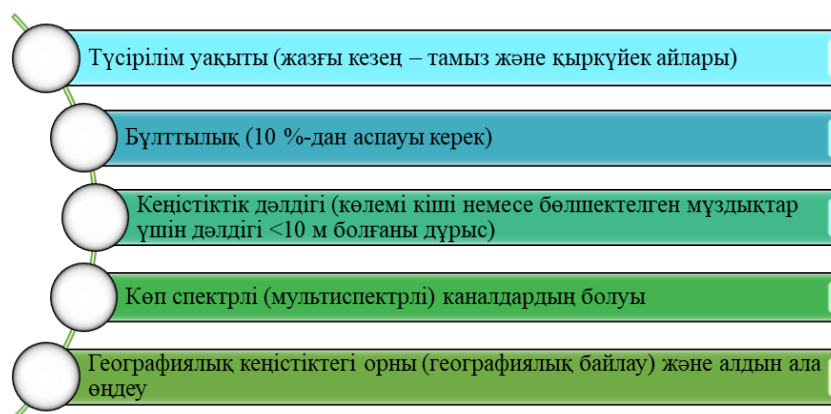
метадеректердің, мұздықтардың шекараларын автоматты және жартылай автоматты әдіспен дешифрлеуге мүмкіндік беретін спектрлік каналдардың болуы.

Қолайлы кеңістіктік-уақыттық және спектрлік ажыратымдылығына байланысты Landsat 5, 7, 8 түсірілімдері гляциалды параметрлерді бақылау үшін ең қолайлы болып табылады.

Sentinel 2 мультиспектрлі түсірілімдері Landsat түсірілімдеріне қарағанда уақытты қамтуы жағын есептемегенде, қайталану интервалының қысқалығы (орбитада Sentinel 2 А – 5 күн) мен дәлдігі жағынан (10 метр) барлық талаптарға сай келеді, бірақ, оның 5 күндік уақытпен қайталанатын түсірілімдері 2017

жылдан ғана басталатындықтан, мұрағаттық деректерді Landsat спутнигінің түсірілімдерінен алу туралы шешім қабылданды. Sentinel 2 түсірілімдерін, қазіргі кезеңдегі мұздықтардың контурын алуға, сондай-ақ, кейбір Landsat түсірілімдерінде мұздықтар шекарасы айқын емес жерлерді анықтауға қолданылады (Толепбаева, 2024; Шихов, 2020). Осы зерттеуде Іле және Жетісу Алатауы таулы аудандарындағы мұздықтарды дешифрлеу үшін Landsat ғарыштық түсірілімдері пайдаланылды.

Деректер көзі анықталғаннан кейін, мұздықтар шекарасын дешифрлеуге қолданылатын ғарыштық түсірілімдерді белгілі бір талаптар бойынша тандап алу керек (1-сурет).



1-сурет – Мұздықтардың шекараларын дешифрлеу кезінде спутниктік түсірілімдерге қойылатын негізгі талаптар

Мұздық жүйелерінің шекараларын анықтауда, нақты деректерді алуда ғарыштық түсірілім уақыты өте маңызды. Айтарлықтай тиімдісі жаздың аяғындағы (тамыз айы және қыркүйек айының басы) жасалған ғарыштық түсірілімдер ең тиімді болып табылады, себебі бұл уақытта барлық қар жамылғысы (шың алдындағы биік аймақтарынан басқа) еріп, мұздың нақты мұз компоненті ашылады. Бұлттылығы төмен ғарыштық түсірілімдерді іріктеу қажеттігі де зерттеу кезінде қосымша қиындықтар тудырады, себебі мұндай деректердің қолжетімділігі шектеулі болуы мүмкін. Мұздықтарды дешифрлеу кезіндегі ғарыштық түсірілімдерге қойылатын талаптарға сәйкес, бұлт жамылғысы 25 %-ға дейінгі түсірілімдермен жұмыс жасауға болады. Алайда, көп жағдайда бұлттар мұздық жүйелерінің үстін жауып тұратындықтан, бұл автоматтандырылған әдістер арқылы мұздықтардың шекараларын анықтауға қолайлы ғарыштық тү-

сірілімдерді тандауда елеулі қиындықтар туындайды (Отчет о НИР, 2019; Северский, 2024; Орталық Азиядағы мұздықтар бойынша материалдар жинағы, 2022).

Бұл жұмысты орындау барысында тамыз, қыркүйек айындағы ғарыштық түсірілімдер пайдаланылды және сондай-ақ, бұлттылығы 10 %-ға дейін болатын түсірілімдер тандап алынды.

Жалпы мұздықтардың шекараларының динамикасын анықтау үшін үздіксіз бірыңғай уақыт кезеңдерін тандау кезінде, Landsat 5 түсірілімдері мұрағатты қалыптастырудың бастапқы кезеңіне сәйкес келгендіктен сапалы түсірілімдердің болмауымен және 2003 жылдан бастап Landsat 7 спутниктік сенсорының дұрыс жұмыс істемеуіне байланысты қиындықтар да туындауы мүмкін.

Оптикалық спутниктік деректер негізінен мұздықтарды картаға түсіруде көп пайдаланады, әсіресе Landsat түсірілімдерінің мұрағаттары

барлығына қолжетімді болғаннан кейін және ортотрансформацияланған (яғни жергілікті жерге байланысты түзетілген) өнімдерді ұсынғаннан кейін кеңінен қолданыста.

Landsat түсірілімдерінде мұздықтарды дешифрлеу, қысқа толқынды инфрақызылмен (SWIR) салыстырғанда көрінетін және жақын инфрақызыл аймақтардағы (VNIR) қардың, мұздың спектрлік шағылысуындағы күшті айырмашылыққа негізделген. Қар мен мұз SWIR де жоғары сіңіру қабілетіне мен VNIR де жоғары шағылысу қабілетіне ие. VNIR каналының өңделмеген цифрлық мәндерінің SWIR мәндеріне қатынасы топографияға байланысты жарықтандыру әсерін минимумға азайтады, және мұздықтар қараңғы фонда айқын көрінеді. Осы қатынас мәндерін қарапайым шектерге бөлу арқылы мұздықтар контуры яғни, мұздықтар картасы құрастырылады (Wulder, 2012; Dozier, 1989; Paul, 2017).

Жалпы Landsat және Sentinel-2 (Data collections. Sentinel data, 2025; Загрузка сцен Sentinel-2, 2025) спутниктерінен алынатын түсірілімдер ашық қолданыста болғандықтан, әртүрлі саладағы зерттеу жұмыстарында кеңінен қолданылады. Ғарыштық түсірілім деректері бүгінде көптеген пайдаланушыларға қол жетімді болды, сондықтан да тек ғылыми ғана емес, сонымен қатар өндірістік мақсаттарда да белсенді қолданылады (Толепбаева, 2024; Антонов, 2018; Lim, 2023).

Сонымен, бұл жұмыста мұздықтардың ашық бөлігінің аудандарының шекарасын анықтау үшін дерек көзі ретінде Landsat 5, 7, 8 спутниктерінің ғарыштық түсірілімдері (Каналы Landsat 8, 2025; USGS EROS Archive, 2025) пайдаланылды. Сондай-ақ, геоақпараттық жүйелер (ГАЗ) технологиялары мен жерді қашықтықтан зондтау (ЖҚЗ) әдістері, яғни көп зоналы ғарыштық түсірілімдерді өңдеу және жіктеу, автоматтандырылған дешифрлеу мен жартылай автоматтандырылған әдістер, соның ішінде қарапайымдылығымен, дәлдігімен және тиімділігімен ерекшеленетін каналдар қатынасы әдісі, салыстырмалы талдау, сараптау әдістері қолданылады.

Нәтижелер және оларды талқылау

Қауіпті құбылыстардың пайда болу және таралу заңдылықтарын анықтау үшін, сондай-ақ, қауіпті экзогендік процестердің әсеріне ұшыраған аумақтарда өмір сүру қауіпсіздігін қамта-

масыз ету мәселелерін шешу үшін географиялық нысандар, оның ішінде мұздықтар туралы объективті, өзекті, нақты, толық мәліметтер алу қажет. Бұл мәселені шешудің бір жолы – спутниктік түсірілімдер, жер бедерін лазерлік сканерлеу деректері сияқты жаңа және өзекті дерек көздерін пайдалану, сонымен қатар, ашық дерек көздерінен алынған векторлық деректерді де қолдану.

Бүкіл әлемдегі мұздықтар туралы ақпараттарды жинайтын бірнеше ірі мәліметтер базасы бар. Жалпы мұздықтарды бақылаудың ғаламдық желісін GTN-G (Global terrestrial network for Glaciers) (Raup, 2012) үш жоба басқарады – WGMS (World Glacier Monitoring Service – Дүниежүзілік мұздықтарды бақылау қызметі) (WGMS, 2025), NSIDC (National Snow and Ice Data Center – Ұлттық қар және мұздықтар деректері орталығы) (National Snow and Ice Data Center, 2025) және GLIMS (Global Land Ice measurements from space – Ғарыштан жер бетіндегі мұздықтарды ғаламдық өлшеу).

GLIMS әлемдегі барлық тау мұздықтары мен мұз қабаттарының өзгеру ауқымы мен қарқыны туралы ақпаратты сақтайтын мұздықтар тізімін жасады. Ғарыштан жер бетіндегі мұздықтарды ғаламдық өлшеу дерекқорлары (GLIMS) – бұл әлемдегі шамамен 200 000 мұздықты мерзімді зерттеуге бағытталған халықаралық бастама. GLIMS жобасы NSIDC порталы арқылы әлемнің түкпір-түкпірінен мұздықтардың контурлық дерекқорына және осы контурлардың қалай алынғаны туралы метадеректерді қамтитын басқа мұздықтар туралы ақпаратқа қол жеткізуге мүмкіндік береді. GLIMS Glacier деректер базасы өздерінің нақты аймақтарындағы мұздықтарды картаға түсіру нәтижелерін дайындауды басқаратын аймақтық координаторлары бар, әртүрлі гляциологиялық мекемелер ұсынған мәліметтерден құралған. GLIMS – жылу сәулелері мен шағылыстыру арқылы жетілдірілген ғарыштық радиометрмен (ASTER) Terra спутнигінің бортында жинақталған деректер мен тарихи бақылаулармен бірге LANDSAT спутниктіктер сериясының деректерін пайдаланады (GLIMS, 2025).

Дүниежүзілік мұздықтарды бақылау қызметі (WGS) мұздықтардың массасының, көлемінің, ауданының және ұзындығының өзгеруіне стандартталған бақылаулар жүргізеді, сондай-ақ көпжылдық жер үсті мұздарының таралуы туралы статистикалық ақпаратты жинайды. Мұздықтардың өзгеруі және түгендеу деректері

атмосфералық жылынудың ықтимал салдарына қатысты гидрологиялық модельдеуге негіз болады (WGMS, 2025).

Қар және мұз деректері ұлттық орталығы (NSIDC) полярлық және криосфералық зерттеулерді ақпараттық қолдау орталығы болып табылады. NSIDC мақсаты – бүкіл әлем бойынша қар мен мұз туралы сандық және ұқсас деректерді

зерттеу, мұрағаттау және тарату (National Snow and Ice Data Center, 2025).

Төменгі 1-ші кестеде GLIMS, WGMS, NSIDC мұздықтар туралы деректер базаларына салыстырмалы сипаттама беріліп, сондай-ақ, бұл базаларды Іле және Жетісу Алатауының мұздықтарын дешифрлеуде пайдалану мүмкіндігіне талдау жасалды.

1-кесте – Мұздықтар туралы деректер базасын салыстыру (GLIMS, WGMS, NSIDC)

№	Деректер базасы	Негізгі сипаттамалары	Артықшылықтары	Шектеулері	Іле және Жетісу Алатауының мұздықтарын дешифрлеуде пайдалану
1	GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space)	Ғарыштық түсірілімдер негізінде мұздықтарға ғаламдық мониторинг жасау (ASTER, Landsat, т.б.)	Кеңістіктік деректер (мұздықтар шекаралары) – Көбінесе пішіні мен, ауданын, түсірілім күнін қамтиды және Веб-портал мен ГАЖ арқылы қолдану ыңғайлы	Деректердің жаңартылуы біркелкі емес, кейбір мұздықтар бойынша деректер ескірген күйде, кейбір өңірлер бойынша дерек жоқ	Мұздық шекараларын анықтау мен бақылауда негізі ретінде қолдануға болады, бірақ деректердің жаңартылу жиілігі төмен немесе деректер ескірген жөнеде Іле, Жетісу Алатауы сияқты таулы аймақтардағы кейбір мұздықтар мүлде тіркелмеген болуы да мүмкін
2	WGMS (World Glacier Monitoring Service)	Мұздықтардың ұзындығы, массасы және ауданының өзгерістері бойынша көпжылдық далалық бақылау мәліметтерін қамтиды	Ұзақ мерзімді деректер қатарлары – Тексерілген ғылыми дереккөздер. Климаттық бағалау үшін пайдаланылады	Географиялық қамтылуы шектеулі (көбінесе деректер жақсы зерттелген аймақтар бойынша ғана)	Негізінен ұзақ мерзімді бақылаулары бар белгілі мұздықтарды ғана қамтиды (мысалы, Горельник, Шокальский сияқты), сол деректерге сүйене отырып, басқа мұздықтардың деректерін тексеру үшін пайдалануға болады
3	NSIDC (National Snow and Ice Data Center)	Мұздықтардың ұзақ мерзімді өзгерістерін бақылайтын ауқымды деректер базасы (MODIS, ICESat, Sentinel).	Деректердің әртүрлілігі (қалыңдық, биіктік, өзгеру жылдамдығы сияқты)	Үлкен көлемдегі деректерді өңдеу дағдылары қажет, деректер әрдайым аймақтар бойынша нақты бөлінбеген, жекелеген мұздықтарға қатысты мәліметтер кейде аз болып келеді	Кең ауқымды деректер берсе де, нақты мұздықтар бойынша жергілікті деңгейде нақтылау қажет

*Авторлар құрастырған

Жалпы, GLIMS, WGMS және NSIDC сияқты деректер базаларын жобалық аумақтағы аз зерттелген мұздықтардың сипаттамалары мен шекаралары бойынша мұрағаттық дереккөз ретінде пайдалану ұсынылады. Алайда бұл ғаламдық деректер базалары тек бастапқы негіз ретінде қарастырылуы тиіс. Нақты зерттеу барысында жергілікті мамандар өз өңірлерінде ғарыштық түсірілімдер негізінде мұздықтарды автоматты және жартылай автоматты әдістермен, оның ішінде каналдар қатынасы әдісін қолданып, дешифрлеп, кейіннен визуалды тексеру жұмыстарын жүргізу қажет.

Себебі GLIMS деректер базасынан алынған жобалық аумақтағы жекелеген мұздықтардың аудандары мен контурларын осы зерттеу барысында алынған нәтижелермен салыстыру кезінде айтарлықтай сәйкессіздіктер анықталды (2-сурет).

GLIMS ашық дерекқоры әртүрлі гляциологиялық мекемелер ұсынған мәліметтер негізінде құрылғандықтан, кей жағдайларда бір мұздыққа қатысты әртүрлі ақпараттар берілетіні байқалады. Сондықтан бұл мәліметтерді нақтылау қажет.



2-сурет – GLIMS ашық дереккөзіндегі мұздықтардың шекарасы

Осыған орай, зерттеу аумағы бойынша Landsat ғарыштық түсірілімдерін пайдаланып, мұздықтардың шекараларын автоматты және жартылай автоматты әдістермен, соның ішінде каналдар қатынасы (Band Ratio Method) әдісін қолдана отырып, қолмен түзету жұмыстарын жүргізіп, мұздықтардың векторлық қабатын құру туралы шешім қабылданды.

Зерттеу аумағындағы мұздықтар шекараларының контурын анықтау жұмыстары Landsat 5/7 (band4/band5), Landsat 8 (band5/band6) түсірілімдерінің каналдар қатынасы (Band Ratio Method) әдісі негізінде ArcGIS Pro программасында жасалды.

Мұздықтарды дешифрлеуде жартылай автоматты каналдар қатынасы әдісін қолдану кезеңдері төменде берілген (3-сурет).

Каналдар қатынасы әдісін пайдаланудың артықшылығы – бұл әдіс жылдам, қарапайым және сенімді. Каналдар қатынасы әдісі әлемнің көптеген аймақтарында Landsat деректері бойынша мұздықтарды ауқымды картаға түсіру үшін кеңінен қолданылады (Bolch, 2010; Frey, 2012; Guo, 2015; Шихов, 2020). Әдістің кемшілігі, спектрлік қасиеттері бойынша лас мұзды, кейбір мұз алды көлдерін картаға сенімді түсіру мүмкін еместігімен байланысты, сондай-ақ, шуды жою үшін программалық медианалық сүзгілерді пайдалану, шағын мұздықтарды (ауданы 0,1 км²-ден аз) анықтау кезінде жарамсыз болғандықтан, автоматты дешифрлеу арқылы алынған нәтижені қолмен түзетуді қажет етеді. (Отчет о НИР, 2019; Guo, 2015; Северский, 2024).



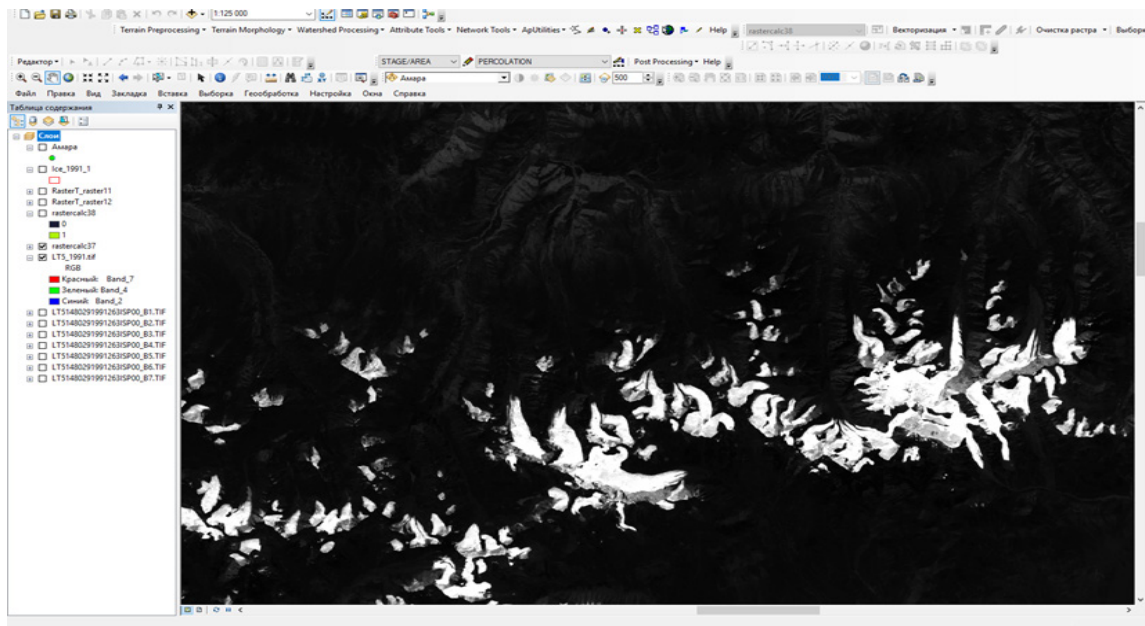
3-сурет – Мұздықтарды дешифрлеуде жартылай автоматты каналдар қатынасы әдісін (Band Ratio Method) қолдану кезеңдері

Растрларды есептеу процесін орындағаннан кейін мұздықтардың бетін сегменттеу үшін қатынастың шекті мәні анықталды. Растрдағы шекті мәнді белгілеу дегеніміз, растрды нысандардың шынайы қасиеттеріне сәйкес келетін

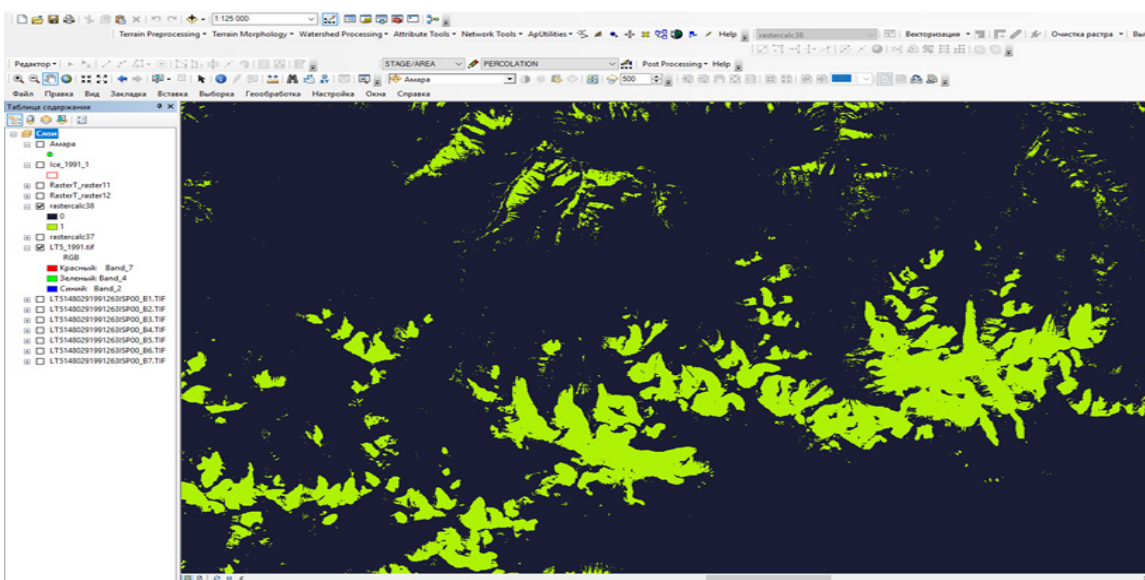
спектрлік және текстуралық қасиеттері бойынша ұқсас сегменттерге бөлуді білдіреді. Шекті мәнді табу үшін мұзды немесе қарлы беттен мұздықты қоршап жатқан – морена, жартас сияқты басқа нысандарға өткен кездегі растрдағы пиксель мәндерінің өзгеруі талданды. Шекті мән мұздың барлық мәндерін қамтуы керек сон-

дай-ақ, мұздықтың бетінде жатпаған қардың қосылуын азайтуы керек (4-сурет).

Шекті мән анықталғаннан кейін, шекті мәннен төмен мәні бар барлық ұяшықтарға «0» мәні – мұздық беті емес деп, ал қалған барлық басқа пиксельдерге «1» мәні – мұз деп берілген бинарлы растр жасалды (5-сурет).



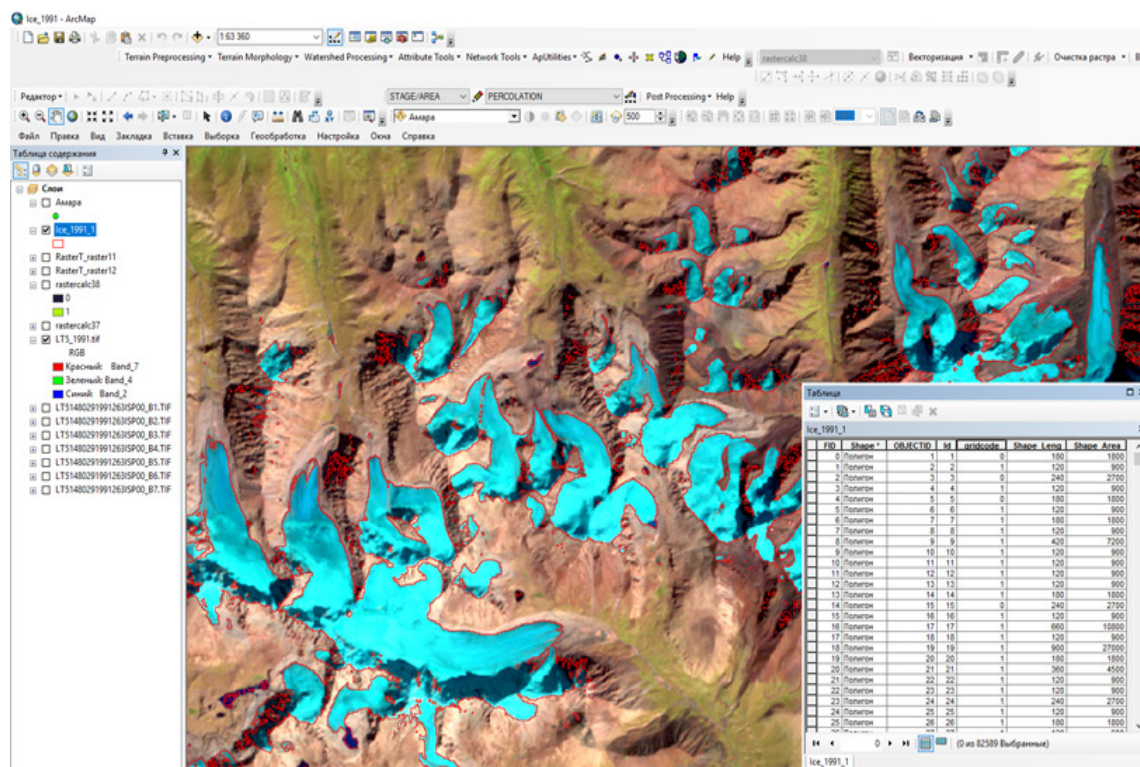
4-сурет – band4 және band5 қатынастрының шектік мәні растрының идентификациясы



5-сурет – Бинарлы растр

Содан кейін алынған нәтижеге каналдардың бірімен немесе көрінетін спектрдегі немесе жалған түстердегі каналдар комбинациясын салыстырып қарау арқылы визуалды бағалау жүргізіледі. Мұздықтарды дешифрлеу үшін не-

гізінен SWIR-NIR-RED каналдарының синтезі қолданылады. SWIR-NIR-RED каналдарының комбинациясында ашық көк түсте мұздықтар мен қар жамылғысын анық көруге болады (6-сурет).



6-сурет – Landsat-8 ғарыштық түсіріліміндегі SWIR, NIR және RED спектралдық каналдар қатынасы (Band Ratio Method) әдісі арқылы алынған мұздықтардың көрінісі

Соңында алынған растрлар вектор форматына ауыстырылды. Векторлық файлдың атрибутивтік кестесінде 0 – «мұз емес» мәні бар барлық пиксельдер жойылды.

Жалпы әлемдік тәжірибеде де, қарды мұздан автоматтандырылған әдістермен бөлу, соның ішінде тау мұздықтарын автоматты дешифрлеу өте қиын міндет болып табылады. Яғни, автоматты дешифрлеу әдісімен алынған векторды осы саланың мамандары қарап, тексеріп, кей жағдайда қолмен түзету қажет болуы мүмкін. Сондықтан, автоматты дешифрлеумен бірге жартылай автоматты, қолмен түзету әдістері де қолданылады.

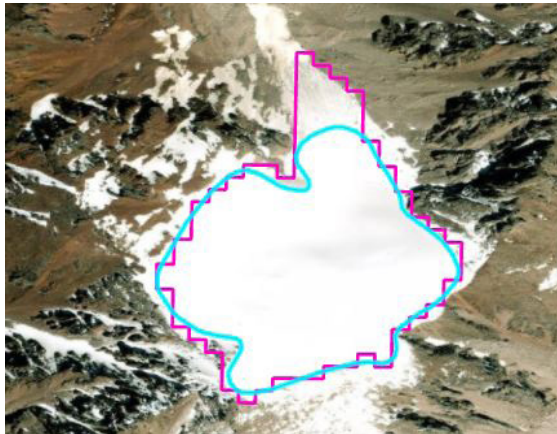
Жұмыс барысында, бізде әлемдік және отандық ғалымдардың тәжірибесіне сүйене отырып, автоматтандырылған жіктеу қателіктерін жою үшін мұздықтардың шекараларын сарапшы ма-

мандармен бірге қолмен түзету жұмыстарын жасайды (7-сурет).

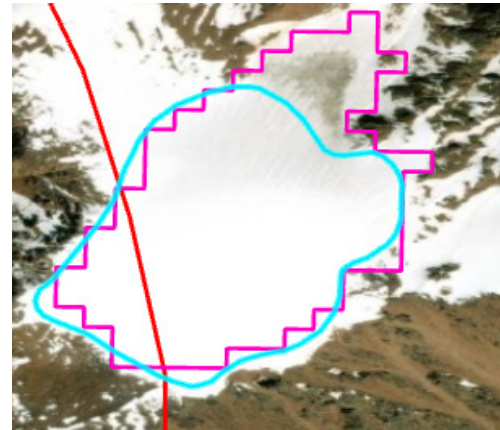
Мұздықтардың шекарасын автоматты дешифрлеу арқылы алғаннан кейін, оны қолмен түзету кезінде, мұздықтар аудандарында өзгерістер болады. Негізі мұздықтарды автоматты дешифрлеу және қолмен картографиялау әдістері бір-бірімен жақсы сәйкес келеді, әсіресе орографиялық ерекшеліктері жоқ ірі мұздықтар үшін қолайлы. Жоғарыда айтып өткендей автоматты әдіспен анықталған мұздықтардың ашық бөлігінің жалпы ауданының, қолмен өңделген ауданнан айырмашылығы 6% -дай болуы мүмкін, кейбір жеке мұздықтарда ол 10 %-ға дейін жетеді (Северский, 2024). Автоматты дешифрлеудің барлық кезеңдерін жасағаннан кейін, аудан бойынша әртүрлі сүзгілерді қолдану арқылы мұздықтарға жатпайтын бір шама полигондарды

анықтауға болады, олар қар жамылғысы, мұздық көлдер және т.б. болуы мүмкін. Бұл жағдайда алынған мәліметтерге мұқият визуалды сыни талдау жасап, тарихи деректермен, болған жағдайда далалық зерттеулермен салыстырып,

дәлдігі жоғары басқа да ғарыштық түсірімдерден қарап, анықтау керек. Осы орайда жартылай автоматты дешифрлеу мен осы саланың маманының қатысуымен қолмен түзету жұмыстарын жасау керек.



а) №5 мұздық



б) Туманный мұздығы

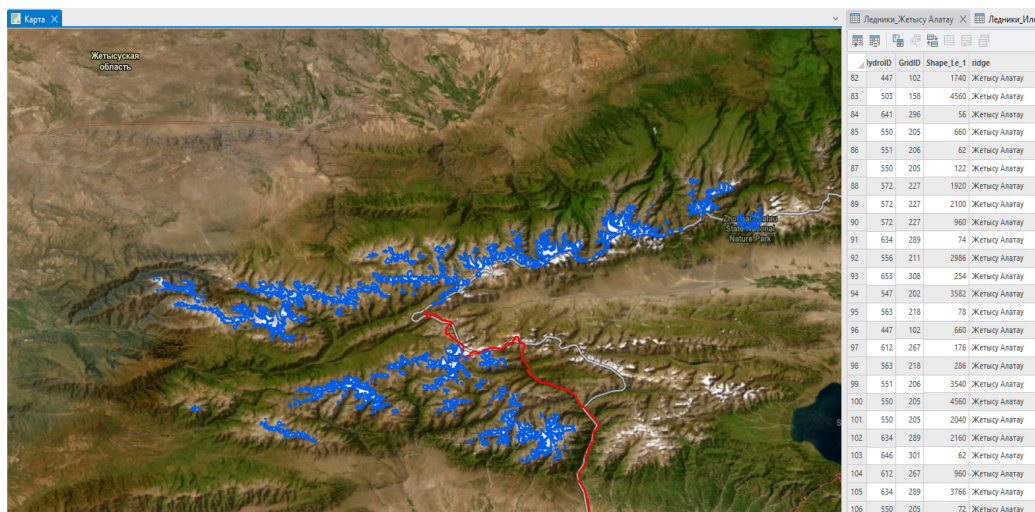
7-сурет – Мұздықтардың шекарасын автоматты (қызғылт) дешифрлеуді және жартылай автоматты-қолмен (көгілдір) түзету әдістерін салыстыру (Іле Алатауы, №5, Туманный мұздықтарының мысалында)

Жасалған жұмыстың нәтижесінде Landsat 7 ETM+ және Landsat 8 OLI ғарыштық түсірілімдерінің деректерін талдау негізінде автоматтандырылған және жартылай автоматты әдістер, оның ішінде каналдар қатынасы әдісі мен қолмен түзету әдісі қолданылып, Іле және Жетісу

Алатауы мұздықтарының вектор форматындағы шекаралық контурлары алынды (8-9 сурет). Мұздықтарға бұрынғы осы аймаққа жасалған каталогтың негізінде идентификация жасалып, мәліметтер базасына әр нысанның тақырыптық атрибуттық мәліметтері толтырылды.



8-сурет – Іле Алатауы мұздықтарының конвертацияланған полигондық қабаты, 2024 ж.



9-сурет – Жетісу Алатауы мұздықтарының конвертацияланған полигондық қабаты

Мұздықтардың полигондық векторлық қабатының әрбір нысанында келесі атрибуттық ақпарат бар: мұздықтың атауы, мұздықтың координаттары, мұздықтардың ауданы.

Жоғарыда айтылғандай біз өз зерттеуімізде негізінен Landsat түсірілімдерін пайдаландық. Бірақ, болашақта мұздықтардың контурын анықтау үшін толықтай Sentinel түсірілімдерін пайдалануға болады. Себебі, Sentinel түсірілімдерінің дәлдігі жоғары және де MSI (Multi Spectral Instrument) Sentinel сенсоры арқылы алынған спектрлік каналдарға қатысты мұзды анықтау әдісінде MSI4/MSI11 (Red/SWIR) және де MSI8/MSI11 (NIR/SWIR) сияқты каналдар қатынасы ең қолайлы болып табылады.

Мұздықтар гидрологиялық циклдің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Климаты құрғақ континенттік аймақта тау етегіндегі суармалы және халық тығыз қоныстанған аудандар мұздықтар мен қардың еріген суына тәуелді болып келеді. Әсіресе Іле Алатауының солтүстік беткейінің тау алды аумағында халық тығыз қоныстанғанын және ірі мегаполистік Алматы қаласы орналасқандығын ескеретін болсақ, тұщы су көзі болып табылатын мұздықтар ауданының кішірейуі немесе кей жағдайда мүлдем жоғалып кетуі, адамдардың тіршілік етуіне, шаруашылық әрекетіне тікелей әсер ететіндіктен, тау мұздықтары ауданының өзгеруіне бақылау жасап отыру өте маңызды мәселе.

Зерттеу аумағындағы мұздықтардың шекараларының өзгеруін картада көрсету, негізгі климаттық параметрлердің өзгеру қарқыны, гидропосттардағы ағынды көрсеткіштері, жер

бедерінің ерекшеліктерімен бірге зерттеу алабының мұздану алаңдарының динамикасын және қар жамылғысының кеңістіктік-уақыттық сипаттамаларын жан-жақты талдауға, зерттеу аумағының су ресурстарын қалыптастырудағы қар-мұз ресурстарының рөлін және де қар мен мұздықтардың еруінен туындайтын қауіпті процестерді зерттеуге мүмкіндік береді.

Қорытынды

Қорыта келе, зерттеу аумағындағы мұздықтарды дешифрлеуде кеңістіктік, уақыттық және спектрлік дәлдігі жоғары Landsat 5, 7, 8 ғарыштық түсірілімдері пайдаланылды.

Жұмыстың барысында көпзоналы ғарыштық түсірілімдерді жүктеу мен өңдеу, мұздықтардың шекарасын автоматты және жартылай автоматты дешифрлеу, соның ішінде қарапайымдылығы, дәлдігі және тиімділігімен ерекшеленетін каналдар қатынасы (Band Ratio Method) әдісі қолданылды. Мұздықтарды дешифрлеуде қолданылған каналдар қатынасы әдісінің жұмыс істеу алгоритмі мен оның негізгі кезеңдеріне талдау жасалды.

Зерттеу нәтижесінде Іле Алатауы мен Жетісу Алатауы мұздықтарының 2024 жылғы шекаралық контурлары анықталып, вектор форматында алынды.

Жалпы мұзды қардан автоматтандырылған әдістермен бөліп көрсету және дешифрлеу өте күрделі процесс болғандықтан, аралас әдістерді пайдаланудың өз артықшылықтары бар. Осыған байланысты зерттеу барысында автоматты және

жартылай автоматты, соның ішінде каналдар қатынасы (Band Ratio Method) әдісін қолдану арқылы алынған векторлық мәліметтер мұқият тексеріліп, визуалды талдау жүргізілді. Қажетті жағдайда қолмен түзету әдісі де қолданылды.

Мұздықтардың қарқынды еруі салдарынан су деңгейінің көтерілуі, ландшафттардың өзгеруі, сел жүруі және мұзды көлдердің жарылуы сияқты табиғи қауіпті құбылыстардың жиілігінің артуынан бастап, ірі өзендердің су режимінің өзгеруіне дейін алып келіп, ол өз кезегінде адамзат өмірінің көптеген аспектілеріне жан-жақты әсер етуде.

Алынған нәтижелер климаттың өзгеруі жағдайында елдің су ресурстарының өзгеруін және

қар мен мұздықтардың еруінен туындайтын қауіпті процесстерді зерттеп, бағалауға мүмкіндік береді.

Қаржыландыру

Мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын «Қазақстан Республикасының Іле және Жетісу Алатауының таулы аудандарында сел, тау көшкіні және қар көшкіні қауіпсіздігінің ғылыми-қолданбалы негіздемесі» жобасы бойынша жасалған зерттеулер нәтижелері бойынша дайындалды. Бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру № BR21881982.

Әдебиеттер

- Bolch, T., Menounos, B., Wheate, R. LANDSAT-based inventory of glaciers in Western Canada, 1985–2005 // *Remote Sensing of Environment*. – 2010. – Т. 114(1). – С. 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.015>
- Data collections. Sentinel data [Электрондық ресурс] // Сайт Programme of the European Union – Copernicus. URL: <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections> (қаралған күні 07.02.2025).
- Dozier, J. Spectral signature of alpine snow covers from LANDSAT Thematic Mapper // *Remote Sensing of Environment*. – 1989. – Т. 45. – С. 9–22. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90101-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90101-6)
- Eberle, J., Taylor, T., Schmullius, C. Easy to use time-series data access and analysis tools using standard-based geoprocessing services // *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. – 2016. – С. 3614–3617. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7729936>
- Frey, H., Paul, F., Strozzi, T. Compilation of a glacier inventory for the western Himalayas from satellite data: Methods, challenges, and results // *Remote Sensing of Environment*. – 2012. – Т. 124. – С. 832–843. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.06.020>
- GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space. Monitoring the World's Changing Glaciers. [Электрондық ресурс] // Сайт GLIMS. URL: [GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space](http://glims.org/) (қаралған күні: 15.02.2025).
- Guo, W., Liu, S., Xu, J., Wu, L., Shanguan, D., Yao, X., Jiang, Z. The second Chinese glacier inventory: Data, methods and results // *Journal of Glaciology*. – 2015. – Т. 61(226). – С. 357–372. <https://doi.org/10.3189/2015JoG14J209>
- Huang, X. B., Anming, G., Hao, M., Fanhao, Zh., Pengfei, Zh., Guoxiong, T., Yu, P., Qi, N., Vincent, D., Weibing. Spatiotemporal changes of typical glaciers and their responses to climate change in Xinjiang, Northwest China // *Journal of Arid Land*. – 2022. – Т. 5. – С. 502–520. <https://doi.org/10.1007/s40333-022-0056-2>
- Lim, S., Sreevalsan-Nair, J., Daya Sagar, B. S. Multispectral data mining: A focus on remote sensing satellite images // *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*. – 2023. – Т. 56. <https://doi.org/10.1002/widm.1522>
- National Snow and Ice Data Center. [Электрондық ресурс] // Сайт NSIDC. URL: <https://nsidc.org/home> (дата обращения: 07.02.2025).
- Paul, F., Kääb, A., Maisch, M., Kellenberger, T., Haeblerli, W. The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: I. Methods // *Annals of Glaciology*. – 2017. – Т. 34. – С. 355–361. <https://doi.org/10.3189/172756402781817941>
- Raup, B., Armstrong, R., Fetterer, F., Gärtner-Roer, I., Haeblerli, W., Hoelzle, M., Khalsa, S. J. S., Nussbaumer, S., Weaver, R., Zemp, M. Global Terrestrial Network for Glaciers: Databases and web interfaces // *GTN-G report*. – 2012. – №12691.
- Sproles, E., Crumley, R., Nolin, A., Mar, E., Moreno, J. SnowCloudHydro: A new framework for forecasting streamflow in snowy, data-scarce regions // *Remote Sensing*. – 2018. – Т. 10(8). – С. 1276. <https://doi.org/10.3390/rs10081276>
- USGS EROS Archive – Sentinel-2 – Comparison of Sentinel-2 and Landsat [Электрондық ресурс] // Сайт USGS. URL: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat?qt=science_center_objects=0#qt-science_center_objects (қаралған күні 03.02.2025).
- Wang, J., Li, H., Hao, X., Huang, X., Hou, J., Che, T., Dai, L., Liang, T., Huang, C., Li, H., Tang, Zh., Wang, Z. Remote sensing for snow hydrology in China: Challenges and perspectives // *Journal of Applied Remote Sensing*. – 2014. – Т. 8(1). – С. 084687. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.084687>
- World Glacier Monitoring Service (WGMS) [Электрондық ресурс] // Сайт WGMS. URL: <https://wgms.ch/> (қаралған күні: 11.02.2025).
- World Climate Research Programme (WCRP) [Электрондық ресурс] // Сайт WCRP. URL: <https://www.wcrp-climate.org/> (қаралған күні 03.02.2025).
- Wulder, M., Jeffrey, M., Warren, B. C., Thomas, R. L. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat // *Remote Sensing of Environment*. – 2012. – Т. 122. – С. 10. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.01.010>

Антонов С.А., Скрипчинский А.В. Использование данных дистанционного зондирования для многолетнего мониторинга за состоянием агроландшафтов // Наука. Инновации. Технологии. 2018, №8. – С. 89–100.

Загрузка сцен Sentinel-2 на определенную территорию [Электрондық ресурс] // Сайт Data+. URL: <https://blogs.esri-cis.com/2021/05/13/sentinel-2-download/> (қаралған күні 07.02.2025).

Каналы Landsat 8: Комбинации для спутниковых снимков [Электрондық ресурс] // Сайт EOS Data Analytics. URL: <https://eos.com/ru/blog/kombinatsii-kanalov-landsat-8/> (қаралған күні 03.02.2025).

Макаров В. З., Тюков Д. В., Шлапак П. А. Использование данных дистанционного зондирования Земли при изучении горных ледников (на примере ледника Алибек в Карачаево-Черкессии) // Известия Саратовского университета. Серия: Науки о Земле. 2022. – Т. 22. – № 1. – С. 13–20.

Отчет о научно-исследовательской работе по теме «Трансграничные бассейны рек Республики Казахстан и Китайской Народной Республики: научно-прикладные основы устойчивого водообеспечения населения и экономики в условиях климатических изменений и хозяйственной деятельности на период до 2050 г.», по подпрограмме 6 «Создание геопортала «Устойчивое водно-ресурсное обеспечение населения и экономики в трансграничных бассейнах рек Иле и Ертіс»». Алматы, 2019 г. 170 с.

Сборник рабочих материалов Региональной рабочей группы по мониторингу и моделированию ледников в Центральной Азии в рамках инициативы «Зеленая Центральная Азия», – Ташкент, 2022. 84 с.

Северский И.В., Муканова Б.А., Капица В.П., Татькова М.Е., Кокарев А.Л., Шестерова И.Н. Изменение оледенения северного склона Иле Алатау за семидесятилетний период // ҚазҰУ Хабаршысы. География сериясы. №2,73 (2024):59-71. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v73.i2-05>

Толпебаева А.К., Карагулова Р.К., Есжанова А.С., Танбаева А.А., Радуснова О. В., Камалбекова А.Н. Использование данных космических снимков для актуализации векторной картографической основы тематических карт (на примере горных районов Иле и Жетысу Алатау) // ҚазҰУ Хабаршысы. География сериясы. №3,74 (2024):36-50. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v74.i3-04>

Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., Перминова Е. С. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения // Учебное пособие. – Пермь, 2020. – С. 191.

References

Antonov, S. A., & Skripchinsky, A. V. (2018). The use of remote sensing data for long-term monitoring of the state of agricultural landscapes. *Science. Innovation. Technologies*, (8), 89–100.

Bolch, T., Menounos, B., & Wheate, R. (2010). LANDSAT-based inventory of glaciers in Western Canada, 1985–2005. *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.015>

Collection of working materials of the Regional Working Group on Glacier Monitoring and Modeling in Central Asia within the framework of the Green Central Asia initiative. (2022). Tashkent.

Data collections. (2025, February 7). *Programme of the European Union – Copernicus*. <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections>

Dozier, J. (1989). Spectral signature of alpine snow covers from LANDSAT Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, 45, 9–22. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90101-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90101-6)

Eberle, J., Taylor, T., & Schmullius, C. (2016). Easy to use time-series data access and analysis tools using standard-based geoprocessing services. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 3614–3617. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2016.7729936>

Frey, H., Paul, F., & Strozzi, T. (2012). Compilation of a glacier inventory for the western Himalayas from satellite data: Methods, challenges, and results. *Remote Sensing of Environment*, 124, 832–843. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.06.020>

GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space. (2025, February 15). *GLIMS Website*. <https://www.glims.org>

Guo, W., Liu, S., Xu, J., Wu, L., Shangguan, D., Yao, X., & Jiang, Z. (2015). The second Chinese glacier inventory: Data, methods and results. *Journal of Glaciology*, 61(226), 357–372. <https://doi.org/10.3189/2015JoG14J209>

Huang, X. B., Anming, G., Hao, M., Fanhao, Z., Pengfei, Z., Guoxiong, T., Yu, P., Qi, N., Vincent, D., & Weibing. (2022). Spatiotemporal changes of typical glaciers and their responses to climate change in Xinjiang, Northwest China. *Journal of Arid Land*, 5, 502–520. <https://doi.org/10.1007/s40333-022-0056-2>

Landsat 8 bands: Combinations for satellite images. (2025, February 3). *EOS Data Analytics*. <https://eos.com/ru/blog/kombinatsii-kanalov-landsat-8>

Lim, S., Sreevalsan-Nair, J., & Daya Sagar, B. S. (2023). Multispectral data mining: A focus on remote sensing satellite images. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 56. <https://doi.org/10.1002/widm.1522>

Loading Sentinel-2 scenes to a specific area. (2025, February 7). *Data+ Blog*. <https://blogs.esri-cis.com/2021/05/13/sentinel-2-download>

Makarov, V. Z., Tyukov, D. V., & Shlapak, P. A. (2022). The use of remote sensing data in the study of mountain glaciers (using the Alibek Glacier in Karachay-Cherkessia as an example). *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 22(1), 13–20.

National Snow and Ice Data Center. (2025, February 7). *NSIDC Website*. <https://nsidc.org/home>

Paul, F., Kääb, A., Maisch, M., Kellenberger, T., & Haeberli, W. (2017). The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: I. Methods. *Annals of Glaciology*, 34, 355–361. <https://doi.org/10.3189/172756402781817941>

Raup, B., Armstrong, R., Fetterer, F., Gärtner-Roer, I., Haeberli, W., Hoelzle, M., Khalsa, S. J. S., Nussbaumer, S., Weaver, R., & Zemp, M. (2012). Global Terrestrial Network for Glaciers: Databases and web interfaces. *GTN-G Report*, (12691).

Research report on the topic “Transboundary river basins of the Republic of Kazakhstan and the People’s Republic of China: Scientific and applied foundations for sustainable water supply to the population and economy in the context of climate change and economic activity for the period up to 2050,” according to subprogram 6 “Creating a geoportal ‘Sustainable water resource provision for the population and economy in the transboundary basins of the Ile and Ertis rivers.’” (2019). Almaty.

Severskiy, I. V., Mukanova, B. A., Kapitsa, V. P., Tatкова, M. Y., Kokarev, A. L., & Shesterova, I. N. (2024). Changes in the glaciation of the northern slope of Ile Alatau over the seventy-year period. *KazNU Bulletin. Geographical Series*, 73(2), 59–71. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v73.i2-05>

Shikhov, A. N., Gerasimov, A. P., Ponomarchuk, A. I., & Perminova, E. S. (2020). *Thematic interpretation and interpretation of medium and high spatial resolution satellite images* (Study guide). Perm.

Sproles, E., Crumley, R., Nolin, A., Mar, E., & Moreno, J. (2018). SnowCloudHydro: A new framework for forecasting streamflow in snowy, data-scarce regions. *Remote Sensing*, 10(8), 1276. <https://doi.org/10.3390/rs10081276>

Tolepbayeva, A. K., Karagulova, R. K., Yeszhanova, A. S., Tanbayeva, A. A., Radusnova, O. V., & Kamalbekova, A. N. (2024). Using satellite images data for updating the vector cartographic basis of thematic maps (using the example of the mountain regions of Ile and Zhetysay Alatau). *KazNU Bulletin. Geographical Series*, 74(3), 36–50. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2024.v74.i3-04>

USGS EROS Archive. (2025, February 3). *Sentinel-2 – Comparison of Sentinel-2 and Landsat*. U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat>

Wang, J., Li, H., Hao, X., Huang, X., Hou, J., Che, T., Dai, L., Liang, T., Huang, C., Li, H., Tang, Z., & Wang, Z. (2014). Remote sensing for snow hydrology in China: Challenges and perspectives. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8(1), 084687. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.084687>

World Climate Research Programme (WCRP). (2025, February 3). *WCRP Website*. <https://www.wcrp-climate.org>

World Glacier Monitoring Service (WGMS). (2025, February 11). *WGMS Website*. <https://wgms.ch>

Wulder, M., Jeffrey, M., Warren, B. C., & Thomas, R. L. (2012). Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 122, 10. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.01.010>

Авторлар туралы мәлімет:

Толепбаева Акмарал Курмановна – Географиялық ақпараттық жүйелер зертханасының ғылыми қызметкері, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: akmaral1980@mail.ru);

Карагулова Роза Курманалиқызы – география ғылымдарының кандидаты, АФК, Географиялық ақпараттық жүйелер зертханасының жетекшісі, География және су қауіпсіздігі институты» АҚ (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: karagulovaroza@mail.ru);

Танбаева Айгерим Айюпбековна – Географиялық ақпараттық жүйелер зертханасының ғылыми қызметкері, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Қазақ ұлттық Аграрлық зерттеу университетінің PhD докторанты (Алматы қ., Қазақстан, e-mail: aikerim_07@mail.ru);

Алдаберген Ұлжан Рахымбердіқызы – Табиғи қауіп-қатерлер зертханасының кіші ғылыми қызметкері, «География және су қауіпсіздігі институты» АҚ (Алматы, Қазақстан, e-mail: aldabergen_u@mail.ru).

Information about authors:

Tolepbayeva Akmaral – Researcher of Laboratory of Geographic Information Systems, JSC «Institute of geography and water security» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: akmaral1980@mail.ru);

Karagulova Roza – Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Head of Laboratory of Geographic Information Systems, JSC «Institute of geography and water security» (Almaty, Kazakhstan, e-mail: karagulovaroza@mail.ru);

Tanbayeva Aigerim – Researcher of Laboratory of Geographic Information Systems, JSC «Institute of geography and water security», PhD student of Kazakh National Agrarian Research University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aikerim_07@mail.ru);

Ulzhan Aldabergen – Junior researcher of Laboratory of natural hazards, JSC «Institute of geography and water security», PhD student of the Department of geography (Almaty, Kazakhstan, e-mail: aldabergen_u@mail.ru).

Сведения об авторах:

Толепбаева Акмарал Курмановна – НС лаборатории Географических информационных систем АО «Институт географии и водной безопасности» (Алматы, Казахстан, e-mail: akmaral1980@mail.ru);

Карагулова Роза Курманалиевна – кандидат географических наук, СНС, руководитель лаборатории Географических информационных систем АО «Институт географии и водной безопасности» (Алматы, Казахстан, e-mail: karagulovaroza@mail.ru);

Танбаева Айгерим Айюпбековна – НС лаборатории Географических информационных систем АО «Институт географии и водной безопасности», PhD докторант Казахского национального аграрного исследовательского университета (Алматы, Казахстан, e-mail: aikerim_07@mail.ru);

Алдаберген Ұлжан Рахымбердіқызы – МНС лаборатории Природных опасностей АО «Институт географии и водной безопасности» (Алматы, Казахстан, e-mail: aldabergen_u@mail.ru).

Жіберілді: 12 шілде 2025 жыл
Қабылданды: 09 қыркүйек 2025 жыл