

А.А. Мерекеев^{1,2*}, С.М. Нуракынов³, Н.К. Сыдык¹,
Ә.А. Амангелді¹, Г.М. Искалиева¹, А.А. Калдыбаев¹

¹Ионосфера институты, Қазақстан, Алматы қ.

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

³Satbayev University, Қазақстан, Алматы қ.

*e-mail: merekeev.aibek@gmail.com

БАТЫС ТЯНЬ-ШАНЬ АУМАҒЫНДАҒЫ МҰЗДЫҚТАР АУДАНЫНЫҢ ӨЗГЕРУІН ЖЕРДІ ҚАШЫҚТЫҚТАН ЗОНДАУДЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП ЗЕРТТЕУ: АРЫС ӨЗЕНІНІҢ БАССЕЙНІ

Бұл жұмыста 1957–2000, 2000–2011 және 2011–2022 жылдар аралығында Батыс Тянь-Шаньдағы Арыс өзені бассейндегі мұздықтардың өзгеруіне зерттеу жүргізілді. Зерттеу Landsat TM/ETM+ және OLI көмегімен алынған деректерді талдау негізінде жасалды. 2000 жылы жалпы ауданы 18,02 км² болатын 74 мұздықты зерттеу жасалды. Алайда 2022 жылға қарай мұздықтардың саны 58-ге дейін азайып, жалпы ауданы 11,48 км² болды. Бұл 22 жыл ішінде 6,54 км², немесе жылына 1,65%-ға қысқаруды білдіреді. Сонымен қатар, мұздықтардың көлеміне, биіктігіне және еңісіне зерттеу жасалды. Нәтижесінде мұздықтардың көлемінің 36,29%-ға азайғаны анықталды. Бұл айтарлықтай төмендеудің негізгі себебі, ең алдымен, температураның жоғарылауының басым тенденциясымен, сондай-ақ Батыс Тянь-Шаньның сыртқы жоталарында шағын мұздықтардың салыстырмалы түрде төмен биіктікте орналасуымен байланысты. Дегенмен, зерттеу нәтижелерде Батыс Тянь-Шаньның солтүстік бөлігіндегі мұздықтармен жабылған аумақтардың басқа аудандармен салыстырғанда төмен екенін көрсетеді. Талдау негізінде Арыс өзені бассейнің аймақтары мұз басуға қолайсыз жағдайда деген қорытындыға келдік. Демек, 1957–2022 жылдар аралығында Батыс Тянь-Шаньның басқа мұздық аймақтарымен салыстырғанда жоғары болды.

Түйін сөздер: Батыс Тянь-Шань, климаттың өзгеруі, мұздықтардың қысқаруы, мұздықтарды картаға түсіру, түгендеу, қашықтықтан зондау.

A.A. Merekeyev^{1,2*}, S.M. Nurakynov³, N.K. Sydyk¹,
Ә.А. Amangeldi¹, G.M. Iskaliyeva¹, A.A. Kaldybayev¹

¹Institute of Ionosphere, Kazakhstan, Almaty

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

³Satbayev University, Kazakhstan, Almaty

* e-mail: merekeev.aibek@gmail.com

Study of glaciers using modern methods of remote sensing of the earth of the western tien shan: arys river basin

A study on changes in glaciers in the Arys River basin in the Western Tien Shan in the periods 1957–2000, 2000–2011 and 2011–2022 was conducted. Our study was based on the analysis of data obtained using Landsat TM/ETM+ and OLI. In 2000, 74 glaciers with a total area of 18.02 km² were discovered. However, by 2022, the number of glaciers had decreased to 58, and the total area was 11.48 km². This indicates a reduction of 6.54 km² or, equivalently, 1.65% per year over 22 years. In addition, we studied the rate of reduction of glaciers, considering their size, height and slope. As a result, there was a significant decrease in the size of glaciers by 36.29%. The main reason for this noticeable decrease is most likely due to the prevailing trend of rising temperatures, as well as the fact that small glaciers are located at relatively low altitudes in the outer ridges of the Western Tien Shan. However, the research results show that the rate of reduction of glacier-covered areas of the northern part of the Western Tien Shan is relatively lower compared to other territories. Based on the analysis, it was concluded that the glacial areas of the Arys River basin are in unfavorable conditions for glaciation. Consequently, in these regions, the rate of glacier reduction is higher than in other glacial regions of the Western Tien Shan in the period from 1957 to 2022.

Key words. Western Tien-Shan, climate change, glacier reduction, glacier mapping, inventory, remote sensing.

А.А. Мерекеев^{1,2*}, С.М. Нурақынов³, Н.К. Сыдык¹,
А.А. Амангелді¹, Г.М. Искалиева¹, А.А. Калдыбаев¹

¹Институт ионосферы, Казахстан, г. Алматы

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

³Satbayev University, Казахстан, г. Алматы

* e-mail: merekeev.aibek@gmail.com

Исследование изменения площади ледников с использованием дистанционного зондирования Земли на территории Западного Тянь-Шаня: бассейн реки Арыс

Было проведено исследование изменений ледников в бассейне реки Арыс в Западном Тянь-Шане в периоды 1957–2000, 2000–2011 и 2011–2022 годов. Наше исследование было основано на анализе данных, полученных с помощью Landsat TM/ETM+ и OLI. В 2000 году было обнаружено 74 ледника общей площадью 18,02 км². Однако к 2022 году количество ледников сократилось до 58, а общая площадь составила 11,48 км². Это говорит о сокращении на 6,54 км² или, что эквивалентно, на 1,65% в год за 22 года. Кроме того, мы изучили скорость сокращения ледников с учетом их размеров, высоты и уклона. В результате наблюдалось значительное уменьшение размера ледников на 36,29%. Основная причина этого заметного снижения, скорее всего, связана с преобладающей тенденцией повышения температуры, а также с тем, что небольшие ледники расположены на относительно низких высотах во внешних хребтах Западного Тянь-Шаня. Однако результаты исследований показывают, что темпы сокращения покрытых ледниками районов северной части Западного Тянь-Шаня сравнительно ниже по сравнению с другими территориями. На основе проведенного анализа сделан вывод, что ледниковые районы бассейна реки Арыс находятся в неблагоприятных условиях для оледенения. Следовательно, в этих регионах темпы сокращения ледников выше, чем в других ледниковых районах Западного Тянь-Шаня в период с 1957 по 2022 год.

Ключевые слова: Западный Тянь-Шань, изменение климата, сокращение ледников, картирование ледников, инвентаризация, дистанционное зондирование.

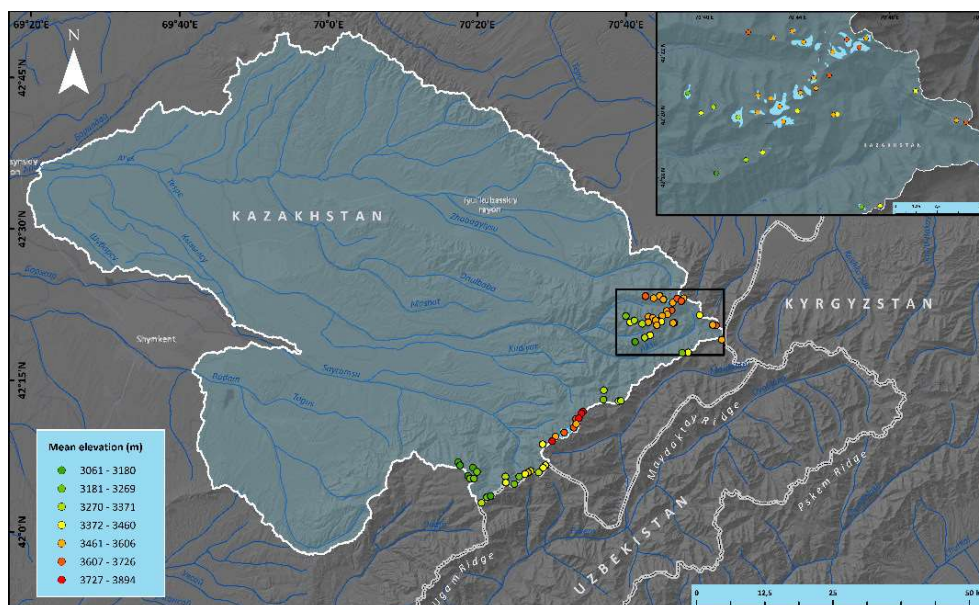
Кіріспе

Орталық Азияның гидрологиялық циклінде мұздықтар маңызды рөл атқарады [1-3]. Тянь-Шань жотасының мұздықтары әлемдегі ең ірі суарылатын алқаптар Қазақстан, Қырғызстан және Өзбекстанның ойпаттарын сумен қамтамасыз етеді [4]. Мұздықтар қыста жиналып және жазда еріген су түрінде шығады [5], құрғақ жылдарда сумен қамтамасыз етеді. Соңғы жылдары мұздықтардың азаюы, жаз мезгілінде өзен ағынының азаюына әкеледі деп күтілуде. Арыс өзенінің бассейні Тянь-Шань Алатауының батыс бөлігінде, Қазақстан а және Өзбекстан, Қырғызстанмен шектеседі (1-сурет, мұнда вегетациялық кезеңінде суару мұздықтардың еруіне байланысты [6]. Арыс, Пскем, Асса, Талас, Шатқал және басқа да өзендерді суару үшін қарқынды пайдаланылады. Мұздықтардың экономикаға маңыздылығына қарамастан, Орталық Азиядағы мұздықтардың нақты

жағдайы туралы ақпарат аз. Мұздықтардың алғашқы тугендеу тізімі, «Мұздықтардың каталогы» [7] – 1976 жылы жарияланған және 1957 жылғы аэрофототүсірілімге негізделген. 1990 жылдары КСРО ыдырағаннан кейін тұрақты гляциологиялық өлшемдер тоқтатылды. Осылайша, Тянь-Шань Алатауының батыс бөлігіндегі мұздықтар, оның бассейндердің өзгеруін аз зерттелінген. Бұл мақалада жартылай автоматты әдістерді қолдана отырып, 1957–2000, 2000–2011 және 2011–2022 жылдардағы Арыс өзенінің бассейніндегі мұздықтардың ауданын көрсетілген, жолақ қатынасына негізделген [8].

Осылайша, Тянь-Шань Алатауының батыс бөлігіндегі мұздықтардың, оның ішінде жеке-леген бассейндердің беткі қабатының өзгеруі аз зерттелген күйінде қалып отыр.

Бұл жұмыстың мақсаты – ЖҚЗ деректері негізінде Тянь-Шань Алатауының батыс бөлігіндегі Арыс өзені бассейніндегі мұздықтар ауданының өзгеру динамикасын талдау.



1-сурет – Зерттеу аймағының картасы. Арыс өзенінің бассейні

Зерттеу материалдары мен тәсілдер

Бұл зерттеуде Landsat 5 Thematic Mapper (TM), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper (ETM+), Landsat 8 operational Land Imager (OLI) және Landsat 9 operational Land Imager-2 (OLI-2) сияқты жерсеріктердің оптикалық деректері қолданылды. Мұздықтардың контурын анықтау және анықтау дәлдікті бағалау үшін Google Earth платформасындағы қол жетімді жоғары дәлдіктегі суреттер де пайдаланылды. Барлық суреттер аблиция маусымының соңында – 10 тамыз бен 25 қыркүйек аралығында – мұздықтар маусымдық қарсыз және бұлтсыз жағдайда болған кезде алынды, бірақ мұздықтардың кейбір шеттері тау жартастары мен мұздық қабырғаларының көлеңкелерімен жасырылған болды. Барлығы, 2000 және 2011 жылдарға екі Landsat 5 (TM) суреттері, 2011-2012 жылдарға екі Landsat 7 (ETM+) суреттері, 2022 жылға бір Landsat 8 (OLI) суреті және 2022 жылғы бір Landsat 9 (OLI-2) суреті пайдаланылды.

Landsat (L1T деңгейі) геореферентті суреттері АҚШ Геологиялық қызметінің Жерді бақылау және ресурстық ғылым орталығымен (EROS) қамтамасыз етілген және EarthExplorer электрондық ресурсынан жүктелді (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Суреттердің сапа-

сын жақсарту үшін Pan-sharpening арналарды біріктіру процесі жүргізілді, осылайша, суреттердің дәлдігі 15 м ге дейін жақсартылды (1-кесте).

Мұздықтардың контурын анықтау үшін Google Earth-те қол жетімді ғарыштық суреттер визуалды басқару құралы ретінде қызмет етті. Деректер негізінен Quickbird, Worldview, Pleiades 1A және 1B, сондай-ақ SPOT 6 және SPOT 7 сияқты жоғары дәлдіктегі оптикалық сенсорлардан алынды. Өкінішке орай, олар барлық аймақтарды қамтымайды.

Мұздықтарды инвентаризациялау барысында Alos PALSAR Жер бедерінің сандық үлгісі су алаптары мен топографиялық ақпаратты есептеу үшін пайдаланылды. Сондай-ақ, мұздықтар ауданының өзгеру динамикасын талдау кезінде 1957 жылғы аэрофотосуреттер негізінде жарияланған 1976 жылғы КСРО мұздықтары каталогының (Батыс-Тянь-Шань аумағындағы мұздықтар) 14-томының 1-ші шығарылымы пайдаланылды.

Ғалымдар [8-12] мұздықтардың шекараларын алу үшін әртүрлі әдістерді қолданды, соның ішінде колмен визуалды интерпретация, арналар қатынасының шекті әдісі, қалыпқа келтірілген қар индексі әдісі және визуалды интерпретациямен біріктірілген жолақ қатынасының шекті әдісі.

1-кесте – Осы зерттеуде пайдаланылған Landsat көріністерінің тізімі

WRS2 Path-Row	Күні	Жерсерік атауы	Кеңістіктік дәлдік (м)	Суреттердің жарамдылығы	Суреттердің жарамдылығы
153-031	23 тамыз 2000	Landsat TM	30/120	Негізгі	
	13 тамыз 2011	Landsat TM	30/120	Негізгі	Маусымдық қар, көлеңкелі аумақтар
153-031	06 қыркүйек 2011	Landsat ETM+	15/30/60	Қосымша ақпарат	
	23 тамыз 2012	Landsat ETM+	15/30/60	Қосымша ақпарат	Жолақтарды толтыру
153-031	04 қыркүйек 2022	Landsat OLI-2	15/30/100	Негізгі	Маусымдық қар
	25 қыркүйек 2021	Landsat OLI	15/30/100	Қосымша ақпарат	

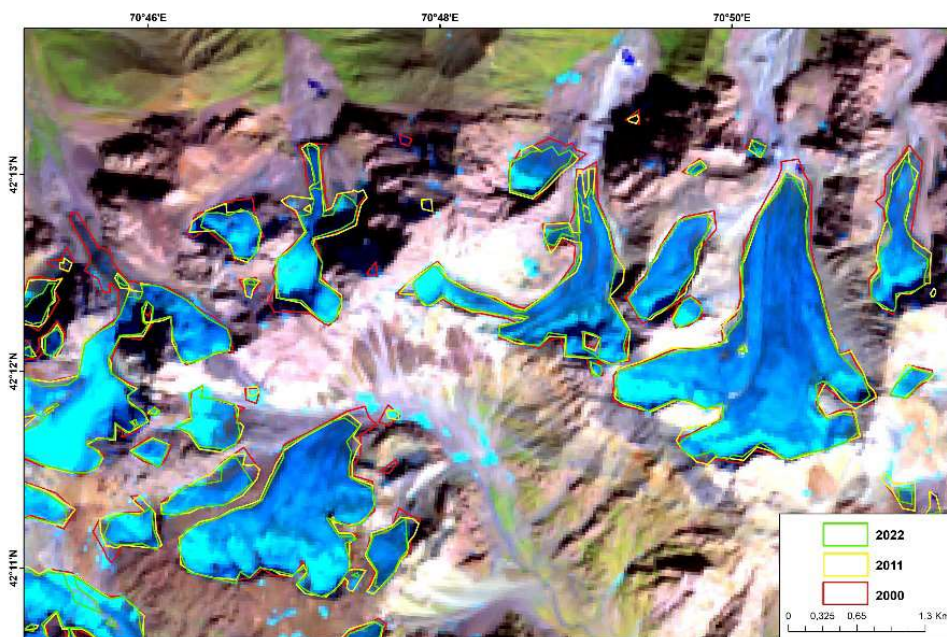
Жоғарыда атап айтылған зерттеулер көрсеткендей, қашықтықтан зондтаудың мультиспектралды суреттеріне негізделген арна қатынасының шекті әдісі визуалды интерпретациямен бірге мұздықтардың шекараларын анықтау кезінде салыстырмалы түрде дәл.

GLIMS семинарындағы бірнеше презентациялар таза немесе аздап ластанған мұзды автоматты түрде алу әдістерін көрсетті.

Әрі қарай әр түрлі әдістерді, соның ішінде Landsat ETM+ (Band 3 / Band 5, Band 4 / Band 5), Landsat OLI (Band 4 / Band 6,

Band 5 / Band 6) (2-сурет) арналарының арақатынасын және медианалық сүзгіні және қараңғы нысандарды азайтуды мұқият салыстырды [13,14].

Оның зерттеуіне сәйкес, Landsat ETM+ (TM 3/5) және Landsat OLI (OLI 4/6) арақатынасы сенімді, қарапайым және дәл әдіс болып табылады, ішінара қолмен ажыратудан да жақсы (яғни жалпыланбаған және бүкіл көрініс үшін дәйекті). Бұл әдістің артықшылығы – таза мұзды тіпті жұқа бұлттардың астында және көлеңкелі жерлерде де анықтауға болады.



2-сурет – 2000 жылдан 2022 жылға дейін Арыс өзені бассейнінің бөлігіндегі мұздықтардың өзгеруінің мысалы, Landsat 9 OLI-2 (4 қыркүйек 2022)

Жоғарыда аталған зерттеу әдістерін ескере отырып, осы жұмыста Батыс-Тянь-Шань аймағындағы мұздықтардың шекараларын анықтау үшін жолақ қатынасын қолмен түзету әдісі қолданылды. Біріншіден, мұздық аймағының каналдардың жолақ қатынасын қолдану арқылы алынды (Landsat ETM+: Band 3 / Band 5, Landsat OLI: Band 4 / Band 6) және қайта сынақтан кейін шекті мән 1,4 ~ 2,1 диапазонында таңдалынды.

Бұл жұмыста 2000 жылғы мұздықтар тілінің контурын анықтау барысында мұздықтардың шекаралары ТМ (B6) термалды арнасының көмегімен цифрландырылды және соңғы вектор 1999 жылғы SRTM Жер бедерінің сандық үлгісінен алынған көлеңкелеуге (Hillshade) қойылды. 2011 және 2022 жылдары Жер бедерінің сандық үлгісі қол жетімді болмағандықтан, мұздықтар тілінің контурын цифрландыру үшін сәйкесінше тек ETM+ (B6) және OLI (B10) термалды арнасы пайдаланылды.

Соңғы нәтижелер Google Earth қойылды және тағы бір рет талданды.

Көлеңкелі аймақтарды картаға түсіру үшін біз шегі 7400 болатын (қолмен алынған) Band 2 қолдандық. Көлеңкелі аймақтарды картаға түсіру үшін біз Landsat суреттерінің метадектеріндегідей күн азимутын және басқа параметрлерді пайдаланып есептелген SRTM HillShade қолдандық. Біз көлеңкелі аймақтардағы мұздықтарды Band 2 > 7400 және hillshade <= 0 (0-ден аз немесе оған тең) қиылысы ретінде алдық.

Зерттеу нәтижелері мен талқылаулар

Мұздықтардың таралу сипаттамалары 2022 жылғы Landsat мәліметтері бойынша Батыс Тянь-Шаньдағы (2-кесте) Арыс өзенінің бассейнінен ауданы 0,005 км² асатын жалпы ауданы 15.25 км² тең 74 мұздықтар анықталды және картаға түсірілді.

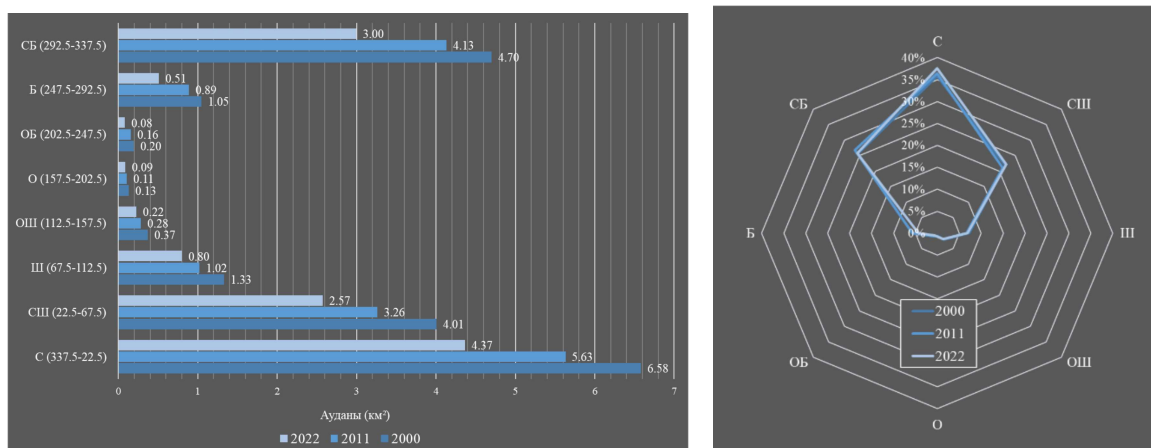
2-кесте – Мұздықтардың саны мен ауданының өзгеруі

Бассейн	1957	2000	2011	2022	1957-2000	1957-2022	2000-2011	2000-2022	2011-2022	Орташа мөлшері 2000/2022
	Аудан км ² (Саны)				Ауданның азаюы % (% ж-на ⁻¹)					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Арыс	34.2 (87)	18.02 (74)	15.25 (74)	11.48 (58)	-47.31 (-1.10)	-66.43 (-1.02)	-15.37 (-1.4)	-36.29 (-1.65)	-24.72 (-2.25)	0.24/0.19
Мұздықтар <0.005 км ²	1.6 (59) <0.1 км ²	0.35 (14)	0.24 (11)	0.17 (9)	78.13 (-1.82)	-89.38 (-1.38)	-31.43 (-2.86)	-51.43 (-2.34)	-29.17 (-2.65)	0.026/0.001

Шағын және орта мұздықтар өте көп, бірақ олардың жалпы ауқымы шектеулі, ал ірілеу және өте ірі мұздықтардың аз болуы мұзды аймақтардың негізгі бөлігін құрайды. Мұздықтың орташа ауданы 0.19 км² болды, ал класс мұздығы басым болды. Ауданы 1 км² немесе одан да көп екі ірі мұздықтар болды, бірақ олар зерттелетін аймақтағы жалпы мұздану аймағының 36.47% құрады.

Мұз қабатының таралуы ALOS PALSAR DEM көмегімен анықталды және аймақтар арасындағы шамалы айырмашылықтарды көрсетті. Мұздықтардың көпшілігі солтүстікке

(солтүстік, солтүстік-батыс және солтүстік-шығыс) (3-сурет) бағытталған және теңіз деңгейінен 3400-3600 м биіктікте орналасқан (4-сурет). Зерттелетін таулы аймақтағы мұздықтардың аспектісі бойынша орналасуы 37.5% (2011-36.4%, 2000-35.8%) солтүстік бөлігіде, 22.1% (2011-21.1%, 2000-21.8%) – солтүстік-шығысқа қарай, 25.7% (2011-26.7%, 2000-25.6%) – солтүстік-батыс бөлігінде. Шығыс бөлігінде 6.9 %, батыста 4.4% – дан астам, оңтүстік-шығыста шамамен 1.9%, ал ең аз таралғаны оңтүстік (0.7%) және оңтүстік-батыс (0.7%-дан астам) бөліктері орналасқан (3-сурет).

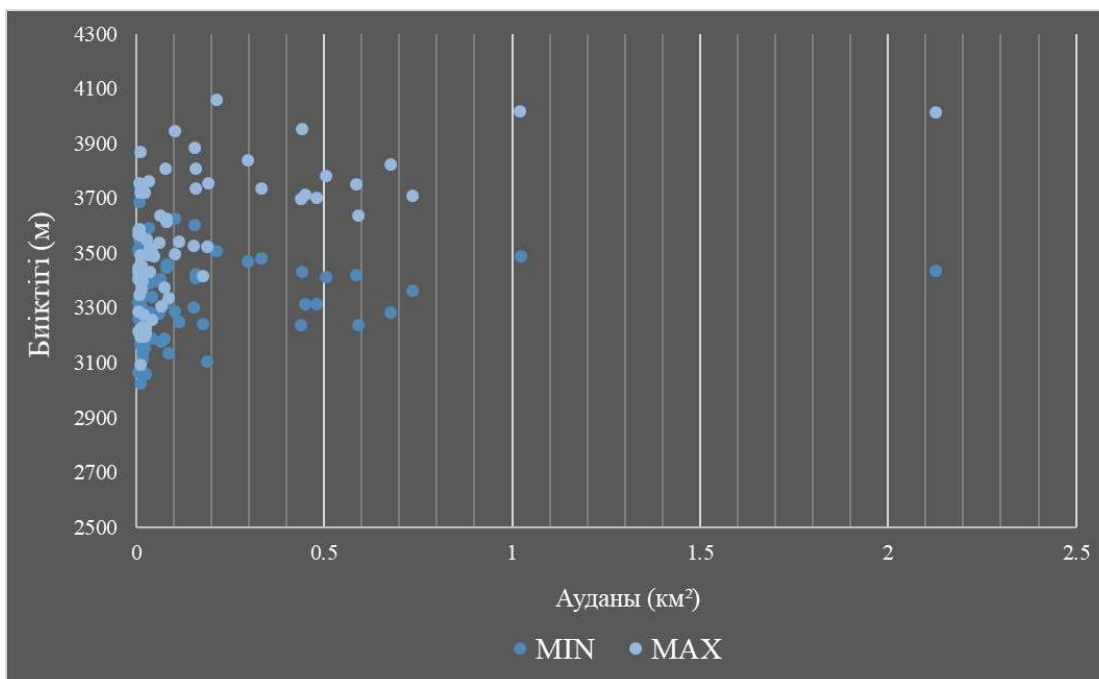


3-сурет – 2000-2022 жж. Арыс өзені бассейніндегі мұздықтар ауданының таралуы және олардың экспозиция бойынша өзгеруі

Мұздықтардың ең үлкен ауданы теңіз деңгейінен 3400-3600 м биіктікте орналасқан. Топографиялық мәліметтерге негізделген ұзақ мерзімді тепе-теңдік сызығының (ELA) қолайлы және кеңінен қолданылатын индикаторы болып табылатын мұздықтардың орташа биіктігі теңіз деңгейінен 3450 м биіктікте орналасқан [15]. Төменгі биіктіктегі мұздықтар негізінен зерттелетін аумақтың солтүстік-батыс бөлігінде, ал ең биік биіктіктегі

мұздықтар солтүстік-шығыс бұрышында орналасқан.

Зерттелетін аймақтағы мұздықтардың басым көпшілігі негізінен 3400-3800 м биіктікте шоғырланған (5-сурет). 2022 жылғы мәліметтер бойынша, мұздықтардың 42.85%-ы теңіз деңгейінен 3400-3600 м биіктікте шоғырланған. Сондай-ақ, мұздықтардың 32.82%-ы 3600-3800 м биіктікте, 15.21%-ы 3200-3400 м (4-сурет) биіктікте орналасқан.



4-сурет – Мұздықтардың зерттеу аймағында максималды және минималды биіктікте орналасуы

Мұздықтар ауданындағы өзгерістер

Біз 2000 жылы 74, 2011 жылы 74 және 2022 жылы 58 мұздықтарды анықтадық, олар сәйкесінше 34,2 м², 18,02 км² және 11,48 км² аудандармен мұздықтар каталогына енгізілді. Сонымен қатар, 2000 жылы 0,005 км² – 14, 2011 жылы – 11 және 2022 жылы – 9-дан аз мұздықтар анықталды, олардың жалпы ауданы 0,35, 0,24 және 0,17 км² (2-кесте).

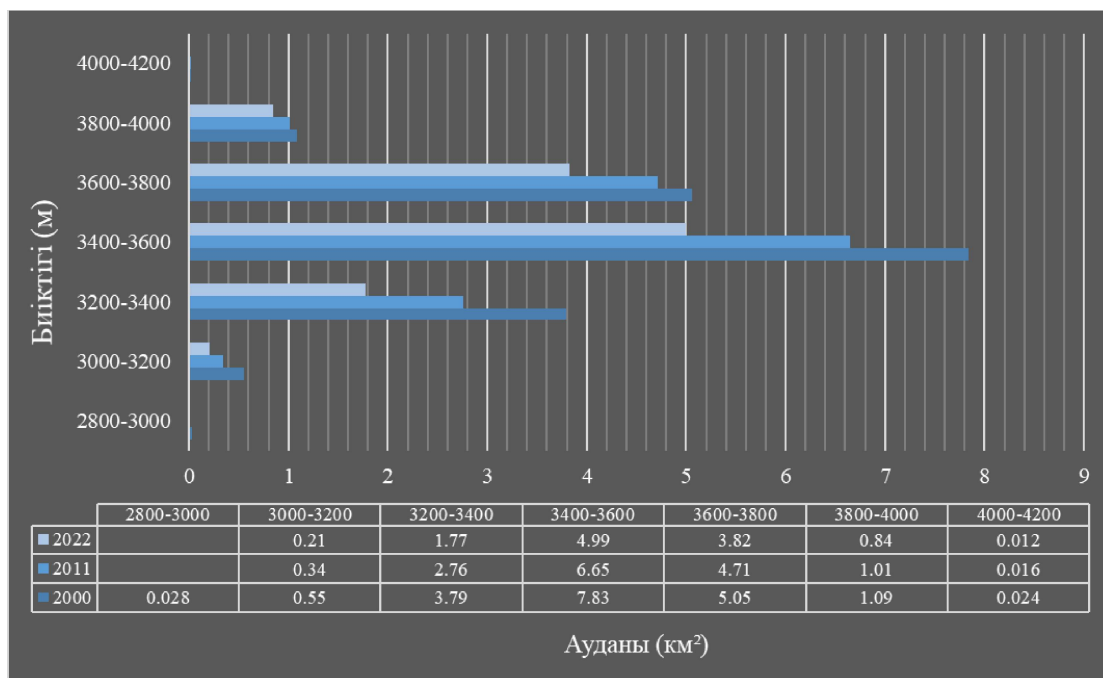
Осылайша, Зерттеу аумағы бойынша 1957-2000 жылдар аралығындағы ауданның жалпы өзгеруі -47,31% құрады. 2000-2011 жылдардағы өзгеріс -15,37%, ал 2011-2022 жылдар аралығында – -24,72% құрады; бүкіл кезеңде мұздандудың жалпы ауданы 1957 жылы 34,2 км²

(87 мұздық) 2022 жылы 11,48 км² (58 мұздық) дейін, яғни 65 жылда 66.43% – ға азайды.

Біздің зерттеу кезеңінде Каталогталған 30 мұздықтар мен 50 тіркелмеген шағын мұздықтар табылған жоқ. Барлық мұздықтар зерттеу кезеңінде үздіксіз қысқарып отырды.

Біздің нәтижелеріміз 2000-2022 жылдардағы мұздықтар аумағының жоғалуы 36.29% (-1.65% жылдық) құрағанын көрсетеді.

Жоғарыда айтылғандай, орташа ауданы 0.24 км² ең үлкен мұздықтар 2000 жылы, ал орташа ауданы 0.19 км² болатын ең кішкентай мұздықтар 2022 жылы тіркелді. 2011-2022 жылдар кезеңі ең жоғары төмендеу жылдамдығына ие болды (жылына -2.25%).



5-сурет – Арыс өзені бассейніндегі бийіктік интервалына байланысты мұздықтар аудандарының бөлінуі және олардың өзгеруі

Зерттелген мұздықтардың аумағының өзгеруі мұздықтардың азаюының күтілетін және кеңінен жарияланған тенденциясын растады [16-18].

Біздің зерттеуіміздің нәтижелері көрсеткендей, 1957-2000 және 2000-2022 жылдар кезеңінде ауданның қысқаруының жылдық көрсеткіші 1.10-1.65% құрады, бұл көрсеткіш Батыс-Тянь-Шаньның басқа мұзды аймақтарына ұқсас [18, 19].

Қорытынды

Бұл зерттеу қазіргі уақытта бақылау деректерінің жеткілікті жазбалары жоқ Арыс өзенінің бассейндеріндегі мұздықтардың өзгеруін егжей-тегжейлі ұзақ мерзімді қашықтықтан талдаудың ғылыми құндылығын көрсетеді. Біздің зерттеуімізде ғарыштық суреттер (30 м дәлдік) және ALOS PALSAR рельефтің сандық моделі (12,5 м дәлдік) қолданылды. Шекті

қатынас әдісі (TM3/TM5, OLI4/OLI6) және визуалды интерпретация зерттелетін аймақтағы мұз қабатының шекараларын анықтауда жақсы көрсетті. Бассейнде 2000 жылы жалпы ауданы 18,02 км² болатын 74 мұздық анықталды, бұл көрсеткіш 2022 жылға қарай 11,48 км² дейін азайды, кішірею 6,54 км² құрайды (кішірею жылдамдығы жылына 1,65%).

Біздің нәтижелер Тянь-Шаньның кейбір басқа мұзды аймақтарына қарағанда зерттелетін аумақ үшін қысқартудың жоғары қарқынын көрсетеді. Бұл құбылыс біз зерттеп жатқан аймақтың ішкі жоталарға қарағанда Батыс-Тянь-Шаньның климаттық жағдайы қолайсыз шегінде орналасуымен ғана емес, сонымен

қатар мұздықтардың кішірек өлшемдерімен бетінде қиыршық тас жамылғысы жоқтығымен да байланысты болуы мүмкін. Суб-бассейндер арасындағы мұздықтардың азаюындағы айырмашылықтарды Өлшем, бағдар және жергілікті климаттық жағдайлардағы айырмашылықтармен түсіндіруге болады. Зерттеу кезеңінде жаңа мұздықтар пайда болған жоқ. Мұздықтар мен климаттың күрделі өзара әрекеттесуін әрі қарай зерттеу қажет екені анық.

Жұмыста жүргізілген зерттеулер Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғарғы білім министрлігінің қаржылай қолдауымен № AP14872134 жүзеге асырылды.

Әдебиеттер

1. Armstrong, R. L.: The glaciers of the Hindu Kush-Himalayan region: a summary of the science regarding glacier melt/retreat in the Himalayan, Hindu Kush, Karakoram, Pamir, and Tien Shan mountain ranges. ICIMOD: 20, (2010).
2. Sorg, A., Bolch, T., Stoffel, M., Solomina, O., Beniston, M.: Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia). *Nat. Clim. Chang.*, vol. 2, 725–731 (2012).
3. Kaldybayev, A., Chen, Y., Vilesov, E.: Glacier change in the Karatal river basin, Zhetysu (Dzhungar) Alatau, Kazakhstan. *Annals of Glaciology*, 57(71), 11-19 (2016),
4. Farinotti, D., Longuevergne, L., Moholdt, G., Duethmann, D., Mölg, T., Bolch, T., Vorogushyn, S., Güntner, A.: Substantial glacier mass loss in the Tien Shan over the past 50 years. *Nat. Geosci.*, vol. 8, 716–722 (2015).
5. Narama, C., Kääh, A., Duishonakunov, M., Abdrakhmatov, K.: Spatial variability of recent glacier area changes in the Tien Shan Mountains, Central Asia, using Corona (~1970), Landsat (~2000), and ALOS (~2007) satellite data. *Glob. Planet. Chang.*, vol. 71, 42–54 (2010).
6. Vilesov Ye. N., Severskiy I. V.: Degradatsiya oledneniya Dzhungarskogo (Zhetysu) Alatau vo vtoroy polovine KHKH v. Lod i sneg. 53(2), 12-20 (2013) (In Russian).
7. Katalog lednikov SSSR. V. 13. Vyp. 2. CH. 6. Basseyny rek Biyen, Aksu, Lepsy. L.: Gidrometeoizdat, 84 (1970) (In Russian).
8. Robson B. A. et al. Decadal scale changes in glacier area in the Hohe Tauern national park (Austria) determined by object-based image analysis // *Remote Sensing*. – 2016. – V. 8. – №. 1: 67.
9. Racoviteanu A., Williams M. W. Decision tree and texture analysis for mapping debris-covered glaciers in the Kangchenjunga area, Eastern Himalaya // *Remote sensing*. – 2012. – V. 4. – №. 10: 3078-3109.
10. Rastner P. The local glaciers and ice caps on Greenland: their mapping, separation from the ice sheet and their climate sensitivity: dis. – University of Zurich, 2014: 190.
11. Bolch T (2007) Climate change and glacier retreat in northern Tien Shan (Kazakhstan/Kyrgyzstan) using remote-sensing data. *Global Planet. Change*, 56(1–2): 1–12 (doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.009)
12. Paul F, Ka`a`b A, Maisch M, Kellenberger T and Haerberli W (2004) Rapid disintegration of Alpine glaciers observed with satellite data. *Geophys. Res. Lett.*, 31(21), L21402. – P. 4. (doi: 10.1029/2004GL020816) data: distribution of debris cover and mapping challenges. *Earth System Science Data*, 10(4): 1807-1827.
13. Paul, F.; Barrant, N.E.; Baumann, S.; Berthier, E.; Bolch, T.; Casey, K.; Frey, H.; Joshi, S.P.; Kononov, V.; Le Bris, R.; et al. On the accuracy of glacier outlines derived from remote-sensing data. *Ann. Glaciol.* 2013, 54, 171–182.
14. Paul, F.; Kääh, A. Perspectives on the production of a glacier inventory from multispectral satellite data in Arctic Canada: Cumberland Peninsula, Baffin Island. *Ann. Glaciol.* 2005, 42, 59–66.
15. Braithwaite, R. J., & Raper, S. C. B. (2009). Estimating equilibrium-line altitude (ELA) from glacier inventory data. *Annals of Glaciology*, 50(53): 127-132.
16. Sorg, A., Bolch, T., Stoffel, M., Solomina, O., & Beniston, M. (2012). Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia). *Nature Climate Change*, 2(10): 725-731.
17. Unger-Shayesteh, K., Vorogushyn, S., Farinotti, D., Gafurov, A., Duethmann, D., Mandychyev, A., & Merz, B.: What do we know about past changes in the water cycle of Central Asian headwaters? A review. *Global and Planetary Change* 110 (2013): 4-25.
18. He, Y., Yang, T. B., Ji, Q., Chen, J., Zhao, G., & Shao, W. W. (2015). Glacier variation in response to climate change in Chinese Tianshan Mountains from 1989 to 2012. *Journal of Mountain science*, 12(5): 1189-1202.
19. Severskiy, I., Vilesov, E., Armstrong, R., Kokarev, A., Kogutenko, L., Usmanova, Z., ... & Raup, B. (2016). Changes in glaciation of the Balkhash–Alakol basin, central Asia, over recent decades. *Annals of Glaciology*, 57(71): 382-394.