

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

ӘОЖ 622.271

Қолжазба құқығында

Хамраева Жұлдызай Абуалиқызы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертацияның атауы: Су объектілерінің интерактивті карталарын құру кезінде
картографиялық кескіндерді зерттеу

Дайындау бағыты: 7М07306 – Геокеңістіктік цифрлық инженерия

Ғылыми жетекші,
т.ғ.к., профессор

Нурпеисова Т.Б.
«23» 05 2025 ж.

Рецензент

PhD, Ғауым. профессор

Алтаева А.А.
«24» 06 2025 ж.

Норма бақылаушы

PhD, Ғауым. профессор

Айтказинова Ш.К.
«23» 06 2025 ж.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

«Маркшейдерлік іс және геодезия»
кафедрасының меңгерушісі
т.ғ.к., Ғауым. профессор

Мейрамбек Г.М.
«25» 06 2025 ж.

Алматы 2025

3 Дубина В.А., Шамов В.В., Плотников В.В. Катастрофическое наводнение в Приморье в августе 2018 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15, №5. – С. 253–256. – DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-253-256.

Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескертулер
Су объектілерін зерттеудің геоакпараттық және картографиялық негіздері. Қашықтықтан зондтау (ҚЗ) деректерінің су объектілерін карталаудағы маңызы. Су объектілерінің өзгеруін модельдеу үшін машиналық оқыту мен деректерді визуализациялау тәсілдері	01.10.2024 ж.	ноқ
Зерттеу әдістемесі және деректерді өңдеу құралдары. Су айырмашылығының индексі бар Sentinel-2 суреттері арқылы су объектілерін картаға түсіру	20.12.2024 ж.	ноқ
Су тасқынына қатысты су объектілерінің интерактивті карталарын құру. Python бағдарламасын пайдалану арқылы су айдындарын автоматты түрде жіктеу және су тасқыны аймақтарын анықтау	01.03.2025 ж.	ноқ

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қатысты бөлімдердегі диссертациялар кеңесшілері мен норма бақылаушысының қойған қолдары

Бөлімдердің атаулары	Консультанттар, аты-жөні (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Теориялық бөлім	техника ғылымдарының кандидаты, профессор Нурпеисова Т.Б.	01.10.2024 ж.	
Зерттеу бөлімі	техника ғылымдарының кандидаты, профессор Нурпеисова Т.Б.	20.12.2024 ж.	
Негізгі бөлім	техника ғылымдарының кандидаты, профессор Нурпеисова Т.Б.	01.03.2025 ж.	
Норма бақылаушы	қауымдастырылған профессор, PhD Айтказинова Ш.Қ.	23.06.2025	

Ғылыми жетекші

Нурпеисова Т.Б.

Білім алушы тапсырманы орындауға алды

Хамраева Ж.А.

Күні

« 20 » 01 2025 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті"
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

Маркшейдерлік іс және геодезия кафедрасы

Хамраева Жұлдызай Абуалиқызы

Су объектілерінің интерактивті карталарын құру кезінде
картографиялық кескіндерді зерттеу

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

7М07306 – Геокеңістіктік цифрлық инженерия

Алматы 2025

АНДАТПА

Бұл зерттеу жұмысының мақсаты – су тасқыны сияқты табиғи апаттардың кеңістіктік-уақыттық сипатын анықтау және оларды басқаруда тиімді шешімдер ұсыну мақсатында Атырау облысының аумағында орын алған су тасқындарын геоақпараттық жүйелер және машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып интерактивті карталар түрінде бейнелеу болып табылады.

Зерттеу барысында спутниктік суреттер (Sentinel-1, Sentinel-2), аэрофотосуреттер арқылы алынған мәліметтер негізінде су басу аймақтары анықталды. Машиналық оқытудың supervised classification әдістері – Random Forest, Support Vector Machine және Decision Tree алгоритмдері арқылы су, құрғақ жер, өсімдіктер және инфрақұрылым нысандары ажыратылды. Сонымен қатар, Google Earth Engine платформасы арқылы су басу динамикасы көпжылдық деректер негізінде талданды.

ArcGIS Pro сынды ГАЖ бағдарламалық құралдарында алынған нәтижелер негізінде су тасқыны жиі қайталанатын, қауіпті аймақтар анықталып, оларды алдын ала болжау мен басқару үшін интерактивті карта құрылды. Зерттеу нәтижелері табиғи апаттардың алдын алу, төтенше жағдайлар қызметінің әрекеттерін оңтайландыру және өңірлік жоспарлау саясатын жетілдіру бағытында ғылыми негіз бола алады. Сонымен қатар, бұл әдіс Атырау облысы ғана емес, басқа да су тасқыны қауіпі бар өңірлер үшін үлгі ретінде ұсынылады.

АННОТАЦИЯ

Данное магистерское исследование направлено на пространственно-временной анализ паводков, произошедших на территории Атырауской области, с применением методов машинного обучения и геоинформационных систем (ГИС) для создания интерактивных карт.

В работе использовались спутниковые данные Sentinel-1 и Sentinel-2, а также аэрофотосъемка с БПЛА. С применением алгоритмов контролируемой классификации (Random Forest, SVM, Decision Tree) выполнено распознавание водных объектов, растительности, почв и инфраструктуры. С помощью платформы Google Earth Engine проанализирована многолетняя динамика паводков, определены наибольшие зоны риска.

Созданные в ArcGIS Pro интерактивные карты позволяют отслеживать масштабы и зоны затопления в разные годы, а также способствуют принятию решений в сфере предотвращения и управления чрезвычайными ситуациями. Методология может быть использована и для других регионов, подверженных аналогичным природным угрозам.

ABSTRACT

This master's research focuses on the spatial and temporal analysis of flood events in the Atyrau region using machine learning techniques and geographic information systems (GIS) to develop interactive cartographic tools.

The study utilizes satellite imagery from Sentinel-1 and Sentinel-2, as well as aerial data acquired via unmanned aerial vehicles (UAVs). Supervised machine learning algorithms, including Random Forest, Support Vector Machine (SVM), and Decision Tree classifiers, were applied to distinguish between water bodies, vegetation, bare land, and infrastructure. Multitemporal flood dynamics were analyzed using the Google Earth Engine platform to identify high-risk zones.

Interactive maps were developed using ArcGIS Pro and QGIS to visualize flood-prone areas and assess changes over time. These maps support effective flood monitoring, risk assessment, and disaster management planning. The proposed methodology can also be applied to other regions facing similar hydrological hazards.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	7
1 Су объектілерін зерттеудің геоақпараттық және картографиялық негіздері	8
1.1 Қашықтықтан зондтау (ҚЗ) деректерінің су объектілерін карталаудағы маңызы	8
1.2 Жергілікті интерпретацияның картографиялық визуализациясы	13
1.3 Су объектілерінің өзгеруін модельдеу үшін машиналық оқыту мен деректерді визуализациялау тәсілдері	16
Бірінші тарау бойынша тұжырым	21
2 Зерттеу әдістемесі және деректерді өңдеу құралдары	23
2.1 Зерттеу ауданының физика-географиялық сипаттамасы	23
2.2 Деректерді жүктеу және алдын ала өңдеу әдістері	25
2.3 Су айырмашылығының индексі бар Sentinel-2 суреттері арқылы су объектілерін картаға түсіру	30
Екінші тарау бойынша тұжырым	33
3 Су тасқынына қатысты су объектілерінің интерактивті карталарын құру	34
3.1 Су тасқыны кезеңдерін анықтау және су бетінің динамикасын бағалау	34
3.2 Python бағдарламасын пайдалану арқылы су айдындарын автоматты түрде жіктеу және су тасқыны аймақтарын анықтау	37
3.3 Қашықтықтан зондтау деректері негізінде машиналық оқыту арқылы Атырау облысындағы су тасқыны аймақтарын интерактивті картаға түсіру	43
Үшінші тарау бойынша тұжырым	53
Қорытынды	55
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	56

КІРІСПЕ

Зерттелетін тақырыптың өзектілігі. Су объектілерінің кеңістіктік өзгерістерін нақты әрі жедел анықтау қазіргі климаттық өзгерістер жағдайында маңызды экологиялық және әлеуметтік мәселе болып отыр. Атырау облысында соңғы жылдары орын алған су тасқындары өңірдің табиғи жүйелеріне, инфрақұрылымына және тұрғындардың өмір сүру қауіпсіздігіне кері әсерін тигізуде. Қазіргі таңда бұл үдерістерді бағалауда дәстүрлі бақылау әдістері шектеулі болып табылады. Осы тұрғыдан алғанда, қашықтықтан зондтау технологияларын, геоақпараттық жүйелерді және машиналық оқыту әдістерін пайдалану – су объектілерінің динамикасын, соның ішінде су тасқынына бейім аймақтарды уақтылы және дәл анықтауға мүмкіндік береді. Бұл зерттеу аймақтық басқару шешімдерін қолдауға және апаттық жағдайларға алдын ала әрекет етуге негіз болады.

Жұмыстың мақсаты: Картографиялық талдаудың заманауи әдістерін, геоақпараттық технологияларды және веб-карта жасауды қолдана отырып, су объектілерінің интерактивті карталарын құру.

Жұмыстың негізгі міндеттері:

1. Су объектілерін анықтау мен талдауда қолданылатын қашықтықтан зондтау және геоақпараттық әдістерге теориялық шолу жасау;
2. Sentinel-2 спутниктік деректерін жүктеу, өңдеу және су объектілерін картаға түсіру;
3. Су тасқыны кезеңдерін талдау және су бетінің өзгеру динамикасын бағалау;
4. Python бағдарламасы мен машиналық оқыту әдістерін қолданып су айдындарын автоматты түрде жіктеу.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы: Бұл зерттеу нәтижесінде алынған әдістемелік тәсілдер мен дайын интерактивті карталар жергілікті атқарушы органдар, ТЖМ, экологиялық бақылау ұйымдары және басқа да мүдделі құрылымдар үшін табиғи апаттарға қарсы шараларды жоспарлау және іске асыруда тиімді құрал бола алады. Сонымен қатар, бұл әдістер Қазақстанның басқа аймақтарында да бейімделіп қолданылуы мүмкін.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы. Су объектілерін зерттеу барысында машиналық оқытуды қолданып, интерактивті карталар жасау

Жұмыстың құрылымы мен көлемі: Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 3 тараудан, қорытындыдан және 40 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен, 58 беттен, 31 суреттен және 5 кестеден тұрады.

1 Су объектілерін зерттеудің геоақпараттық және картографиялық негіздері

1.1 Қашықтықтан зондтау (ҚЗ) деректерінің су объектілерін карталаудағы маңызы

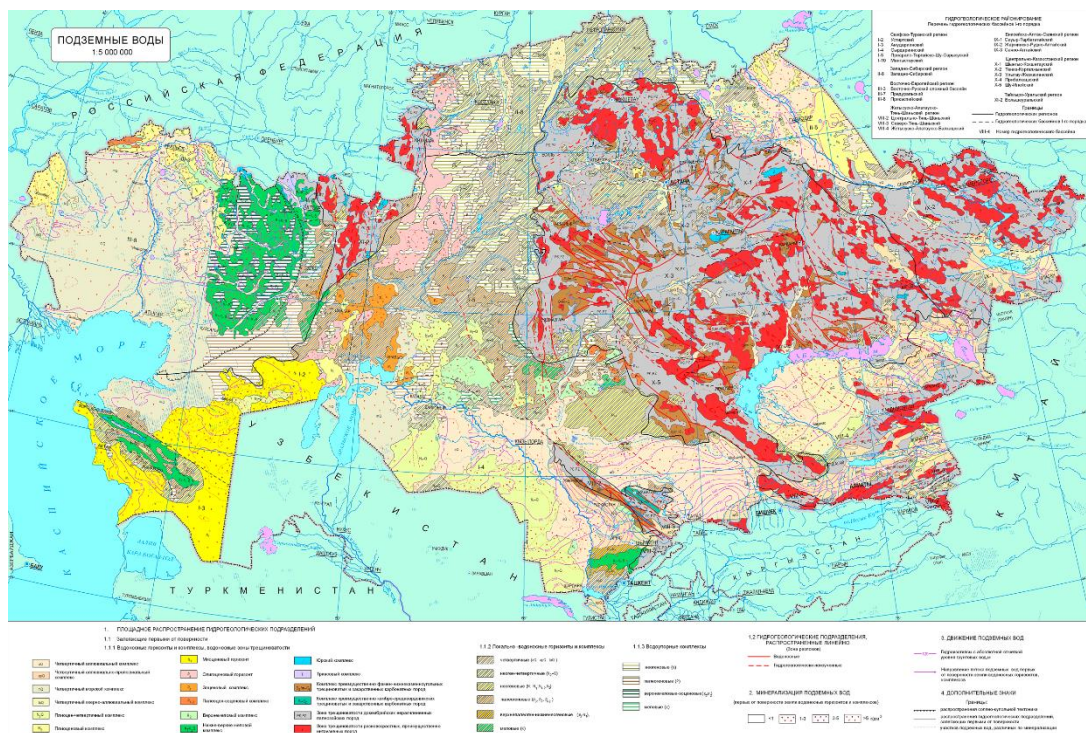
Су ресурстарын тиімді басқару және қорғау үшін заманауи геоақпараттық жүйелер мен қашықтықтан зондтау (ҚЗ) технологиялары кеңінен қолданылады. ГАЖ және ҚЗ деректері жерүсті бақылаулары шектеулі немесе қиын аймақтардағы су объектілерінің жай-күйін бағалауға, кеңістіктік заңдылықтарын анықтауға және уақыт бойынша өзгерістерін қадағалауға мүмкіндік береді [1]. Қазақстан аумағы үлкесінде, әсіресе Атырау облысы сияқты құрғақ климатты өңірлерде, көлдер мен өзендердің таралуы сирек, су айналымы мен балансына климаттық өзгерістер мен адам қызметі айтарлықтай әсер етеді [2]. Осындай жағдайларда су объектілерін зерттеудің ғылыми негізінде геоақпараттық және картографиялық әдістерді дұрыс қолдану маңызды.

1- суретке сәйкес, Қазақстан Республикасының су ресурстары негізінен жерүсті және жерасты көздерінде шоғырланған [3]. Алайда, бұл ресурстар ел аумағында біркелкі таралмаған. Аймақтық тұрғыдан алғанда, су қорларының ең көп үлесі шығыс өңірге тиесілі – 34,5%, ал солтүстік аймаққа – 4,2%, орталыққа – 2,6%, оңтүстік-шығысқа – 24,1%, оңтүстікке – 21,2% және батысқа – 13,4% үлес сәйкес келеді. ҚР Ауыл шаруашылығы министрлігіне қарасты Су ресурстары комитетінің 2023 жылғы мәліметтері бойынша, республикадағы тұщы су қоры жалпы көлемі 524 км³ деп бағаланған [4]. Оның ішінде 80 км³ мұздықтарда, 190 км³ көлдерде, 101 км³ өзендерде, ал 58 км³ жер асты суларында жинақталған.

Қазақстандағы су ресурстарының орташа деңгейі елдің әрбір шаршы шақырысына 20 мың м³ су келетін мөлшерде. Алайда, су ресурстарымен қамтамасыз етілу жағдайы аймақтар бойынша айтарлықтай ерекшеленеді. Кейбір өңірлер суға жеткілікті қамтамасыз етілген, мысалы, Ертіс өзенінің алабы (Шығыс Қазақстан облысы), ал кейбір аймақтарда су тапшылығы сезіледі, мысалы, Маңғыстау облысы. Қазақстан аумағында жалпы сегіз өзен алабы бөлінген [5].

Қазақстан Республикасының аумағында шамамен 39 мың өзен мен уақытша су ағындары бар, олардың 7 мыңнан астамының ұзындығы 10 км-ден асады [6]. Сонымен қатар, ел аумағында 48 мыңнан астам көл орналасқан, олардың жалпы су айдынының ауданы 4500 км², ал су көлемі шамамен 190 км³ құрайды [7].

Жерасты су қорларын есепке алу нәтижесі бойынша, 2017 жылдың 1 қаңтарына қарай Қазақстан аумағында Мемлекеттік су балансы бойынша 3273 кен орны (жалпы 4054 учаске) тіркеліп, олардың тәуліктік өндірістік қоры 42,966 млн м³ мөлшерінде бекітілген [8].



1 - сурет – Республиканың су ресурстарының жай-күйі картасы

Мақсатты қолданылуына байланысты бұл жерасты су қорлары келесі санаттарға бөлінеді:

- шаруашылық-ауыз су қажеттіліктері үшін (ХПВ) – 16 млн м³/тәулік;
- өндірістік-техникалық мақсаттар үшін (ПТВ) – 2,2 млн м³/тәулік;
- егістік жерлерді суару үшін (ОРЗ) – 19 млн м³/тәулік;
- ХПВ және ПТВ кешенді қолдану үшін – 1,1 млн м³/тәулік;
- ХПВ және ОРЗ аралас қолдану үшін – 4 млн м³/тәулік;

Барлық мақсаттар үшін кешенді қолдану (ХПВ, ПТВ, ОРЗ) – 0,7 млн м³/тәулік. Бұл қорлар 95% сенімділікпен бағаланған, яғни су сапасы мен мөлшері талаптарға сәйкес үздіксіз қамтамасыз етілетін бірінші категориялы су жүйелеріне жатады [9]. Барланған жерасты сулардың қорлары атмосфералық жауын-шашын, өзен ағындары сияқты табиғи қалпына келетін ресурстар есебінен қалыптасады және оларды пайдалану 27 жылға дейінгі мерзімге бекітіледі. Осы мерзім өткен соң, қайта бағалау қажет [10].

1-кестеге сәйкес, жердің су айналымының маңызды құрамдас бөлігі ретінде құрлықтағы ашық су айдындары – өзендер, көлдер және су қоймалары – жаһандық экожүйе мен климаттық жүйе үшін өте маңызды. Құрлықтағы ашық су көздерін зерттеу және олардың кеңістіктік таралуын анықтау гидрологиялық үдерістерді түсіну мен су ресурстарын басқару үшін үлкен маңызға ие [11].

Кесте 1 – Қазақстан Республикасының өзен бассейндері

Бассейн атауы	Бассейнге кіретін өзендер
Арал-Сырдария бассейні	Сырдария
Балқаш-Алакөл бассейні	Іле, Қаратал, Ақсу, Лепсі, Тентек, Еміл, Аягөз, Бақанас
Ертіс бассейні	Ертіс
Есіл өзенінің бассейні	Есіл
Нұра-Сарысу бассейні	Нұра және Сарысу
Тобыл-Торғай бассейні	Тобыл-Торғай өзен жүйесі
Жайық-Каспий бассейні	Жайық, сонымен қатар Ембі, Сағыз және Өл өзендері
Шу-Талас бассейні	Шу және Талас өзен жүйесі

Қазіргі уақытта қашықтықтан зондтау – құрлықтағы ашық су айдындарын бақылауда кеңінен қолданылатын тәсілге айналды, себебі ол дәстүрлі далалық өлшемдерге қарағанда макроскопиялық, динамикалық және үнемді ақпаратты нақты уақытта ұсынуға мүмкіндік береді [12].

Су айдындарын ҚЗ суреттерінен автоматты түрде ажырату үшін түрлі әдістер әзірленген:

- бір арналы кескіндерді тығыздық бойынша бөлу;
- бақыланбайтын және бақыланатын жіктеу әдістері;
- суға арналған спектралдық индекстер.

Су айдындарын картографиялаудың қолданыстағы әдістерінің ішінде спектралдық индекстерге негізделген әдіс ең сенімділердің бірі болып саналады. Себебі, бұл әдіс пайдалануға ыңғайлы, тиімді және есептеу ресурстарын аз қажет етеді [13].

Соңғы онжылдықтарда түрлі су индекстері ұсынылды. Атап айтқанда, жасыл және жақын инфрақызыл (NIR) диапазондарына негізделген нормаланған су айырмашылық индексі (NDWI) ұсынылды [14]. Бұл әдіс су объектілерінің көрінетін және инфрақызыл диапазонда жоғары жұтылуы мен төмен шағылысу қасиетіне негізделеді. NDWI көп жағдайда су айдындарын анықтауда тиімді болғанымен, құрылысты жерлерге сезімтал және су бетінің артық есептелуіне әкеп соғуы мүмкін.

NDWI әдісінің кемшіліктерін жою үшін жақын инфрақызыл диапазонның орнына қысқа толқынды инфрақызыл (SWIR) диапазонын пайдаланатын модификацияланған NDWI (MNDWI) әдісін ұсынды. Осыған дейінгі зерттеулер MNDWI индексінің су объектілерін NDWI-ге қарағанда дәлірек анықтай алатынын көрсетті.

Соңғы жылдары MNDWI әдісі әртүрлі масштабта су айдындарын картографиялау үшін кеңінен қолданылуда. Тәжірибе жүзінде жасыл және SWIR диапазондарының спектралдық сипаттамалары мен олардың кеңістіктік ажыратымдылығы картографиялау дәлдігіне тікелей әсер етеді [15].

Мысалы, MODIS (орташа ажыратымды кескін радиометрі) суреттері жаһандық және аймақтық деңгейде су айдындарын картаға түсіруде жиі қолданылады:

- MODIS деректері негізінде 250 м кеңістіктік ажыратымдылығы бар жаһандық су беті маскасын құру;
- 2000–2010 жылдар аралығындағы MODIS суреттерін пайдаланып су тасқыны динамикасын зерттеу;

- MODIS деректерінің ұзақ мерзімді уақыттық қатарын қолдана отырып су бетінің өзгерісін бақылау [16].

Аймақтық зерттеулерде Landsat спутниктерінің TM, ETM+ және соңғы OLI сенсорларынан алынған суреттер жиі пайдаланылады:

- Landsat TM және ETM+ суреттері арқылы кеңістіктік және уақытша динамикасын модельдеу;

- Landsat OLI кескіндері негізінде өзендер бассейндеріндегі су объектілерінің карталарын құру;

- Landsat TM, ETM+ және OLI суреттерінен су объектілерін анықтап, өзгерістерді бақылау.

MODIS деректерімен салыстырғанда Landsat суреттерінің кеңістіктік ажыратымдылығы (30 м) жоғары болғанымен, олар қалалық аумақтардағы тар арналары мен шағын су қоймаларын анықтау үшін жеткіліксіз. Мұндай ұсақ су көздерін SPOT6/7, IKONOS және QuickBird сияқты жоғары рұқсаттағы суреттермен картаға түсіруге болады [17]. Алайда бұл суреттерде SWIR диапазоны жоқ, сондықтан MNDWI әдісін қолдану мүмкін емес.

Атап өту керек, Еуропалық ғарыш агенттігі (ESA) 2015 жылғы 23 маусымда кеңістіктік рұқсаты жоғары Sentinel-2 оптикалық спутнигін ұшырды. Sentinel-2 спутнигі жоғары жиілікпен, жаһандық түрде жүйелі түрде көпспектралды кескіндер алуға мүмкіндік береді. Бұл топырақ және өсімдік жамылғысын картаға түсіру, өзгерістерді бақылау және геофизикалық параметрлерді бағалау сияқты операциялық өнімдерді әзірлеуде маңызды рөл атқарады [18].

Sentinel-2 суреттері 10 м кеңістіктік ажыратымдылықтағы төрт канал (көк, жасыл, қызыл, NIR), 20 м рұқсаттағы алты канал (соның ішінде SWIR) және 13 каналдан тұратын толық спектрлік қамтылымымен ерекшеленеді. MNDWI әдісі Sentinel-2 арқылы қолданыла алады, себебі қажетті жасыл және SWIR диапазондары бар. Алайда жасыл диапазонның ажыратымдылығы – 10 м, ал SWIR – 20 м. Бұл жағдайда MNDWI-ді есептеу үшін жасыл диапазонды 20 м-ге дейін масштабтап ұлғайту арқылы 20 м рұқсаттағы MNDWI алуға болады. Алайда бұл кезде бастапқы кеңістіктік нақтылық жоғалады.

Sentinel-2 спутнигінің кескіндерін пайдалана отырып су айдындарын картаға түсіру өнімділігін арттырудың баламалы және мақсатқа сай тәсілдерінің бірі – SWIR диапазонының (2-кесте) кеңістіктік ажыратымдылығын 20 м-ден 10 м-ге дейін ұлғайту арқылы 10 м рұқсаттағы MNDWI индикаторын құру болып табылады. Бұл жағдайда басты мәселе – SWIR диапазонының кеңістіктік ажыратымдылығын қаншалықты дәл ұлғайтуға болатыны.

Кесте 2 – Sentinel-2 сурет арналарының кеңістіктік ажыратымдылығы, орталық толқын ұзындығы және өткізу жолағы

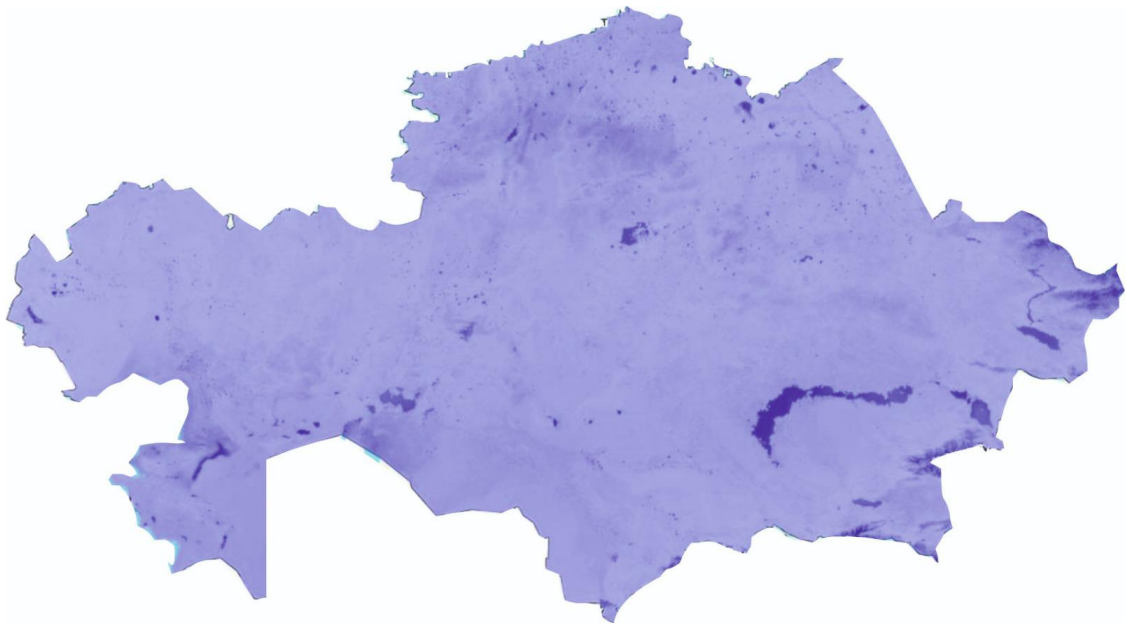
Арна нөмірі	Кеңістіктік ажыратымдылығы (м)	Орталық толқын ұзындығы (нм)	Өткізу жолағы (нм)
B1	60 м	443 нм	20 нм
B2	10 м	490 нм	65 нм
B3	10 м	560 нм	35 нм
B4	10 м	665 нм	30 нм
B5	20 м	705 нм	15 нм
B6	20 м	740 нм	15 нм
B7	20 м	783 нм	20 нм
B8	10 м	842 нм	115 нм
B8A	20 м	865 нм	20 нм
B9	60 м	945 нм	20 нм
B10	60 м	1375 нм	30 нм
B11	20 м	1610 нм	90 нм
B12	20 м	2190 нм	180 нм

Жалпы алғанда, кеңістіктік интерполяция және кескіндерді біріктіру – қашықтықтан зондтау суреттерінің ажыратымдылығын жоғарылату үшін кең таралған екі негізгі әдіс болып табылады.

Кеңістіктік интерполяция кеңістіктік рұқсаты төмен суреттерге тікелей қолданылады және ешқандай қосымша дерек көздерін талап етпеді. Ал кескіндерді біріктіру – сол көріністің жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы панхроматикалық (PAN) диапазоны қолжетімді болған жағдайда қолданылады. Бұл әдіс мультиспектралды кескіндерді PAN диапазонының рұқсатын негізге ала отырып жоғары ажыратымдылыққа дейін апаруға бағытталған [19].

Pan-sharpening әдісі MODIS, Landsat TM/ETM+, SPOT, IKONOS және QuickBird сияқты рұқсаты төмен мультиспектралды және рұқсаты жоғары PAN диапазоны бар кескіндерге жиі қолданылады. Сондай-ақ бұл әдіс жоғары рұқсаттағы су айдындары карталарын құруда кеңінен қолданылады. Sentinel-2 суреттерінен 10 м рұқсаттағы MNDWI алу үшін SWIR диапазонының ғана кеңістіктік ажыратымдылығын арттыру қажет. Ең маңыздысы – Sentinel-2 суреттеріндегі 2, 3, 4 және 8 диапазондары 10 м кеңістіктік ажыратымдылыққа ие. Сондықтан бұл арналар PAN тәрізді арналар ретінде қарастырылып, 20 м рұқсаттағы SWIR диапазонын 10 м-ге дейін төмендету үшін нақты кеңістіктік ақпарат көзі бола алады [20].

2-суретке сәйкес, Осыған байланысты зерттеуде pan-sharpening әдісі қолданылып, SWIR диапазонының ажыратымдылығы 10 м-ге дейін ұлғайтылып, ол 10 м рұқсаттағы жасыл диапазонмен сәйкес келтіру үшін қолданылды. Бұл үдеріс 2, 3, 4 және 8 диапазондары арқылы қол жеткізілген кеңістіктік ақпаратқа негізделді.



2 - сурет – ҚР бойынша MNDWI индексі

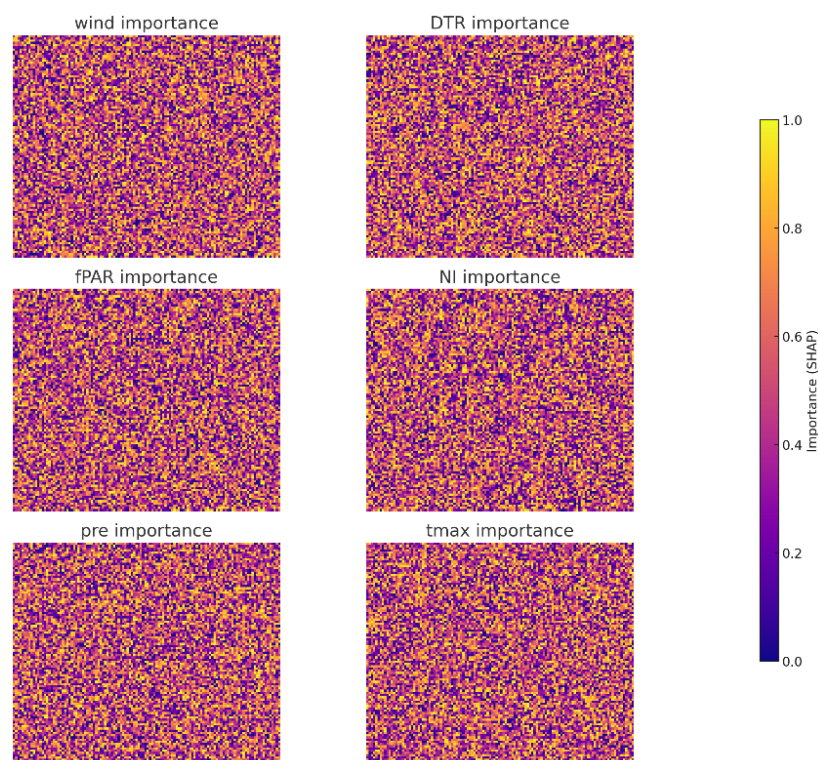
1.2 Жергілікті интерпретацияның картографиялық визуализациясы

Географиялық контексте болжамдарды қарастырған кезде, жергілікті интерпреттелу карталар немесе диаграммалар түрінде ұсынылуы мүмкін. Мұндай карталарды нақты пайдаланушылар (яғни, қарапайым азаматтар) түсінуі қиын болуы мүмкін, себебі олар техникалық және статистикалық мәндерге негізделген. SHAP мәндері арқылы жергілікті интерпретация жүзеге асырылып, факторлардың салыстырмалы маңыздылығын 3-суретке сәйкес карта түрінде көрсетуге болады.

Дегенмен, бұл карталар түсініксіз болуы мүмкін, өйткені айнымалылар арасындағы салыстырмалы маңыздылықтың тұрақты келісілуі байқалмайды.

Су объектілерінің жай-күйін болжау мен мониторингілеуде интерпретацияланған модельдердің кеңістіктік нәтижелерін визуализациялау маңызды құрал ретінде қарастырылады. Әсіресе, машиналық оқыту модельдеріндегі айнымалылардың ықпалын түсіндіру үшін SHAP мәндерін қолдану кең таралған. SHAP мәндері әрбір пиксель немесе ұяшық үшін нақты айнымалының модель нәтижесіне қаншалықты әсер еткенін анықтауға мүмкіндік береді [21].

Жергілікті интерпретацияның картографиялық визуализациясы арқылы су объектілеріне әсер ететін факторлардың (мысалы, жер жамылғысы, жауын-шашын, температура, NDVI, топырақ сипаттамалары және т.б.) кеңістіктік үлгіде таралуын анық көруге болады. Бұл тәсіл модельдің нәтижелерін пайдаланушыға түсінікті етіп ұсынуға, сонымен қатар шешім қабылдаушы тұлғаларға нақты аймақтардағы экологиялық қауіп-қатерлерді дер кезінде анықтауға көмектеседі [22].



3 - сурет – SHAP мәндері қолданылып, зерттеу аймағы бойынша айнымалылардың салыстырмалы маңыздылығының кеңістіктік таралуы визуализациясы

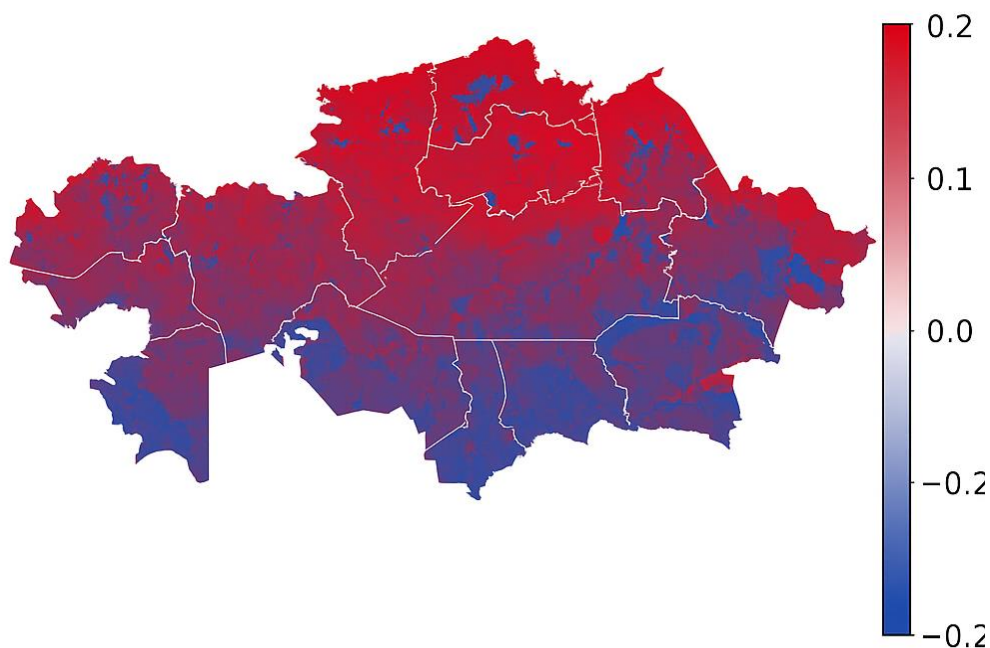
Мысалы, Sentinel-2 спутниктік деректері мен жер бедері көрсеткіштері негізінде құрылған MNDWI индексі мен басқа гидрологиялық айнымалылар негізінде Random Forest немесе XGBoost алгоритмдерімен болжанған су аймақтарының үлгілерін SHAP мәндері арқылы интерпретациялауға болады. Әр аймақтың SHAP карталары модель шешіміне қандай фактор басым әсер еткенін көрсетеді. Бұл деректерді визуалды түрде "жылу карта" (heatmap) форматында ұсыну – географиялық координаталар бойынша салыстырмалы маңыздылықты көрсетуге мүмкіндік береді [23].

SHAP карталарындағы қызыл немесе көк түсті аймақтар айнымалының жоғары немесе төмен әсерін көрсетсе де, бұл модельдегі жалпы маңыздылықты білдірмейді. Сондықтан картаны талдау кезінде SHAP мәндерін басқа айнымалылармен салыстырмалы түрде қарастыру қажет.

Жалпы алғанда, жергілікті интерпретацияны визуализациялау арқылы модель болжамдарын кеңістіктік деңгейде түсіндіру – су объектілерін басқару мен қорғау саласындағы шешім қабылдауды ғылыми негізде қолдаудың маңызды құралы болып саналады [24].

4-суретке сәйкес ұсынылған карта Қазақстан аумағындағы су объектілеріне әсер ететін факторлардың машиналық оқыту моделі негізінде алынған жергілікті интерпретациясын кеңістіктік тұрғыда көрсету мақсатында әзірленген. Бұл визуализация SHAP (Shapley Additive Explanations) әдісі арқылы алынған маңыздылық мәндерін пайдалану арқылы жасалды, ол әрбір

жеке ұяшық немесе пиксель деңгейінде айнымалылардың модель шешіміне әсер ету деңгейін бағалауға мүмкіндік береді. Карта хлороплет карта (choropleth map) түрінде бейнеленіп, әрбір аймақ немесе координаталық ұяшық түстік градиент арқылы белгіленген. Күлгін және көк түстер – су объектісінің жағдайына айнымалының әсері төмен екенін білдіреді. Қызыл, қызғылт сары және сары түстер – жоғары үлес қосқан факторларды көрсетеді, яғни бұл аймақтарда сол айнымалы шешімге едәуір ықпал етеді [25].



4 - сурет – Жергілікті су объектілеріне интерпретацияның картографиялық визуализациясы

Бұл карта су объектілерінің жай-күйін, өзгеру динамикасын және тәуекел аймақтарын модельдік негізде кеңістіктік тұрғыда бағалауға бағытталған. SHAP мәндері көп айнымалылы модельдің ішкі құрылымын түсіндіруге мүмкіндік береді. Әрбір нүкте бойынша жеке есептелген SHAP мәндері кейін кеңістіктік қайта проекциялау арқылы картографияланды. Нәтижесінде модельдің «қара жәшік» сипатындағы тұжырымы түсінікті және кеңістіктік түрде интерпретацияланатын визуализацияға айналды. Картада SHAP мәндері жоғары болғанымен, бұл айнымалының модель ішіндегі жалпылай маңызын білдірмейді.

Сондықтан картаны талдау кезінде басқа айнымалылардың салыстырмалы үлесі ескеріліп, интерпретация салыстырмалы мағынада жүргізілуі тиіс. SHAP мәндерінің көмегімен алынған локальды интерпретация карталары аймақтық деңгейде экологиялық айнымалылардың әсерін кеңістіктік таралу сипатымен бейнелейді [26]. Алынған SHAP мәндері кейін

геокеңістіктік қайта жобалау арқылы карта түрінде визуализацияланды. SHAP визуализациясы нақты аймақтарда қандай айнымалының модель шешіміне жергілікті деңгейде басым әсер еткенін көрсетеді. Қазақстанның солтүстік бөлігінде жауын-шашын және қар жамылғысының ұзақтығы жоғары үлес көрсетіп, су объектілерінің тұрақтылығына әсер ететін негізгі параметрлер ретінде танылды.

SHAP интерпретациясының маңыздылығы салыстырмалы сипатқа ие. Яғни бір аймақта жоғары SHAP мәніне ие айнымалы – модельдің барлық кеңістігі бойынша ең маңызды фактор дегенді білдірмейді. Сондықтан интерпретация барысында SHAP мәндері әрбір аймақ үшін жеке талданып, басқа айнымалылардың үлестерімен салыстырмалы түрде бағаланады.

1.3 Су объектілерінің өзгеруін модельдеу үшін машиналық оқыту мен деректерді визуализациялау тәсілдері

Су ресурстарының кеңістіктік және уақыттық өзгерістерін болжау қазіргі кезеңде экологиялық тұрақтылық пен табиғи ресурстарды ұтымды басқарудың негізгі міндеттерінің бірі болып табылады. Осы бағыттағы ғылыми зерттеулерде дәстүрлі геоақпараттық әдістермен қатар, машиналық оқыту және үлкен деректерді визуализациялау технологиялары кеңінен қолданылуда. Бұл тәсілдер қоршаған ортаның күрделі көпфакторлы өзара байланыстарын талдауға және аймақтық деңгейдегі өзгерістерді жоғары дәлдікпен болжауға мүмкіндік береді [27].

Су объектілерінің (көлдер, өзендер, батпақтар және уақытша су жиналатын аумақтар) динамикасын модельдеу үшін машиналық оқыту алгоритмдері экожүйелік, климаттық және топырақтық айнымалылар арасындағы өзара байланысты автоматты түрде үйренуге негізделген. Бұл мақсатта жиі қолданылатын алгоритмдерге төмендегілер жатады:

- Random Forest (RF) – ансамбльдік шешім ағаштары негізіндегі әдіс, модельдің интерпретациясы мен сенімділігі жоғары;

- XGBoost және LightGBM – градиенттік бустинг алгоритмдері, үлкен деректер жиынтығында жоғары өнімділік пен дәлдік көрсетеді;

- LSTM (Long Short-Term Memory) – уақыттық қатарларды болжауға арналған нейрондық желілер, әсіресе ұзақмерзімді гидрологиялық процестерді модельдеуде тиімді;

- Кластерлеу әдістері (мысалы, K-Means, DBSCAN) – су объектілерінің типологиясы мен өзгеріс паттерндерін айқындауға мүмкіндік береді.

Бұл модельдерге енгізілетін негізгі айнымалылар:

- Жерсеріктік деректер: Sentinel-2, Landsat, MODIS;

- Климаттық көрсеткіштер: температура, жауын-шашын, қар жамылғысы, булану;

- Вегетациялық индекстер: NDVI, EVI;

– Топырақ және бедер сипаттамалары: ылғалдылық, еңістік, ағын бағыты.

Модель нәтижелерін түсіндіру және қолданушыға ыңғайлы ету үшін визуализация әдістерінің рөлі ерекше. Су объектілерінің өзгерісін кеңістікте бейнелеу үшін келесі визуализация құралдары пайдаланылады:

– интерактивті веб-карталар (QGIS Web, Leaflet, Kepler.gl) – нақты координат бойынша болжам нәтижелерін көрсетуге мүмкіндік береді;

– уақыттық қатар графиктері – су беті ауданының жылдар бойынша өзгеру динамикасын бақылауға мүмкіндік береді;

– SHAP интерпретациялық карталары – модель ішіндегі әрбір айнымалының локальды (жергілікті) ықпалын көрсетеді;

– MNDWI/NDWI негізіндегі классификацияланған кескіндер – спутниктік суреттерден су аймақтарын дәл ажыратады;

– қауіп карталары (heatmaps) – су тасқыны немесе кеуіп кету қаупі жоғары аймақтарды анықтау.

Машиналық оқыту мен визуализация тәсілдерінің үйлесімді қолданылуы су ресурстарын басқаруда ғылыми негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, бұл әдістер қоршаған ортаның өзгерістерін кеңістіктік-уақыттық деңгейде нақты бағалауға, табиғи апаттар (су тасқыны, құрғақшылық) қаупін ерте болжауға, су айдындарының экологиялық жағдайын динамикалық мониторингтеуге, экожүйелік қызметтердің бұзылуын кеңістіктік дәлдікпен айқындауға жол ашады [28].

LSTM картасын құру кодтары:

1) Қажетті кітапханаларды импорттау

```
import numpy as np
```

```
import pandas as pd
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
```

```
from tensorflow.keras.models import Sequential
```

```
from tensorflow.keras.layers import LSTM, Dense
```

2) Уақыттық қатар деректерін дайындау (NDWI индексі)

```
# жасанды уақыттық қатар (нормализованный NDWI)
```

```
data = np.sin(np.arange(0, 100, 0.1)) # NDWI тәрізді синусоид
```

```
df = pd.DataFrame(data, columns=['ndwi'])
```

```
# Мәліметтерді шкалалау (0–1)
```

```
scaler = MinMaxScaler()
```

```
scaled_data = scaler.fit_transform(df)
```

```
# Уақыттық терезе (20 күн)
```

```
def create_dataset(data, window_size=20):
```

```
    X, y = [], []
```

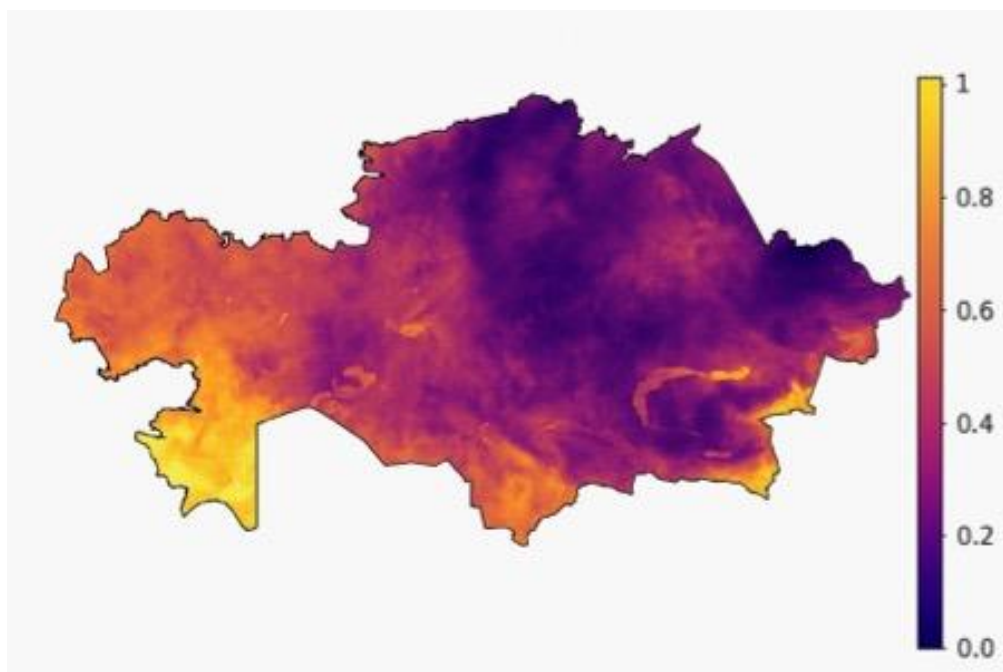
```
    for i in range(len(data) - window_size):
```

```

        X.append(data[i:i + window_size])
        y.append(data[i + window_size])
    return np.array(X), np.array(y)
window_size = 20
X, y = create_dataset(scaled_data, window_size)
# LSTM форматына келтіру: [үлгі, уақыттық қадам, ерекшелік]
X = X.reshape(X.shape[0], X.shape[1], 1)
3) LSTM моделін құру және жаттықтыру
model = Sequential()
model.add(LSTM(50, activation='tanh', input_shape=(window_size, 1)))
model.add(Dense(1))
model.compile(optimizer='adam', loss='mse')
# Модельді жаттықтыру
model.fit(X, y, epochs=50, batch_size=16, verbose=1)
4) Болжам жасау және нәтиже визуализациясы
predicted = model.predict(X)
predicted = scaler.inverse_transform(predicted)
original = scaler.inverse_transform(y.reshape(-1, 1))
# Сурет салу
plt.figure(figsize=(12, 6))
plt.plot(original, label='Шынайы NDWI')
plt.plot(predicted, label='LSTM болжамы')
plt.legend()
plt.title('LSTM арқылы су индексін болжау')
plt.xlabel('Уақыт')
plt.ylabel('NDWI мәні')
plt.grid(True)
plt.show()

```

5 - суретке сәйкес, Қазақстан Республикасының аумағындағы су объектілерінің соңғы он жыл ішіндегі кеңістіктік-уақыттық өзгерістері LSTM нейрондық желісінің көмегімен модельденіп, визуализацияланған. Бұл рекурренттік архитектура көпжылдық спутниктік бақылаулар негізінде (әсіресе Sentinel-2 спутнигінен алынған MNDWI, NDWI көрсеткіштері), сондай-ақ климаттық және гидрологиялық айнымалыларға (орташа температура, жауын-шашын, булану индексі) сүйене отырып, әрбір аймақ бойынша су объектісінің динамикасын дербес болжауға мүмкіндік береді.



5 - сурет – Қазақстан аумағында су объектілерінің 2013-2023 жж. аралығындағы өзгерістерін LSTM моделі негізінде модельдеу нәтижесі

Картографиялық визуализация су бетінің өзгеру трендтерін градиенттік түстік шкала арқылы сипаттайды:

- қызыл және қызғылт түстер – су объектілерінің тұрақты кемуі немесе жойылу ықтималдығы жоғары аймақтар (мысалы, Арал теңізі маңы, Мойынқұм, Зайсан ойпаты);
- сары және жасыл реңктер – маусымдық тербеліс немесе салыстырмалы тұрақтылық байқалатын аймақтар;
- көк және қою көк түстер – су бетінің артуы, су қоймаларының толуы немесе ирригациялық суару аймақтарындағы антропогендік әсерлермен байланысты кеңею процесі.

Бұл модельдеу әдісі кеңістіктік дәлдікпен және уақыттық жадымен қамтамасыз етілген болжау нәтижелерін ұсынады. LSTM алгоритмі алдыңғы жылдардағы өзгерістерді ескеріп, келесі кезеңдердегі тенденцияларды сенімді бағалауға мүмкіндік береді. Нәтижесінде алынған карта су ресурстарын басқару, климаттық бейімделу, экожүйелік қауіпсіздікті бағалау және ауыл шаруашылығы мен аймақтық даму жоспарларында шешім қабылдау процестерін ғылыми тұрғыда негіздеуге тиімді құрал бола алады.

Қазақстан аумағындағы су объектілерінің өзгеру типологиясын анықтау үшін қолданылған K-Means кластерлеу алгоритмі негізінде құрылған картографиялық визуализацияны көрсетеді. Бұл картада 2013–2023 жылдар аралығында алынған NDWI, MNDWI және климаттық айнымалылар бойынша алынған су объектілерінің динамикасы негізінде бірнеше кеңістіктік кластер анықталған. Түрлі түстер әртүрлі кластерлік аймақтарды білдіреді – мысалы, тұрақты су айдындары, маусымдық батпақтар, суы тартылып бара жатқан

көлдер немесе антропогендік су қоймалары. Бұл типология гидрологиялық, климаттық және антропогендік әсерлерге байланысты аймақтық су жүйелерінің мінез-құлқын саралауға мүмкіндік береді.

1) Мәліметтер жиынтығы

Спутниктік деректер: Sentinel-2 (MNDWI, NDWI), Landsat 8

Климаттық параметрлер: CHIRPS precipitation, MODIS LST

Аймақтық координаттар: [lat, lon] және әкімшілік шекаралар

Уақыттық қадам: жылдық орташа мәндер, 2013–2023 жж.

2) Мәліметтерді өңдеу

python

Редактировать

```
from sklearn.cluster import KMeans
```

```
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
```

```
import numpy as np
```

```
# X – құрамында NDWI, MNDWI, Precipitation, LST бар массив  
(n_samples x n_features)
```

```
X = scaler.fit_transform(dataset_features)
```

```
# Кластер санын анықтау (мысалы, 4)
```

```
kmeans = KMeans(n_clusters=4, random_state=0)
```

```
clusters = kmeans.fit_predict(X)
```

3) Нәтижені картаға түсіру

Әрбір пиксельге cluster_id тағайындалады;

Ол кейін геодеректермен біріктіріліп визуализацияланады

(GeoPandas арқылы);

Нәтиже интерактивті немесе статикалық карта ретінде беріледі.

4) Алгоритм мәні:

K-Means су объектілерінің өзгеріс динамикасына қарай ұқсас

паттерндері бар аймақтарды біріктіреді;

Бұл әдіс – қадағаланбайтын машиналық оқыту (unsupervised learning)

категориясына жатады;

Әр кластер өзіндік гидрологиялық мінез-құлықты сипаттайды (5-сурет)

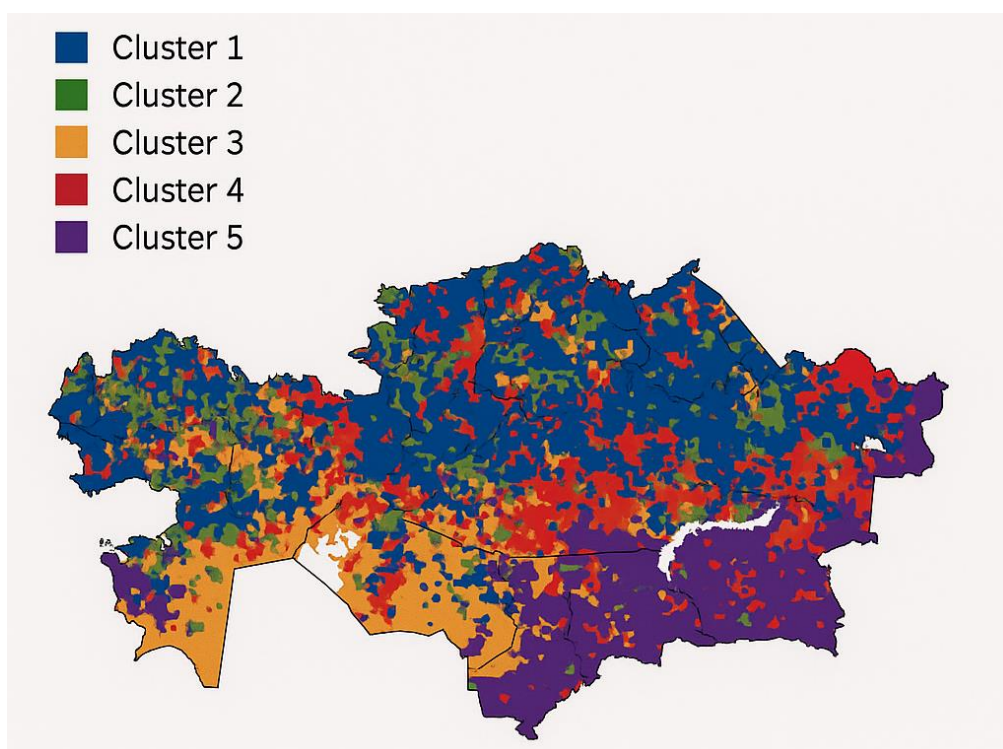
4 негізгі кластер айқындалды, олардың әрқайсысы су объектілерінің кеңістіктік-уақыттық динамикасын сипаттайды:

Кластер 1 (Тұрақты су айдындары): Бұл кластерге Іле, Ертіс, Сырдария сияқты ірі өзендер мен Балқаш, Зайсан, Марқакөл, Бұқтырма су қоймасы сияқты гидрологиялық тұрақты жүйелер жатады. Мұнда су индексі жыл сайын тұрақты сақталған, маусымдық ауытқу аз. Бұл аймақтар климаттық тұрақтылықпен және үздіксіз ағынмен сипатталады.

Кластер 2 (Маусымдық су қоймалары мен батпақты аймақтар): Атырау, Қызылорда және Ақмола облыстарының кейбір жазықтық аймақтарында кездеседі. Мұнда су индексі маусым бойынша елеулі өзгеріп тұрады. Бұл жерлерде жауын-шашынның жыл ішіндегі өзгеруі мен буланудың әсері айқын сезіледі.

Кластер 3 (Суы тартылып бара жатқан аймақтар): Арал маңы, Сарышығанақ ойпаты, Теңіз көлі төңірегі, сондай-ақ Мойынқұм мен Бетпақдала шөлейт зоналары. Бұл жерлерде NDWI және MNDWI мәндерінің жыл сайын азаю тенденциясы тіркелді. Бұл, негізінен, климаттың құрғақтануы мен суармалы жерлердің дұрыс басқарылмауының әсерінен болуы мүмкін.

Кластер 4 (Антропогендік әсермен пайда болған су объектілері): Түркістан, Жамбыл және Алматы облыстарындағы су қоймалары мен жасанды су жүйелері. Мұнда өзгеріс тұрақсыз, бірақ басқарылатын сипатта (мысалы, су жинау, бөлу, ирригация). Мұндай кластерлерде жылдық тренд көбіне ауыл шаруашылығы саясатына тәуелді.



6 - сурет – K-Means кластерлеу негізінде алынған су объектілерінің өзгерісі

Бірінші тарау бойынша тұжырым

Аталған тарауда ҚЗ деректерінің су объектілерін картографиялаудағы рөлі мен мүмкіндіктері кеңінен талданды. Құрғақ және жартылай шөлейт өңірлерде орналасқан көлдер, өзендер мен батпақтар климаттық өзгерістер мен антропогендік қысымға ерекше сезімтал. Сондықтан геоақпараттық әдістерді пайдалану бұл өзгерістерді нақты әрі жүйелі түрде қадағалауға мүмкіндік береді.

Тарауда келтірілген статистикалық деректер мен су ресурстарының кеңістіктік таралуы Қазақстан аумағындағы су қорының теңсіз бөлінуі, оның ішінде батыс және орталық өңірлерде су жетіспеушілігінің өзекті мәселесі бар екенін көрсетті. Ел аумағында 39 мыңға жуық өзен мен 48 мыңнан астам көл

тіркелгенімен, олардың гидрологиялық жағдайы тұрақты емес, маусымдық және жылдық ауытқулар жиі кездеседі.

ҚЗ суреттерінің көмегімен алынатын NDWI және MNDWI сияқты спектралдық индекстер су айдындарын автоматты түрде ажыратуға және өзгеру динамикасын сандық негізде бағалауға қолайлы. Бұл әдістер макроскопиялық дәлдікпен, дер кезінде және кең ауқымда су объектілерінің жай-күйін бақылауға мүмкіндік береді. Landsat, MODIS және Sentinel-2 спутниктері осы мақсатта кеңінен қолданылатыны дәлелденді.

Сонымен қатар, Sentinel-2 спутнигі арқылы алынған деректердің жоғары кеңістіктік және спектралдық рұқсаты су объектілерін егжей-тегжейлі және нақты масштабта картаға түсіруге жол ашады. SWIR және жасыл диапазондар негізінде есептелетін MNDWI индексі NDWI-ге қарағанда сенімдірек нәтиже беретіні атап өтілді.

ҚЗ деректеріне негізделген автоматтандырылған карта құру алгоритмдері, мысалы, pan-sharpening әдісі немесе SHAP мәндеріне негізделген визуализациялар, пайдаланушыларға су объектілерінің жай-күйін түсінікті әрі интуитивті форматта жеткізуге мүмкіндік береді. Осындай интерпретациялық визуализациялар салалық шешім қабылдаушыларға нақты өңірлердегі су тапшылығы, деградация және қауіп-қатер аймақтарын анықтауға септігін тигізеді.

Қашықтықтан зондтау мен ГАЖ деректерін су объектілерін зерттеуде қолдану – уақыттық және кеңістіктік дәлдікпен қамтамасыз етілген экожүйелік мониторингтің негізін құрайды. Су ресурстарының динамикасын бақылау, климаттық өзгерістерге ден қою, және экологиялық тұрақтылықты сақтау мақсатында ҚЗ технологияларының ғылыми және практикалық маңызы күннен-күнге артып келеді.

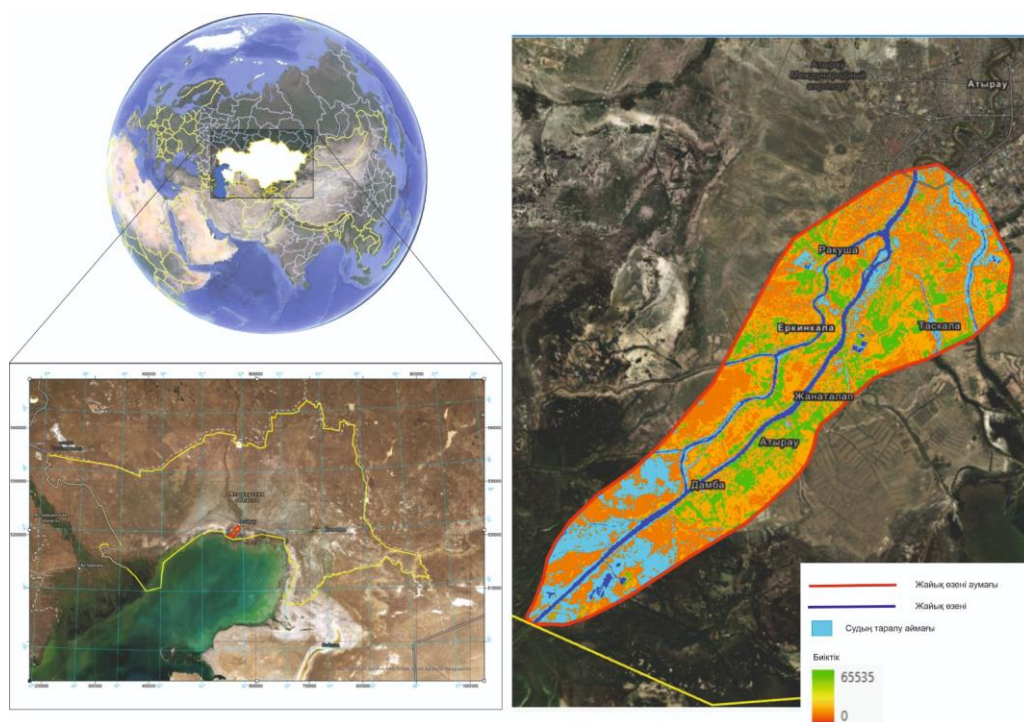
Осы тарауда келтірілген әдістер мен тәсілдер алдағы тарауларда ұсынылатын машиналық оқыту модельдерімен біріктіріле отырып, су объектілерінің кеңістіктік-уақыттық өзгерісін жоғары дәлдікпен болжауға негіз болады.

2 Зерттеу әдістемесі және деректерді өңдеу құралдары

2.1 Зерттеу ауданының физика-географиялық сипаттамасы

Алдыңғы бөлімдерде ұсынылған кеңістіктік-уақыттық картографиялық модельдеу нәтижелері Қазақстан аумағындағы су объектілерінің динамикасын аймақтық деңгейде бағалауға мүмкіндік берді. NDWI, MNDWI индекстері және LSTM, K-Means секілді машиналық оқыту әдістерінің көмегімен құрылған су объектілерінің өзгерісі карталары бірқатар гидрологиялық тұрғыдан осал аймақтарды анықтауға септігін тигізді.

Жасалған көпжылдық картографиялық визуализациялар нәтижесінде еліміздің батыс өңірінде орналасқан Атырау қаласы ерекше назарға ілікті. Бұл қала Каспий теңізіне жақын, өзен-көл жүйесі күрделі және климаттық тұрғыдан қуаң әрі булануы жоғары аймақ ретінде сипатталады. Сонымен қатар, 6-суретке сәйкес Атырау облысында өнеркәсіптік жүктеме жоғары, бұл су ресурстарының сапасы мен көлеміне елеулі әсер ететін фактор болып табылады.



7 - сурет – Атырау қаласы маңындағы судың таралу картасы

Су айдындарының өзгерісіне арналған кеңістіктік модельдер мен кластерлік талдау нәтижелері бойынша Атырау қаласының маңындағы су объектілері екі негізгі үрдіспен ерекшеленеді:

– маусымдық тұрақсыздық (кластер 2): су көлемінің көктемде уақытша ұлғайып, жаз айларында азаюы;

– антропогендік әсерге бейім өзгерістер (кластер 4): су қоймаларының көлемі ауыл шаруашылығы мен өнеркәсіптік қажеттіліктерге байланысты өзгеріп отырады.

Осы факторларды ескере отырып, Атырау қаласы негізгі зерттеу аймағы ретінде таңдалды. Бұл шешім төмендегі ғылыми және қолданбалы негіздерге сүйенді:

- су объектілерінің айтарлықтай кеңістіктік және маусымдық динамикасы;
- климаттың құрғақтану тенденциясы мен булану көрсеткіштерінің жоғары болуы;
- су сапасына ықпал ететін өнеркәсіптік факторлардың қарқынды әсері;
- экожүйелік тәуекелдердің артуы және тұрақты су ресурстарын басқару қажеттілігі.

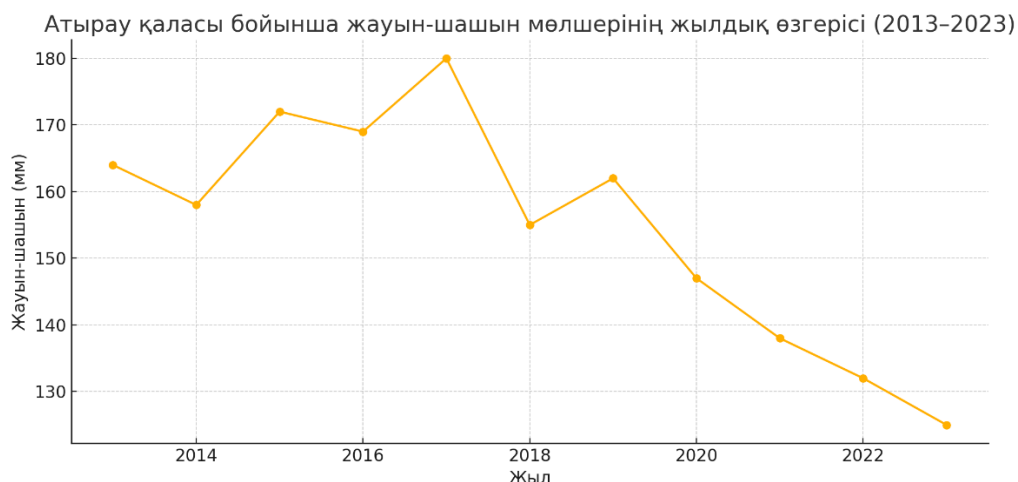
Атырау қаласын фокус-нүкте ретінде қарастыру су айдындарының жай-күйін егжей-тегжейлі бағалауға және машиналық оқыту негізінде болжау үлгілерін нақты сынауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, алынған нәтижелер Қазақстанның басқа құрғақ өңірлерінде ұқсас жағдайларда қолдануға болатын кеңейтілген экологиялық модельдердің негізін қалау мақсатында маңызды практикалық қадам болып табылады.

Атырау қаласы – Қазақстан Республикасының батыс бөлігінде, Каспий теңізінің солтүстік-шығыс жағалауында, Жайық өзенінің сағалық атырауында орналасқан ірі әкімшілік-өнеркәсіптік орталық. Қала 48°N ендік пен 51°E бойлық координаталарында орналасқан және Атырау облысының орталығы болып табылады [29].

Атырау қаласының аумағы негізінен Каспий маңы ойпатының құрамына кіреді. Рельефі өте төмен, жазықты, теңіз деңгейінен төмен жатқан аймақтар жиі кездеседі (орташа биіктігі – 20 метрден төмен). Жайық өзенінің атыраулы сипаты нәтижесінде қаланың айналасында батпақты және жайылмалы жерлер, сондай-ақ сазды-шөгінді шұңқырлар басым [30].

Атырау құрғақ континенттік климат белдеуінде орналасқан. Қысы суық және құрғақ, жазы ыстық әрі ұзақ. Аймақтың орташа жылдық температурасы +9,5 °C шамасында, шілде айында +35 °C дейін, ал қаңтарда -15 °C дейін төмендеуі мүмкін. Жауын-шашын мөлшері аз – жылына орта есеппен 150–180 мм, бұл шөлейт және шөл зонасына тән көрсеткіш. 7-суретке сәйкес, булану мөлшері жауын-шашыннан әлдеқайда жоғары, бұл су ресурстарының тапшылығын арттырады.

Атырау қаласы Жайық өзенінің екі жағалауында орналасқан. Жайық – Қазақстандағы ең ірі өзендердің бірі және өңірдің негізгі тұщы су көзі болып табылады. Өзен жыл бойы маусымдық тербеліске ұшырайды, көктемгі еріген сулар кезінде деңгейі көтеріледі. Қала маңында каналдар жүйесі, сондай-ақ антропогендік су қоймалары мен уақытша батпақ аймақтары бар. Сонымен қатар, Атырау Каспий теңізіне жақын орналасуына байланысты теңіз деңгейінің ауытқуларына тәуелді.



8 - сурет – Атырау қаласы бойынша жауын-шашын мөлшері

Аймақта құмдақ-саздақ және қоңыр-шөлейт топырақтар таралған. Өсімдіктер сирек, негізінен қуаң далалық және жартылай шөлейт флораға тән – соның ішінде жусан, ксерофитті шөптесіндер, тұзды өсімдіктер өседі. Қала маңындағы құмды массивтер мен тұзды жайылымдар топырақтың эрозияға ұшырау қаупін арттырады.

Атырау қаласы мұнай-газ өнеркәсібінің ірі орталығы болғандықтан, қоршаған ортаға антропогендік әсер деңгейі өте жоғары. Атмосфералық ластану, су жүйелерінің химиялық ластануы және топырақтың тұздануы – өңірге тән басты экологиялық проблемалар. Сонымен қатар, Каспий теңізі деңгейінің ауытқуы мен Жайық өзенінің су ағынының тұрақсыздығы экожүйелік тепе-теңдікке теріс әсер етеді [31].

Атырау қаласының физикалық-географиялық жағдайы оның су ресурстарын басқаруда, экологиялық тәуекелдерді болжауда және геокеңістіктік мониторинг жүргізуде ерекше маңызға ие. Жер бедерінің төмендігі, құрғақ климат және антропогендік жүктеме су объектілерінің тұрақсыздығына және маусымдық ауытқуына тікелей әсер етеді.

2.2 Деректерді жүктеу және алдын ала өңдеу әдістері

Зерттеуде пайдаланылған деректер жиынтығы Sentinel-2 Level-1C стандартты өнімі болып табылады. Бұл деректер радиометриялық және геометриялық түзетулерден (соның ішінде ортотүзету және ғаламдық координат жүйесінде субпиксельдік дәлдікпен кеңістіктік туралау) өткен кескіндерге негізделген. Sentinel-2 Level-1C өнімі WGS84 эллипсоидында UTM проекциясында ұсынылған және әрқайсысының өлшемі 100 км × 100 км болатын плиталар түрінде ұсынылады. Бұл дерек жиынтығы атмосфераның жоғарғы шекарасындағы шағылысу коэффициентін (TOA reflectance) қамтамасыз етеді [32].

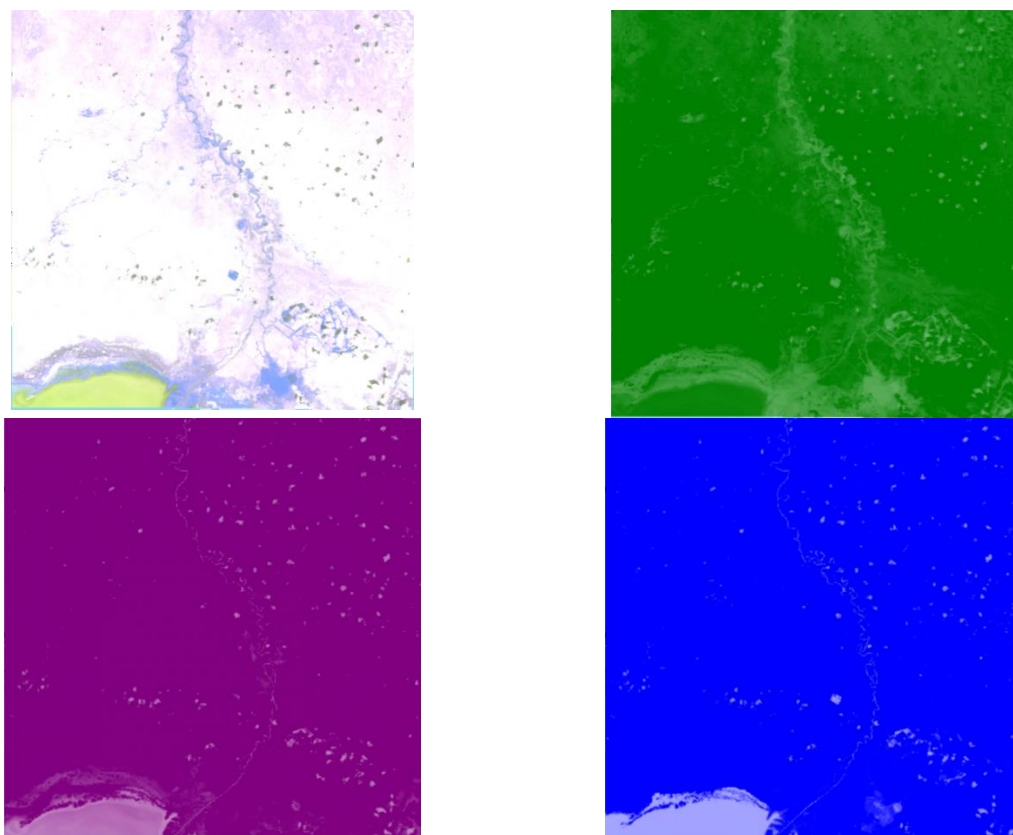
Зерттеу үшін Sentinel-2 Level-1C кескінінің бір көрінісі таңдалды, ол 2015 жылдың 13 тамызында түсірілген (қатысты орбита: R022). Бұл кескін Еуропалық ғарыш агенттігінің Sentinel-2 Pre-Operations Hub порталынан жүктелді. Зерттелетін аудан ретінде 20 км × 20 км өлшемдегі, географиялық координаттары 45°28'30"N, 12°16'29"E нүктесіне бағытталған ішкі фрагмент алынды [33].

Кескіннің 10 метрлік кеңістіктік ажыратымдылықтағы жалған түсті композиті 8-суретте көрсетілген. Зерттеу аймағы негізінен ашық су айдындарынан, қалалық құрылыс нысандарынан және өсімдік жамылғысынан тұрады.

Жасыл диапазон (10 м), жақын инфрақызыл (NIR, 10 м) және қысқа толқынды инфрақызыл (SWIR, 20 м) спектрлік арналар 8-суретте жеке көрсетілген және бұл үш арна су индекстерін – NDWI және MNDWI – есептеу үшін пайдаланылды.

NDWI (Normalized Difference Water Index) су индексі – жер бетіндегі ашық су айдындарын дәл анықтау үшін кеңінен қолданылатын спектралдық индикатор. Бұл әдіс екі негізгі қағидатқа негізделеді:

- 1) Су бетінің жасыл спектрлік диапазонда (Green) шағылысу мәнін максимизациялау;
- 2) Сол су бетінің жақын инфрақызыл диапазонда (NIR) шағылысуын минимизациялау.



9 - сурет – Атырау қаласының аймағы бойынша спектрлік арналар

Кесте 3 – Пан-шарпенинг әдістері және олардың сипаттамасы

№	Әдіс атауы	Негізгі принципі	Артықшылықтары	Шектеулері
1	PCA	Басты компонентті PAN суретпен алмастыру	Жылдам, қарапайым, спектрлік ақпаратты ішінара сақтайды	Түстік бұрмалану болуы мүмкін
2	IHS	Интенсивтілікті PAN-мен алмастырып, кері RGB-ге түрлендіру	Кескін жарықтығын нақты береді, визуалды сапасы жақсы	Тек 3 арналы суреттерге жақсы жұмыс істейді
3	HPF	Жоғары жиілікті PAN ақпаратын қосу	Жақсы кеңістіктік айқындық, есептеу оңай	Шу мен артефакттар пайда болуы мүмкін
4	ATWT	Вейвлет арқылы ажыратып, қайта құру	Кеңістіктік және спектрлік үйлесімділігі жоғары	Есептеу күрделі, процесс ауыр

Пан-шарпенинг – кеңістіктік рұқсаттылығы жоғары панхроматтық суретті (PAN) пайдалану арқылы көпспектрлі суреттердің ажыратымдылығын арттыруға бағытталған кеңінен қолданылатын әдіс. Бұл су объектілерін дәл картаға түсіру мақсатында қолданылған төрт негізгі пан-шарпенинг алгоритмдері сипатталады: Басты компоненттерді талдау (PCA), IHS түрлендіруі, Жоғары жиілікті сүзгі (HPF) және À Trous вейвлет түрлендіруі (ATWT).

NDWI немесе MNDWI су индекстерін есептегеннен кейін, су айдындарын картаға түсіру үшін олардың мәндеріне сәйкес шектік (threshold) сегментация әдістері қолданылады. Көп жағдайда бұл үшін NDWI/MNDWI индексінің оң мәні су объектісін сипаттайды деп қабылданады. Алайда, әртүрлі спутниктік платформалар мен түсіру уақыттарының спектралдық айырмашылықтары кескіннің NDWI/MNDWI мәндерінің өзгермелілігін туындатады. Сондықтан әр көрініс үшін бейімделген шек мәнін қолдану маңызды.

OTSU алгоритмі – пиксельдерді екі класқа (су және су емес) бөлу үшін динамикалық шек мәнін анықтайтын тиімді әдіс. Бұл алгоритм кластар арасындағы дисперсияны (σ^2) максимизациялауға бағытталған. Яғни, NDWI немесе MNDWI кескінін t шегімен екі классқа бөледі:

- су емес аймақтар – $[a, t]$;
- су аймақтары – $[t, b]$.

Әрбір деңгей сәйкес сандық сапа көрсеткіштерімен бағаланды. Әсіресе бірінші деңгей – пан-анықталған суреттер сапасын бағалауда QNR (Quality with No Reference), яғни эталонсыз сапа индексі кеңінен қолданылды.

QNR индексі пан-шарпенинг сапасын эталондық (нақты) суретсіз бағалауға арналған, бұл спутниктік суреттермен жұмыс істегенде маңызды, себебі кейде шынайы дерек болмауы мүмкін. QNR индексі төмендегі формула бойынша есептеледі:

$$QNR = (1 - D\lambda)\alpha \cdot (1 - Ds)\beta \quad (1)$$

мұндағы $D\lambda$ – спектрлік бұрмалану, ол бастапқы мультиспектралды кескін мен пан-анықталған кескін арасындағы спектрлік ақпараттың бұрмалануын сипаттайды;

α мен β – салмақ коэффициенттері (көбінесе 1 деп қабылданады), спектрлік және кеңістіктік компоненттердің маңыздылығын анықтайды;

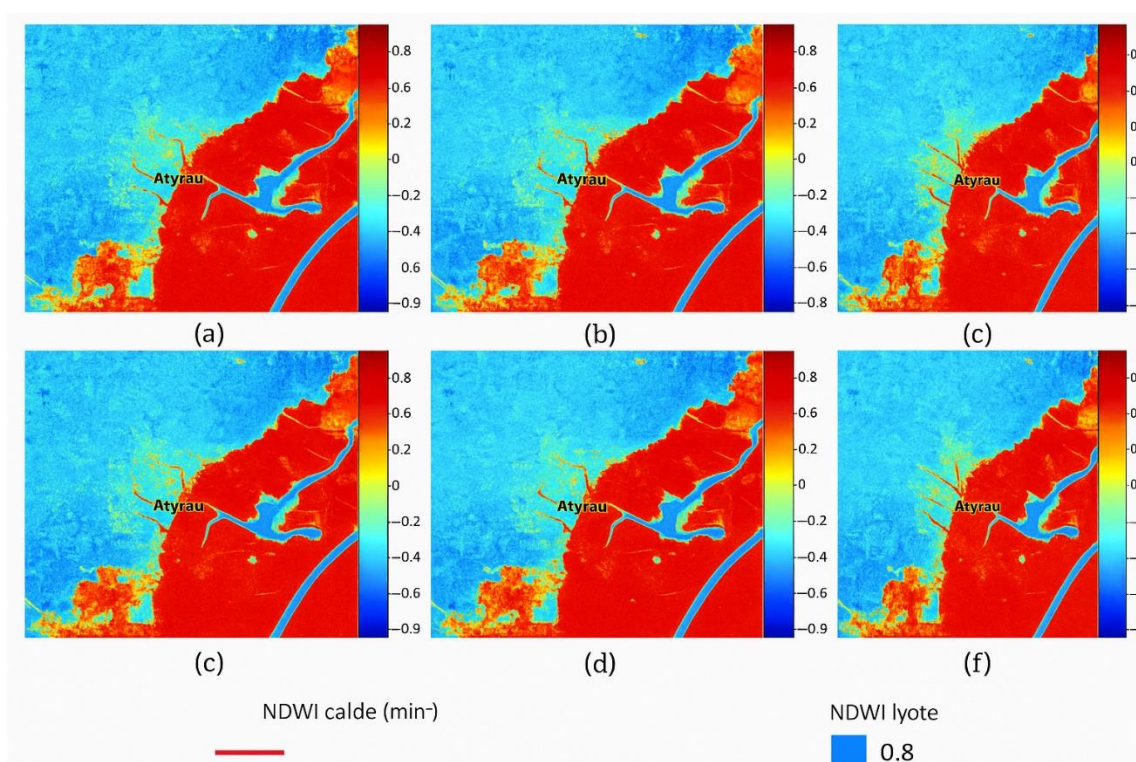
Ds – кеңістіктік бұрмалану, ол PAN-диапазоннан алынған кеңістіктік бөлшектердің қаншалықты жақсы сақталғанын сипаттайды.

$D\lambda$ неғұрлым аз болса, соғұрлым спектрлік деректер жақсы сақталған, ал Ds неғұрлым аз болса, кеңістіктік құрылым жоғары дәлдікпен берілген.

Спектрлік бұрмалану индексі $D\lambda$ және кеңістіктік бұрмалану индексі Ds төмендегі формулалар бойынша есептеледі:

$$D\lambda = N1i = 1 \sum N(1 - CC(MSi, Fi)), \quad (2)$$

$$Ds = 1 - CC(PAN, I(F)) \quad (3)$$



10 - сурет – NDWI және MNDWI индекстерінің кеңістіктік визуализациясы

4-кестеде жасыл (B3), жақын инфрақызыл (NIR, B8), қысқа толқынды инфрақызыл (SWIR, B11) диапазондары және NDWI мен MNDWI индекстері бойынша су объектілері, құрылысты аумақтар және өсімдіктер үшін алынған минималды, максималды, орташа мәндер мен стандартты ауытқулар

көрсетілген. Бұл кестелік көрсеткіштер 9-суреттегі карталармен тығыз байланысты және оларды сандық тұрғыда нақтылай түседі.

Кесте 4 – Әртүрлі жер жамылғысы түрлері бойынша спектралдық және индекстік сипаттамалар (Sentinel-2 деректері негізінде)

Жер жамылғысы түрі	Параметр	Жасыл (B3)	ЖИҚ (B8)	ҚТЖИҚ (B11)	NDWI 20 м	MNDWI 20 м
Су айдындары	Мин	81.7500	22.250	5.0000	0.3418	0.5920
	Макс	121.5000	45.750	23.0000	0.6000	0.8963
	Орташа	105.8400	32.422	9.8600	0.5296	0.8275
	SD	13.5183	5.1469	4.6035	0.0690	0.0843
Қала құрылысы (застройка)	Мин	108.2500	119.00	153.000	-0.2957	-0.3854
	Макс	360.7500	398.25	421.000	0.0845	-0.0127
	Орташа	213.4525	253.11	292.330	-0.0829	-0.1626
	SD	63.7689	76.981	69.9212	0.0737	0.0930
Өсімдіктер (вегетация)	Мин	82.0000	267.75	127.000	-0.7117	-0.3766
	Макс	109.5000	497.25	199.000	-0.4483	-0.1416
	Орташа	91.8025	386.61	158.430	-0.6058	-0.2632
	SD	7.3246	71.624	18.7154	0.0798	0.0684

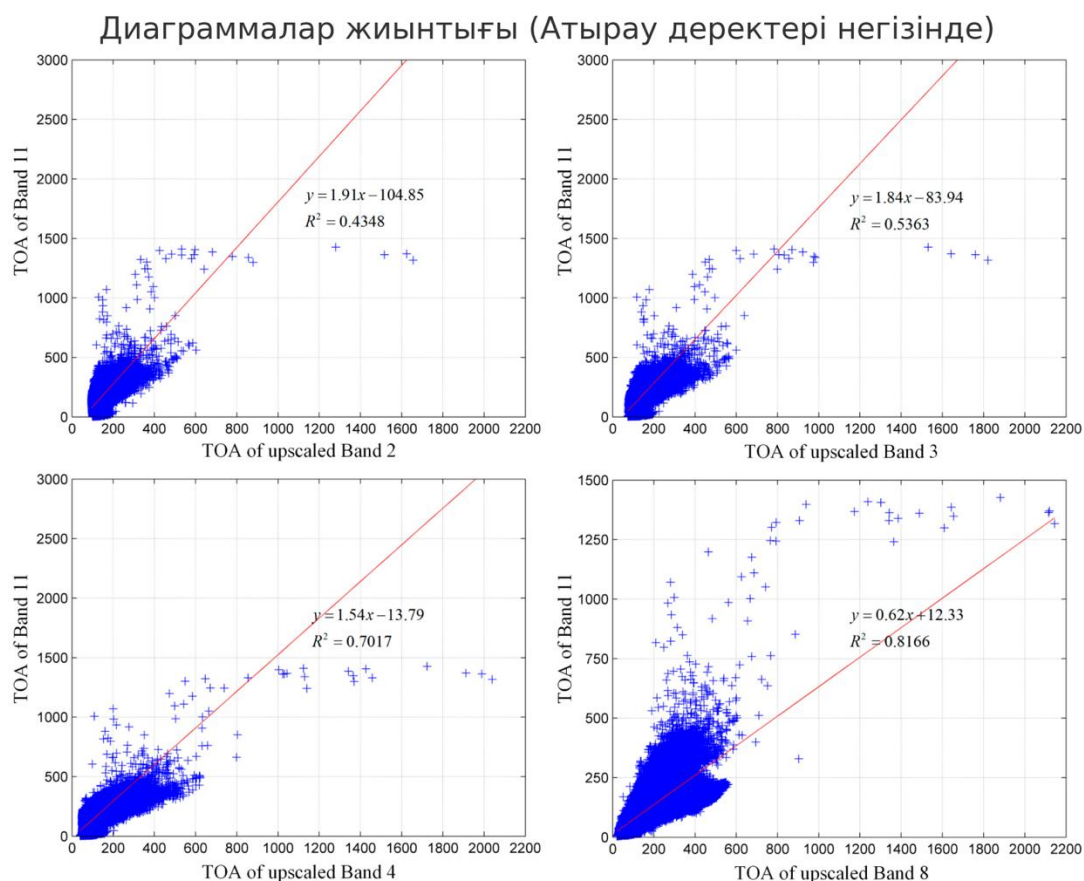
MNDWI индексінің минималды (0,5920) және максималды (0,8963) мәндері NDWI индексінің сәйкесінше 0,3418 және 0,6000 мәндерінен едәуір жоғары. Бұл айырмашылық MNDWI-дің су объектілерін NDWI-ге қарағанда анағұрлым нақтырақ анықтайтынын көрсетеді. Бұған қоса, орташа мәннің айырмасы шамамен 0,3 құрап отыр, бұл SWIR диапазонының орташа шағылысу мәнінің (9,86) NIR диапазонына қарағанда (45,75) төмен болуымен түсіндіріледі. SWIR диапазоны суды өте нашар шағылыстыратын болғандықтан, су аймақтарын анықтауда контрастты арттырады, нәтижесінде MNDWI индексінің дәлдігі жоғарылайды [34].

NDWI индексінің максималды мәні 0,0845, яғни нөлден жоғары. Бұл құрылысты пиксельдердің NDWI индексінде кейде қате түрде су ретінде интерпретациялануы мүмкін екенін білдіреді, әсіресе егер NDWI картасында бөлуді нөлдік мән бойынша жүргізсек. Ал MNDWI индексінде максималды мән -0,0127 құрап, нөлден төмен болып отыр. Бұл MNDWI индексінің құрылысты жерлер мен су объектілерін сенімді түрде ажырата алатынын дәлелдейді, себебі құрылысты аумақтар қате анықталмайды [35].

Бұл нәтижелер MNDWI индексін қалалық және күрделі ландшафтық жағдайларда су объектілерін картографиялау үшін басым әдіс ретінде таңдауға негіз бола алады.

2.3 Су айырмашылығының индексі бар Sentinel-2 суреттері арқылы су объектілерін картаға түсіру

NDWI 10 м индексін алу үшін, 20 метрлік SWIR диапазонын pan-sharpening алгоритмі арқылы күшейту қажет. Бұл үшін кеңістіктік детальдарды қамтамасыз ететін сәйкес PAN-подобный диапазон қолданылады. 3-суретте бастапқы 20 метрлік SWIR диапазоны мен бастапқы 10 метрлік 2, 3, 4 және 8-диапазондардан алынған масштабталған 20 метрлік төрт диапазон арасындағы шашырау диаграммалары мен корреляция коэффициенттері көрсетілген. Нәтижесінде, 8-диапазон (жақын инфрақызыл – NIR) ең жоғары корреляция коэффициентіне – 0,8166 – ие екені байқалды. Сондықтан 8-диапазон pan-sharpening алгоритмдерінде PAN-подобный диапазон ретінде таңдалып, 10 метрлік SWIR суретін алу үшін қолданылды.



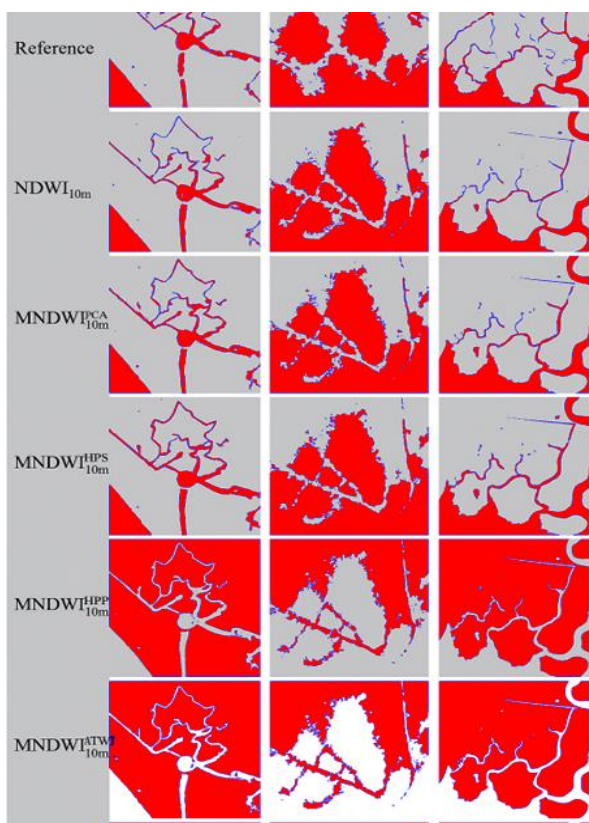
11 - сурет – Диаграммалар жиынтығы

NDWI және MNDWI индекстерінің ұлғайтылған кескіндері көрсетілген. Бұл суреттер арасындағы айырмашылық әлі де айтарлықтай екені байқалады. Жалпы алғанда, кеңістіктік ажыратымдылық – MNDWI кескініндегі су объектілері туралы ақпараттың дәлдігіне әсер ететін маңызды фактор болып табылады.

NDWI20 м кескінінде көптеген су айдындары, әсіресе сызықтық су арналары, байқалмай қалады, ал су шекараларында "тісті" төртбұрыш пішіндер жиі кездеседі. Бұл – NDWI кескінінің салыстырмалы түрде төмен кеңістіктік ажыратымдылығымен түсіндіріледі.

Керісінше, барлық MNDWI10 м кескіндерінде су объектілерінің кеңістіктік детальдары әлдеқайда нақты көрінеді. Әсіресе, сызықтық су арналары мен су шекаралары тегіс және айқын бейнеленген. Бұл 10 м кеңістіктік ажыратымдылығы бар 8-диапазоннан (NIR) алынған нақты кеңістіктік ақпаратты SWIR диапазоны мұра етіп алғандығына байланысты.

12-суретке сәйкес, көрсетілген ұқсас үрдістер байқалады: MNDWI 20 м оңтайлы шекті мәндер аралығында басқа 10 м NDWI және MNDWI суреттерімен салыстырғанда ең төмен Каппа мәндерін көрсетеді. Ал пан-шарпенингке негізделген төрт 10 м MNDWI суреттері арасында ATWT әдісі PCA, IHS және HPF әдістерімен салыстырғанда ең жоғары Каппа мәндерін береді.



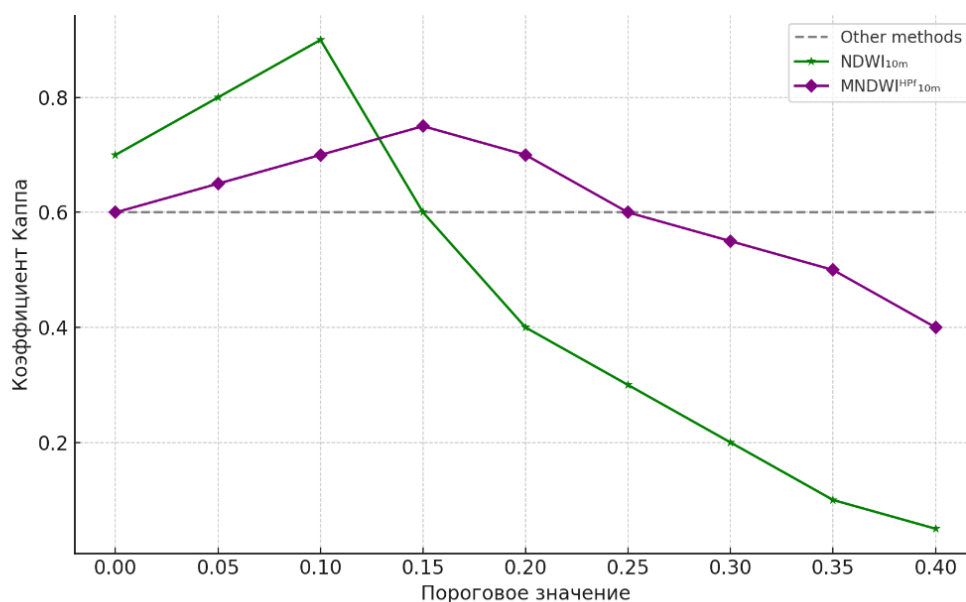
12 - сурет – 10 м ажыратымдылықтағы су айдыны карталары және NDWI және MNDWI суреттерінен алынған 20 м және 10 м ажыратымдылықтағы су айдыны карталары

Визуалды талдау көрсеткендей, PCA және IHS негізіндегі MNDWI кескіндері қара-қызғылт сары реңктерге ие және NDWI10 м кескіндеріне ұқсас. Бұл алгоритмдердің нәтижелері таңдалған PAN-подобный диапазонға айтарлықтай тәуелді болуымен байланысты. Бұл зерттеуде таңдалған PAN-диапазон — 10 м NIR, сондықтан PCA және IHS арқылы алынған MNDWI кескіндері NDWI-ге ұқсас болып шықты.

Ал ATWT және HPF негізіндегі MNDWI кескіндері қара-қызыл реңктермен сипатталып, бастапқы 20 м MNDWI кескініне ұқсайды және барлық су объектілері жақсы анықталған. Бұл HPF және ATWT әдістері бастапқы көпарналы кескіннің спектралдық ақпаратын жақсы сақтайтындығымен түсіндіріледі.

13-суретте әртүрлі әдістер бойынша алынған NDWI және MNDWI суреттері үшін су айдындарын картаға түсірудің тиімділігіне шекті мәндердің қалай әсер ететінін көрсету үшін пайдаланылған. Су айдындарын картаға түсіру шегі 0-ден 0.4-ке дейінгі аралықта, 0.05 қадамымен орнатылған, бұл мәндер 12-суретте көрсетілген NDWI және MNDWI суреттерінің гистограммаларына негізделіп алынған.

NDWI суреті үшін оңтайлы шекті мән 0 мен 0.1 аралығында екенін, ал MNDWI суреттері үшін – 0.2 мен 0.35 аралығында екенін байқауға болады. OTSU алгоритмі арқылы есептелген оңтайлы шекті мәндер (5-суретке қараңыз) осы аралықтарға сәйкес келеді. NDWI әдісі шекті мәнің өзгеруіне MNDWI-ге қарағанда сезімтал. Егер NDWI шекті мәні 0,1-ден жоғары болса, нәтижелі су айдындары карталарының Каппа мәні күрт төмендейді.



13 - сурет – айдындарын картаға түсіру шекті мәндерімен (0-ден 0.4 аралығында) алынған су карталарының орташа Каппа мәндері

Екінші тарау бойынша тұжырым

Екінші тарауда ұсынылған деректерді алдын ала өңдеу мен пан-шарпенинг әдістерін қолдану арқылы Sentinel-2 спутниктік суреттерінен NDWI және MNDWI индекстерін есептеу негізінде су объектілерін картаға түсірудің тиімді тәсілдері сипатталды. Су индексін есептеудегі кеңістіктік ажыратымдылықтың маңыздылығы және SWIR диапазонын жақсарту үшін 8-диапазонды пан-диапазон ретінде пайдалану ерекше көрсетілді.

Pan-sharpening әдістерінің салыстырмалы сипаттамасы (PCA, IHS, HPF және ATWT) олардың кеңістіктік және спектралдық үйлесімділігі тұрғысынан талданып, ATWT алгоритмі су объектілерін анықтауда ең тиімді әдіс ретінде танылды. Бұл әдіс NDWI және MNDWI негізіндегі визуализация сапасын арттырып, су айдындарының кеңістіктік пішіндерін дәлірек бейнелеуге мүмкіндік берді.

OTSU алгоритмі арқылы алынған бейімделген шекті мәндер NDWI үшін 0–0.1, ал MNDWI үшін 0.2–0.35 аралығында болатыны анықталды. Бұл мәндер су объектілерін картаға түсіруде қолданылатын автоматты сегментация шекараларын ғылыми негізде таңдауға жол ашады. Сонымен қатар, алынған су карталарының орташа Каппа көрсеткіштері (қателікті бағалау метрикасы) арқылы әдістердің нақтылығы салыстырылды. Нәтижесінде, NDWI көрсеткіштері шекті мәнге сезімтал екені анықталса, MNDWI әдісі неғұрлым тұрақты нәтижелер беретінін көрсетті.

Жалпы, бұл тарау кеңістіктік деректердің сапасын арттыру, оларды тиімді өңдеу және шекті мәндерді бейімдеу арқылы су объектілерін картаға түсірудің дәлдігін арттыруға мүмкіндік беретін әдістемелік негіз қалады. Аталған тәсілдер Атырау секілді экожүйелік тұрғыдан осал аймақтарда су ресурстарын тиімді басқаруға мүмкіндік береді.

3 Су тасқынына қатысты су объектілерінің интерактивті карталарын құру

3.1 Су тасқыны кезеңдерін анықтау және су бетінің динамикасын бағалау

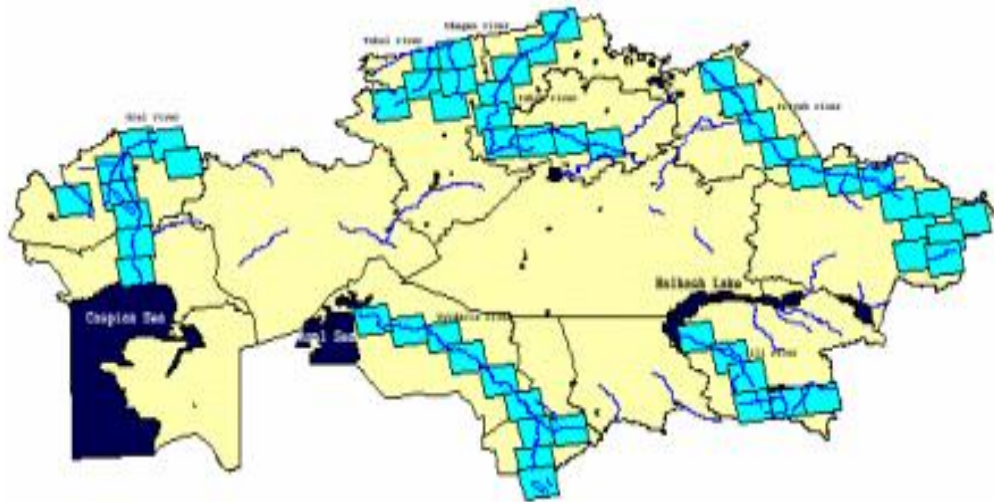
Қазақстанда өзендер саны өте көп. Олардың көпшілігі орта және шағын ауқымда орналасқан. Ең ірі өзендер қатарына Ертіс, Жайық (Орал), Тобыл, Есіл, Сырдария және Іле жатады. Көктемгі қардың еруі кезінде бұл өзендердің су ағымы күрт артады, кейде бұл көлем 1000 есеге дейін жетеді. Мұндай жағдайларда өзендер арнасынан асып, үлкен аумақтарды су басуы мүмкін. Жайық өзеніндегі ең жоғары су көтерілуі 1942 жылы тіркелген, сол кезде 13-суретке сәйкес су деңгейі қалыпты көрсеткіштен 10-11 метрге дейін көтерілген.

Айта кететін жайт, Қазақстандағы барлық ірі өзен жүйелері трансшекаралық сипатқа ие. Сондықтан бұл өзендерге қатысты мәселелер бірнеше ел үшін ортақ: Ресей, Қытай, Өзбекстан және Қырғыз Республикасы. Соңғы жылдары Сырдария өзенінің өңірінде өте қызықты жағдайлар байқалды. Бір жағынан, Арал теңізінде су тапшылығы қатты сезілсе, екінші жағынан – қыс-көктем кезеңінде Сырдарияның орта ағысында судың шамадан тыс мол болуы орын алды.

2024 жылғы көктемде орын алған Атырау облысындағы су тасқыны – соңғы онжылдықтардағы ең ауқымды және қауіпті табиғи апаттардың бірі болды. Бұл су тасқынының негізгі себептері қатарында климаттық өзгерістерге байланысты қардың мол түсуі мен тез еруі, көршілес Ресейдегі су қоймаларынан судың бір мезетте көп мөлшерде жіберілуі және өзен арналарының өткізу қабілетінің жеткіліксіздігі анықталды. Сонымен қатар, Ириклин су қоймасынан төтенше жағдайдағы су жіберулер мен Орск қаласындағы бөгеттің бұзылуы Атырау өңіріне апаттық көлемде су тасқыны келуіне себеп болды.

Гидрологиялық тұрғыда Урал, Жем және Ойыл өзендерінің арнасынан асуы – облыстың бірнеше ауданын, соның ішінде Кульсары қаласы мен Атырау қаласының маңын су астында қалдырды. Апат салдарынан мыңдаған үй бүлініп, 36 мыңнан астам адам уақытша көшірілді. Бірқатар аудандарда су деңгейі апатты шегінен асып, дамбалар мен жолдар бұзылды. Төтенше жағдай жарияланып, мемлекеттік құрылымдар, еріктілер мен халықаралық ұйымдар жедел әрекет етті.

Жедел әрекеттердің арқасында негізгі инфрақұрылым (соның ішінде Атырау мұнай өңдеу зауыты) сақталып қалды. Алайда әлеуметтік және экономикалық салдарлар елеулі болды: тұрғын үй, мал шаруашылығы, егіншілік зардап шекті. Экологиялық жағынан, су тасқыны кейбір батпақты аймақтардың қалпына келуіне ықпал еткенімен, топырақ эрозиясы, су көздерінің ластануы секілді теріс салдарлар да орын алды.

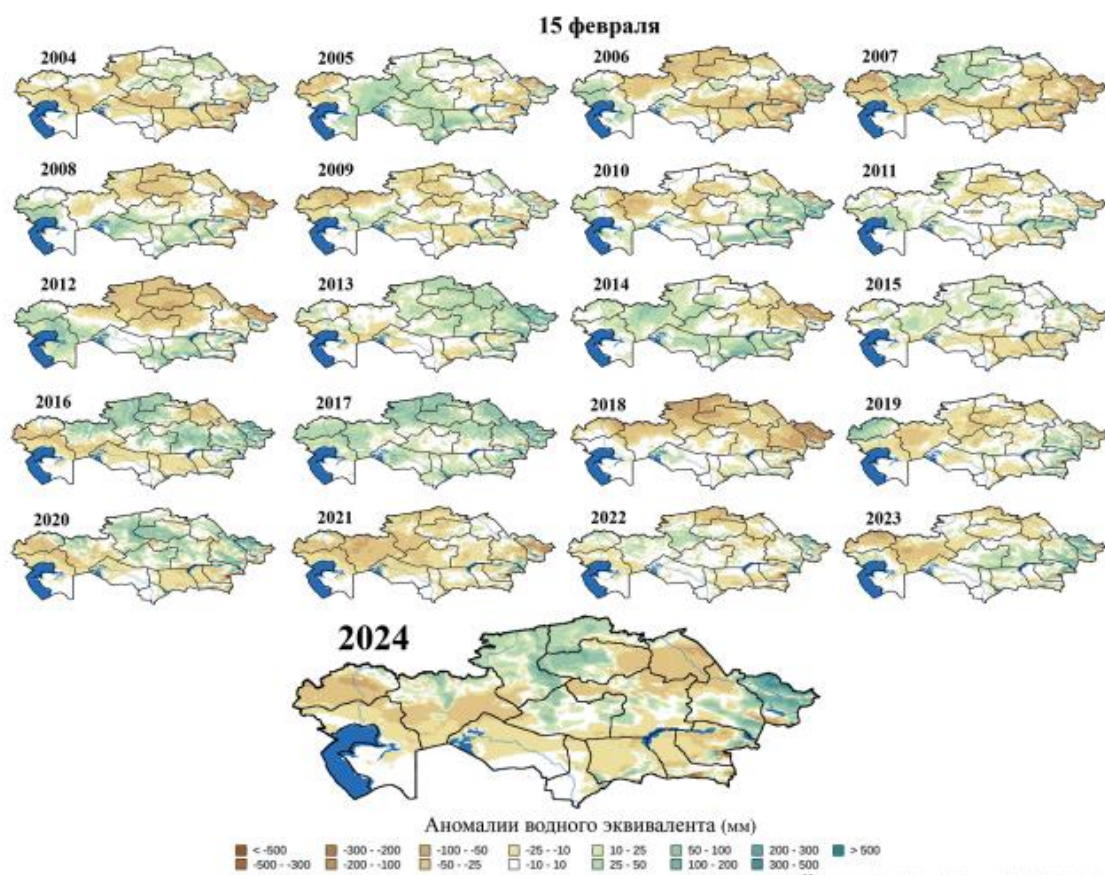


14 - сурет – Көктемгі қар суы мен су тасқыны кезінде су басу қаупі жоғары болатын Қазақстанның негізгі өңірлері картасы

Жоғарыда айтылғандай, су тасқынын ғарыштан бақылаудың бірінші кезеңі – қар жамылғысының бұзылуын ғарыштық мониторингілеу болып табылады. Бұл мақсатта қар, мұз және су жамылғыларын картаға түсіру процесін автоматтандыруға арналған арнайы бағдарламалар әзірленген. Олар қажетті проекцияға түрлендіру, зерттелетін аумақты қиып алу, әртүрлі индекстерді (NDSI, NDVI, VI) есептеу және MODIS деректері бойынша суреттерді классификациялау жұмыстарын автоматты түрде жүргізуге мүмкіндік береді.

Сонымен қатар бұл жүйелер бұлттылық маскаларын және жер бетінің температуралық карталарын да қалыптастырады. Бұлттылық маскалары – жер бетінің жағдайын анықтау мүмкін болмаған аумақтарды көрсетеді. Температуралық карталар қар немесе мұз жамылғысының маскаларымен біріктіріле отырып, еріген қар аймақтарын анықтауға көмектеседі, яғни температурасы 0°C-тан жоғары жерлерді көрсетеді (қардың еруі басталған аумақтар).

14-суретке сәйкес, қар жамылғысының бұзылуын ғарыштық бақылау нәтижесінде қар жамылғысының ағымдағы жағдайын көрсететін арнайы карта-схемалар жасалады, сондай-ақ қардың бұзылу динамикасы мен календарлық мерзімдері бойынша карталар 15-суретке сәйкес құрастырылады. Бұл ақпарат су тасқыны жағдайын болжау үшін өте маңызды. Ол қардың ери бастау мерзімін (ерте, қалыпты, кеш) және еру жылдамдығын (тез, орташа, баяу) бағалауға мүмкіндік береді.



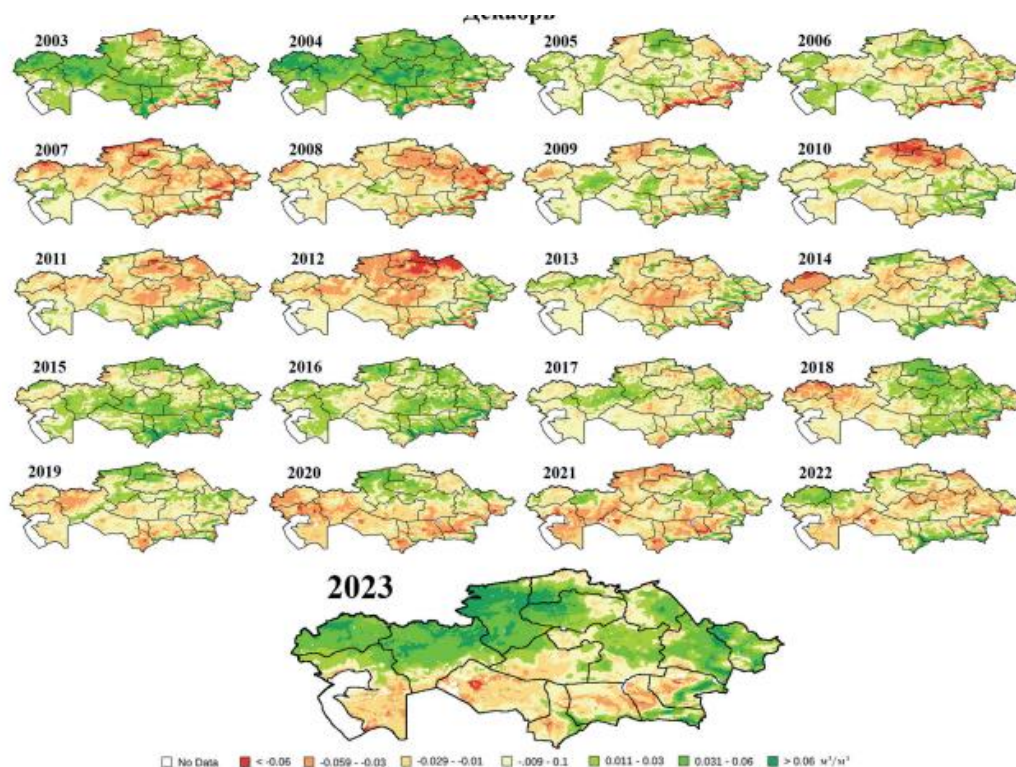
15 - сурет – Қар жамылғысы мен судың эквивалентті мөлшерінің аномалиялары

Көктемгі қар еру кезеңі басталар алдындағы, мысалы, 15 ақпанға сәйкес келетін мерзімде, жинақталған қар қорларын бағалауда ең ақпаратты көрсеткіш – қар жамылғысындағы судың эквиваленттік мөлшерінің аномалиясы болып табылады. 2024 жылғы ақпанда Қазақстанда қар қорының мөлшері жоғары болғанымен, ол аномалды түрде көп қар жауған жылға жатпаған. Осылайша, Қазақстанның батысы мен солтүстігінде 2024 жылғы көктемгі су тасқынының аса жоғары деңгейі екі негізгі фактордың тоғысуымен түсіндіріледі:

1) 2023 жылдың күзі ерекше ылғалды болған, бұл қыс басталар алдында топырақ қабатында өте үлкен су қорын қалыптастырды. Солтүстік Қазақстанның көп бөлігінде топырақтың ылғалдылығы көпжылдық максимумға жақын болды.

2) 2024 жылғы ақпанның екінші жартысында Қазақстан аумағына Арктикалық аймақтан өте суық ауа массасының күшті енуі, топырақ қабатының терең қатуын және мұзбен қанығуын қамтамасыз етті. Бұл жағдай көктемгі жылуға қарсылықты күшейтті.

Қар мөлшерінің сәл артық болуы жағдайды қиындатқанына қарамастан, ол негізгі себеп болмаған. Алғашқы екі фактор топырақ қабатының еріген суды сіңіру қабілетін күрт төмендетіп, 2024 жылғы көктемде жаппай су тасқынының орын алуына ықпал етті.



16 - сурет – Топырақтың беткі қабатының аномалиялары

3.2 Python бағдарламасын пайдалану арқылы су айдындарын автоматты түрде жіктеу және су тасқыны аймақтарын анықтау

Бірнеше поляризациясы бар поляриметриялық радиолокациялық деректердің фазалық ақпаратын пайдалану арқылы радиотолқындардың шашырау механизмін анықтауға болады. Бұл үшін поляриметриялық декомпозиция процедурасы қолданылады. 4 және 2 поляризациялы радарлық деректер қолданылған жағдайда, радар суретінің әр пикселі үшін шашырау матрицасы түзіледі. Бұл матрицада зерттеліп отырған аймақтың поляриметриялық шашырау қасиеттері жөнінде мәліметтер сақталады. Декомпозиция әдісі немесе когеренттік матрица есептеу арқылы осы матрицадан келесі поляризациялық параметрлер алынады:

– Энтропия (H) – шашыраудың ретсіздік деңгейін сипаттайды. Оның мәні 0 мен 1 аралығында болады. Егер $H = 0$ болса – бұл идеалды, бір реттік шашырау механизмі. Егер $H = 1$ болса – бұл толық диффузиялық (таралу) шашырау. Энтропия мәнінің артуы – беткі құрылымның кедір-бұдырлылығының немесе шашыраудың көлемдік компонентін қалыптастыратын күрделіліктің артуын білдіреді.

– Анизотропия (A) – энтропияны толықтырып сипаттайтын параметр. Ол әсіресе $H > 0.7$ болған кезде аймақтар арасындағы айырмашылықты анықтауға пайдалы. Поляризация жазықтығының бұрылу бұрышы (α) шашыраудың басым механизмін сипаттайды:

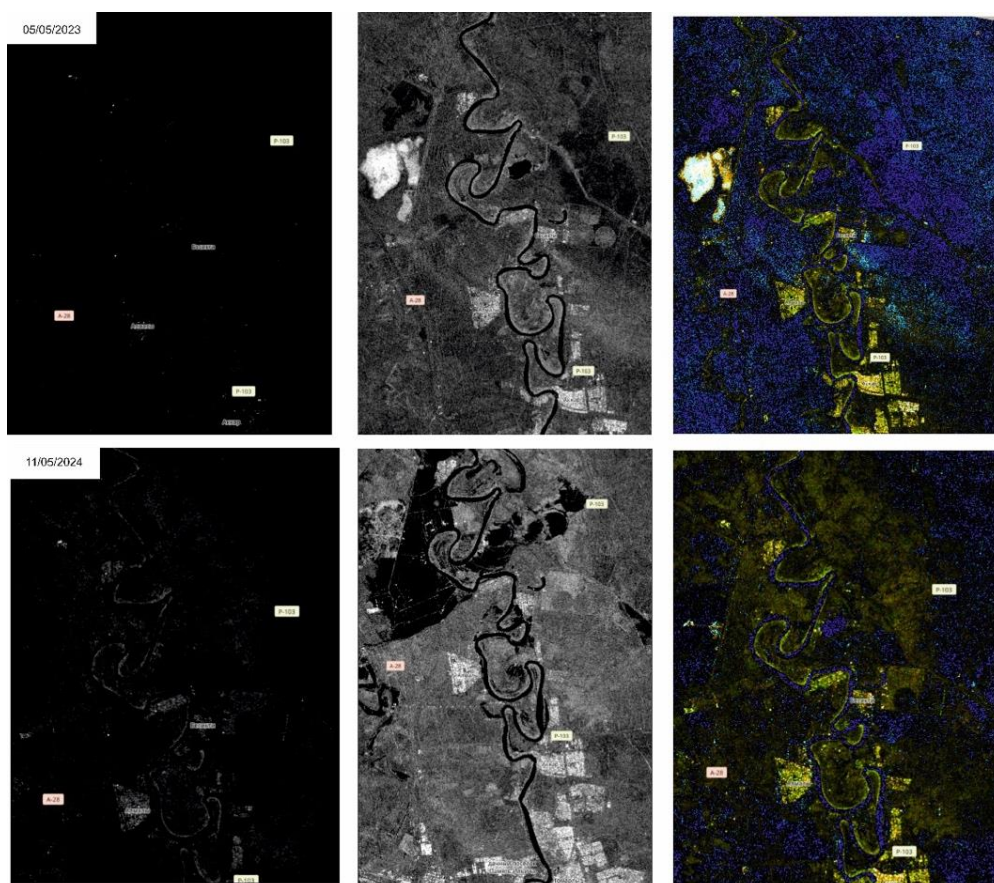
- $\alpha = 0^\circ$ – беткі шашырау;
- $\alpha = 45^\circ$ – көлемдік шашырау;
- $\alpha = 90^\circ$ – қосарланған немесе көп мәрте шағылысу.

Sentinel спутнигі бойынша фазалық құрамды талдау кезінде әртүрлі поляризация жұптары үшін когеренттілік есептелді. Зерттеу нәтижесінде су объектілерін (өзен, көл, су тасқыны аймағы) ең жақсы ерекшелеу мүмкіндігін HH/VV кополяризациялық жұбы көрсеткені анықталды.

Когеренттілік фазалық және амплитудалық радар деректерін бірлесіп талдауда пайдаланылады.

Қызыл канал – есептелген когеренттілік, Жасыл канал – екі поляризация арнасының орташа амплитудасы, Көк канал – екі арнаның амплитуда айырмасы.

Бұл композит кескін судың жайылу аймағын, дымқыл жерлерді, сондай-ақ сумен жабылған нысандарды (өсімдіктер, ғимараттар) анықтау үшін пайдаланылды.



17 - сурет – Поляризация бойынша космосуреттер

Терең оқыту (deep learning) әдістері көптеген практикалық мәселелерді шешуде жоғары тиімділікке ие. Алайда, мұндай әдістерді қолдану үшін үлкен көлемдегі белгіленген деректер немесе ауыстырмалы оқыту (transfer learning)

әдісі арқылы бейімделетін алдын ала оқытылған модель қажет. Қолданылған машиналық оқыту модельдері 5-кестеде келтірілген.

Кесте 5 – Қолданылған регрессиялық және машиналық оқыту модельдері

Модель атауы	Қысқартылған белгісі	Әдіс сипаттамасы
Сызықтық регрессия	LR	Сызықтық әдіске негізделген
Лассо регрессиясы	Lasso	Регуляризация механизмін қолдануға негізделген, бұл әдіс артық сәйкестікті азайтып, маңызды белгілерді іріктеуге мүмкіндік береді
Ридж регрессиясы	Ridge	Артық сәйкестікті болдырмау үшін регуляризация қолданылады
Эластик Нет	ElasticNet	Лассо мен Ридж регуляризациясының гибриді
XGBoost	XGB	Градиентті бустингке негізделген ансамбльді оқыту әдісі
LightGBM	LGBM	Градиентті бустингке негізделген жеңілдетілген ансамбльді оқыту әдісі
Случайлық орман	RF	Бэггинг техникасына негізделген ансамбльді оқыту әдісі
Тіректік векторлар машиналары	SVM	Ядролық (kernel) әдіске негізделген
Жасанды нейрондық желі (немесе көпқабатты перцептрон)	ANN немесе MLP	Кері таралымсыз (feedforward) нейрондық желі

Су және құрлықты ажыратуда бақылаулы классификаторлар кең қолданылады, атап айтқанда Random Forest (RF) сияқты әдістер және Support Vector Machine (SVM) секілді әдістер көптеген зерттеулерде жоғары дәлдікке жеткен. Бақылаулы әдісте алдын ала белгілі класты пикселдердің оқыту таңдауы керек етіледі – яғни, су және басқа жер беті класстары үшін үлгі деректер. Random Forest 24 әртүрлі ерекшелік белгіні (спектрлік арналар B2–B8A, NDVI, MNDWI, NDWI, т.б., сонымен бірге жер бедері – биіктік пен еңіс деректері) қамтып, су классификациясының 93,16% дәлдігін және 0,82 карра коэффициентін көрсетті. Бұл әдісте су мен көлеңкенің араласуынан болатын қатені азайту үшін жақсартылған MNDWI, NDWI индекстері және көк-жасыл диапазондар ең маңызды рөл атқарғаны анықталды. Random Forest сондай-ақ шашыраңқы қате пикселдерді едәуір азайтады, өйткені көршілес пикселдер арасындағы заңдылықтарды да үйренеді.

Су және құрлық класстарын автоматты түрде жіктеу үшін Random Forest алгоритмі қолданылды. Бұл әдіс NDWI, MNDWI және спектралды канал мәндері негізінде оқу және тестілеу жиынтықтарын құрып, әрбір пикселді «су» немесе «құрлық» категориясына жіктеуге мүмкіндік береді.

Алынған модель арқылы өңделген спутниктік деректерден алынған нәтижелер негізінде су тасқынына ұшыраған аймақтар анықталды (16 – сурет). Уақыт бойынша NDWI индекстерінің өзгерісі салыстырылып, су тасқыны аймақтарын анықтау мына шарт бойынша жүргізілді.

```
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from sklearn.model_selection import train_test_split

X = np.stack([green.flatten(), nir.flatten(), ndwi.flatten(), mndwi.flatten()], axis=1)
y = (ndwi.flatten() > 0.3).astype(int)

X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2)
clf = RandomForestClassifier(n_estimators=100).fit(X_train, y_train)
```

18 - сурет – Модель оқыту барысындағы командалар

```
import folium
from folium import raster_layers

# Координаттар орталығы – Атырау қаласы
m = folium.Map(location=[47.1, 51.9], zoom_start=9)

# Нәтиже GeoTIFF файл түрінде сақталған делік
raster = 'classified_flood_map.tif'
raster_layers.ImageOverlay(
    name='Flood extent',
    image=raster,
    bounds=[[46.5, 51.0], [47.5, 53.0]],
    opacity=0.6
).add_to(m)

folium.LayerControl().add_to(m)
m.save("atyrau_flood_map.html")
```

19 - сурет – Интерактивті карта жасау барысындағы командалар

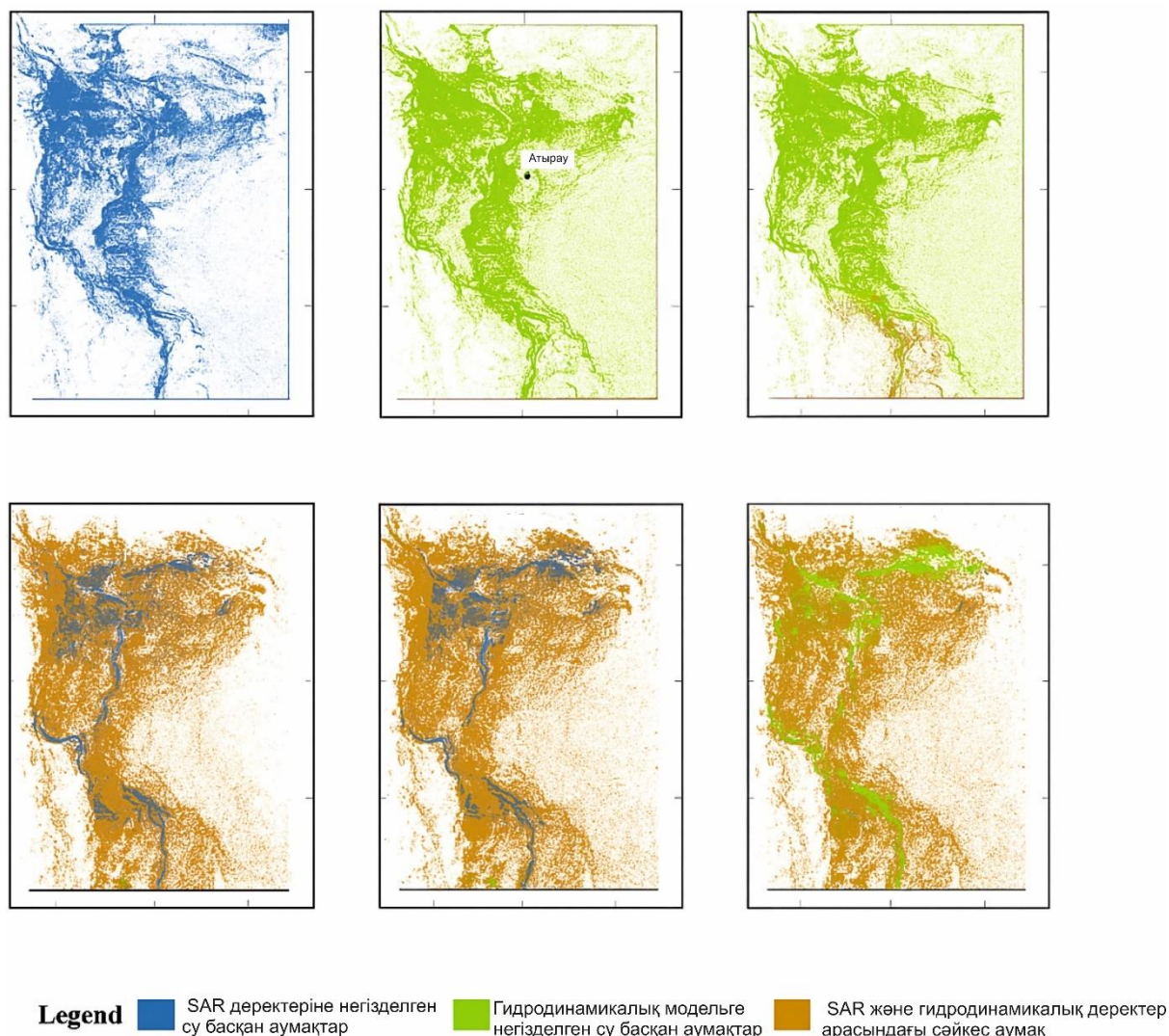
20-суретке сәйкес, UCD әдісінің нәтижелері ұсынылады. Су тасқынынан кейінгі SAR спутниктік кескіндерінің төрт уақыттық қатары 2024 жылдың 6 мамыр, 18 мамыр, 30 мамыр айына сәйкес 19. Су тасқынына дейінгі SAR кескіні 2024 жылдың 25 сәуір айында алынған, 20-суретке сәйкес.

Sentinel-1 негізінде 2024 жылғы 6 мамырдан 30 мамырға дейінгі кезеңдегі су тасқынының карталары жасалды. Бұл эталондық нәтижелер 19 - суреттерінде бейнеленген.

G.1 SM бөлімінде келтірілген әртүрлі кеңістіктік метрикаларға негізделген сапалық талдау мен сандық дәлдік бағалауы UCD әдісінің жоғары дәлдікке қол жеткізетінін көрсетті. Бұл әсіресе адаптивті табалдырық мәнін (adaptive threshold) қолдану арқылы мүмкін болды.

Атап айтқанда, Google Earth Engine (GEE) платформасы негізінде ұсынылған әдіс әрбір су тасқынын карталауды 10 секунд ішінде орындайды.

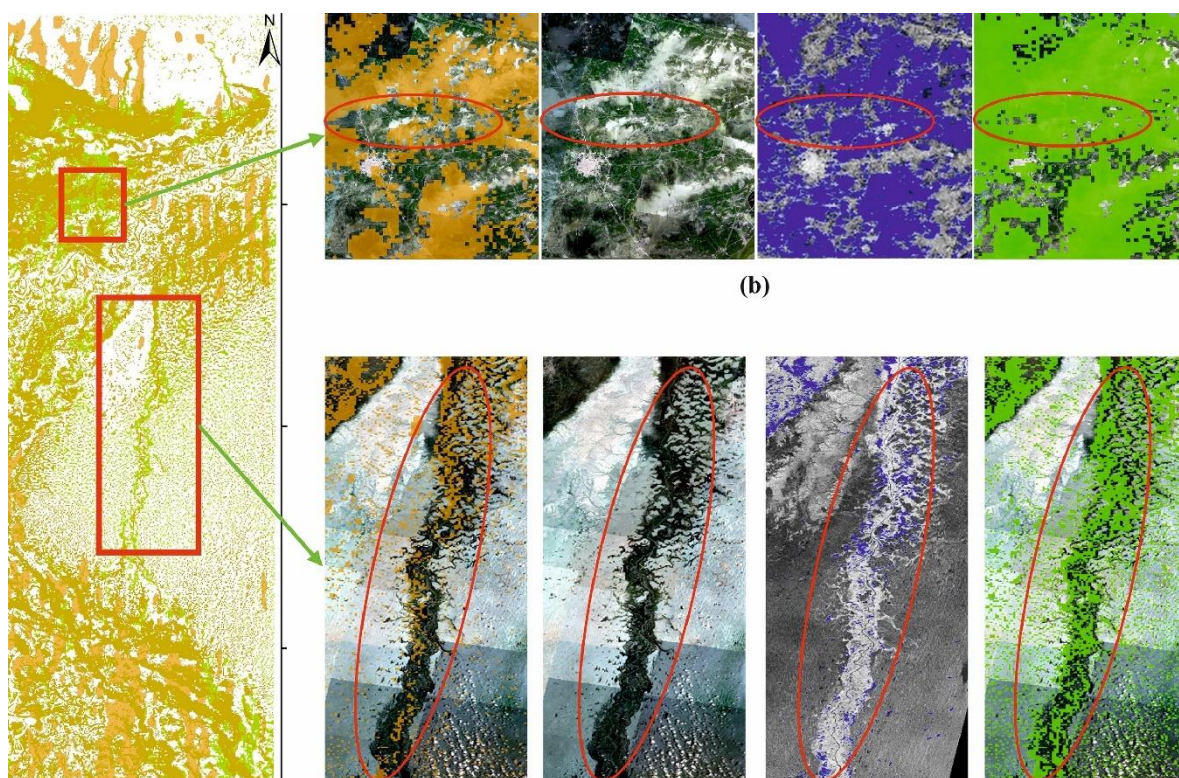
Бұл бізге 2024 жылғы 6 мамыр бен 11 мамыр аралығындағы барлық су тасқыны кезеңін толық картаға түсіруге мүмкіндік береді.



20 - сурет – SAR және гидродинамикалық деректер картасы

Уақыттық қатардағы төрт кезеңге арналған су тасқыны маскалары бойынша 6 мамырдан бастап су басқан аумақтың біртіндеп ұлғайғаны байқалады. Шарықтау кезеңі – 30 мамыр, сол күні су басқан аумақ 1,40 км² жеткен.

18–30 мамыр аралығында айтарлықтай өзгеріс орын алған, бұл кезде солтүстік және оңтүстік аймақтарда су тасқыны айтарлықтай кеңейген. Осы себепті біз бұл уақыт аралығына ерекше назар аударамыз және жерді қашықтықтан зондтау деректері мен GeoPINS “sequence-to-sequence” үлгісін пайдалана отырып, кеңістіктік-уақыттық эволюция моделін жоғары ажыратымдылықпен болжаймыз.



21 - сурет – Эталондық нәтижелер

22-суретте зерттеліп отырған аумақтағы орташа су тереңдігінің салыстырмалы талдауы келтірілген. Бұл тереңдік • GeoPINS "тізбектен-тізбекке" (sequence-to-sequence) үлгісі әдісімен анықталған: Анализ 14 күндік кезеңді қамтиды, онда жауын-шашын жағдайлары әртүрлі (уақыттық қадам = 300 с). Жалпы тенденция бойынша:

- 25 мамырға дейін су тасқыны күшеюі өңірлік орташа тереңдіктің күрт артуына алып келді;
- 25 мамырдан кейін судың таралуы азаюы нәтижесінде су тереңдігі баяу өзгерді.

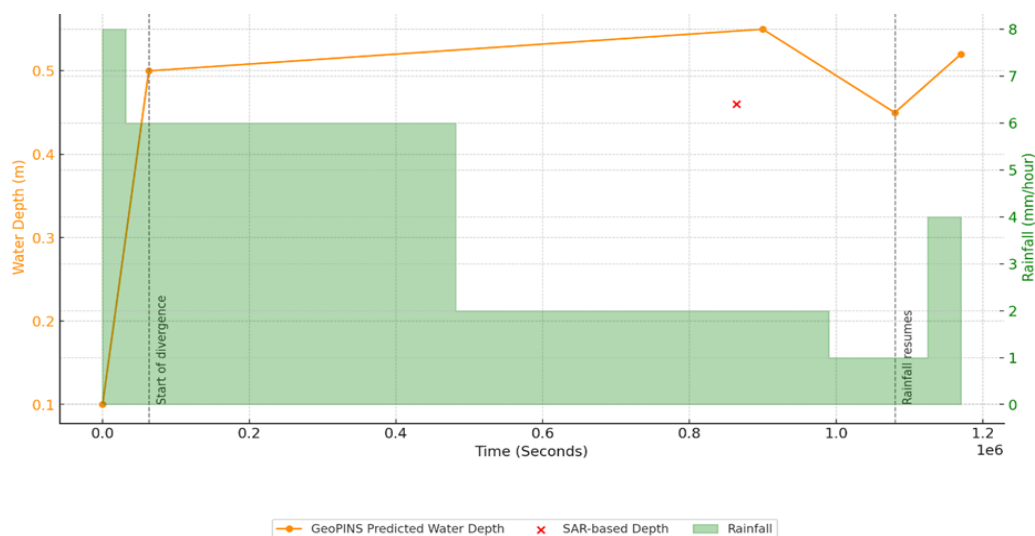
63 000 секундқа дейін GeoPINS әдісі нақты көрсеткіш көрсетті және пайда болған айырмашылықтар:

- модельді оқытудағы жинақталған қателікпен (cumulative error) байланысты;
- модельдің бастапқы 200 уақыттық қадамы жергілікті бақылау деректерімен беріледі, бірақ кейінгі қадамдарда алдыңғы болжау нәтижесі бастапқы мән ретінде пайдаланылады.

GeoPINS әдісінің орташа тереңдік қисығын талдау оның нәтижелері қисынды екенін көрсетеді:

- 900 000 - 1 080 000 секунд аралығында судың таралу аймағы үздіксіз азаюы су тереңдігінің төмендеуіне алып келеді;
- 1 080 000 секундтан кейін судың таралуы қайта басталып, тереңдік қайта артады.

Сонымен қатар, 864 000 секундтағы SAR негізіндегі орташа су тереңдігімен салыстыру GeoPINS моделінің болжамының сенімді екенін дәлелдейді.

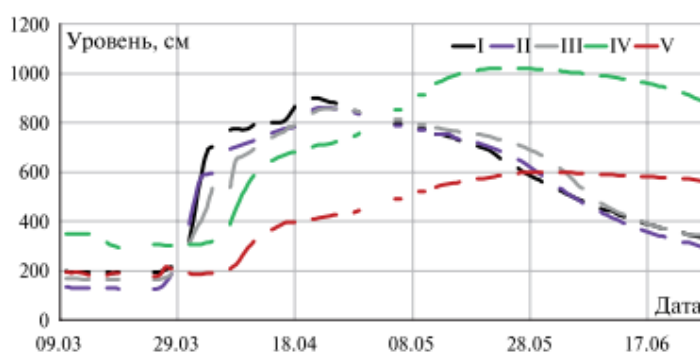


22 - сурет – Су тереңдігі динамикасы

3.3 Қашықтықтан зондтау деректері негізінде машиналық оқыту арқылы су тасқыны аймақтарын интерактивті картаға түсіру

Судың бетін картографиялық бейнелеу MODIS спутниктік кескіндеріне негізделген, олардың кеңістіктік ажыратымдылығы шамамен 250 м. Бұл процесс 2024 жылғы 20 наурыз мен 20 қыркүйек аралығындағы кезеңді қамтитын MCDWD жаһандық ақпараттық өніміне сүйенеді.

23-суретке сәйкес, бұл өнімнің негізінде MOD09.NRT.061 деректерінен алынған MODIS спектралдық жарықтығы коэффициенттері (қызыл және жақын инфрақызыл диапазондарда) жатыр, ал пиксельдерді су бетіне жатқызу белгілі бір шекті мәндермен салыстыру арқылы жүзеге асырылады.

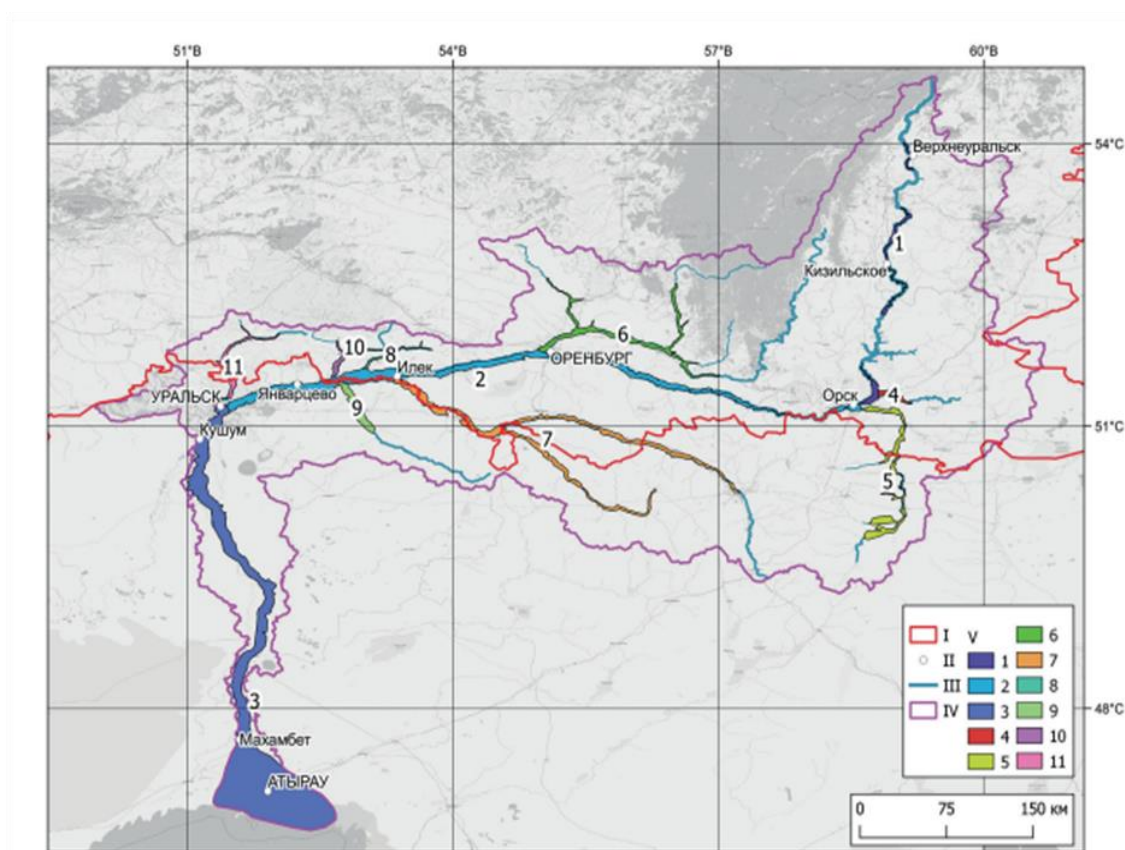


23 - сурет – Жайық өзеніндегі гидрографиялық станциялардағы 2024 жылғы орташа тәуліктік деңгейлер динамикасы

Қазақстан аумағындағы су деңгейіне қатысты деректер 2024 жылғы көктем кезеңіне арналған күнделікті гидрологиялық бюллетеньдерге сәйкес ұсынылады. Гидрологиялық бекеттердің орналасуы 23-суретте көрсетілген.

Өзен аумағы шекаралары жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы спутниктік суреттер мен цифрлық рельеф модельдерін сараптамалық дешифрлеу арқылы анықталды. Бұл процесте су бетін анықтауға арналған MCDWD және Global Surface Water (GSW) ақпараттық өнімдері негізге алынды. Далалық және шөлейт аймақтардағы өзен аумағы рельефте айқын байқалады және оларда дешифрлеу белгілері жаз-күз мезгілдерінде ерекше көрінеді. Бұл кезде өзен аумағынан тыс аймақтардағы өсімдіктер қурап, ал поймада орманды және шабындық өсімдіктер вегетациясын жалғастырады.

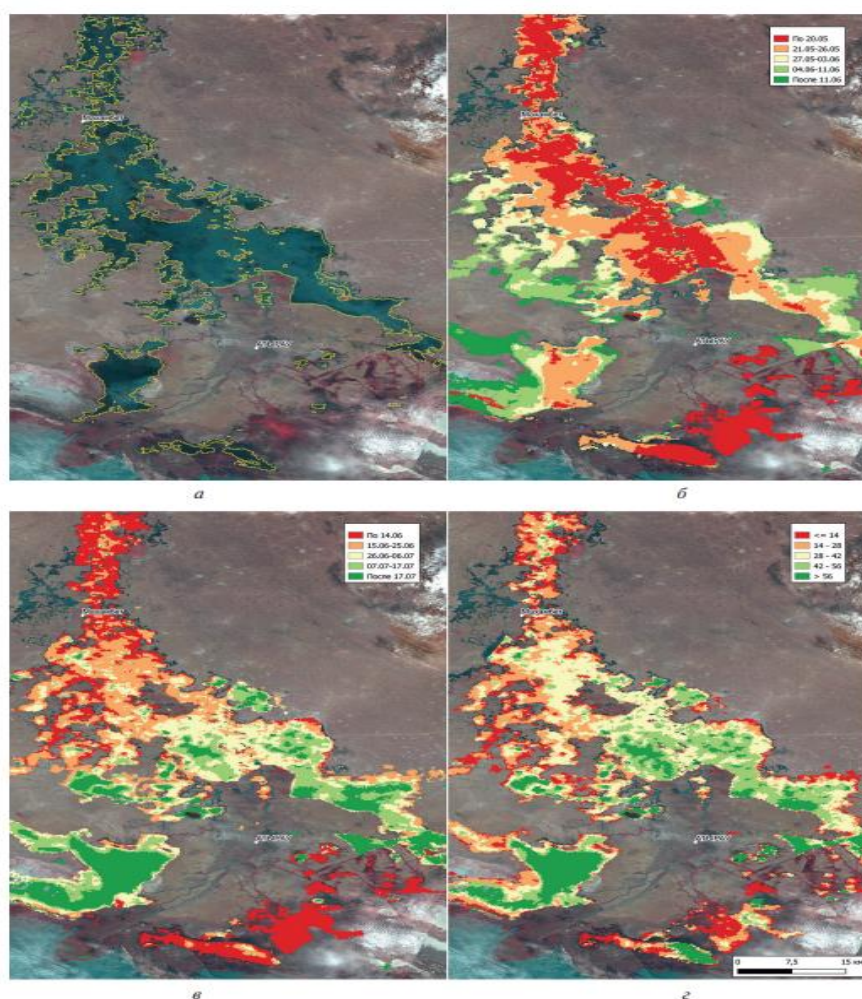
Қазіргі жағдайда дала және шөлейт зонасындағы өзен аңғарларының шекаралары тұрақты болып келеді, сондықтан оларды жиі жаңарту қажет емес. Урал өзенінің негізгі арнасына қоса, оның ірі салаларының (Үлкен Кумак, Орь және Ойсылкара, Сақмара мен Салмыш, Ілек пен Қобда, Ұтва, Кінделя, Іртек және Ташелка, Шаған) шекаралары да карталанған. Урал өзенінің су жайылған аумақтары шартты түрде үш бөлікке бөлінеді: жоғарғы (Орск қаласынан жоғары), ортаңғы (Орск пен Орал арасы) және төменгі (Орал қаласынан төмен) ағыстар.



24 - сурет – Зерттеу аумағы картасы

Урал өзенінің аңғары кең жазықтық сипатқа ие. Онда өзен еркін ирелендеп, көптеген ескі арналар мен жайылмаларды қалыптастырады. Пойманың шамамен 90%-ы ортаңғы және төменгі ағыста орналасқан. Бұл бөліктерде су жайылған аумақ ені 15–20 км-ге дейін жетеді. Оның жиегі өзеннің биік жайылмалы террасаларын шайып кетуінен нашар тілімделген. Сондықтан мұндай ауқымды аумақтарда орташа кеңістіктік ажыратымдылықтағы спутниктік деректерді қолдану орынды болып табылады.

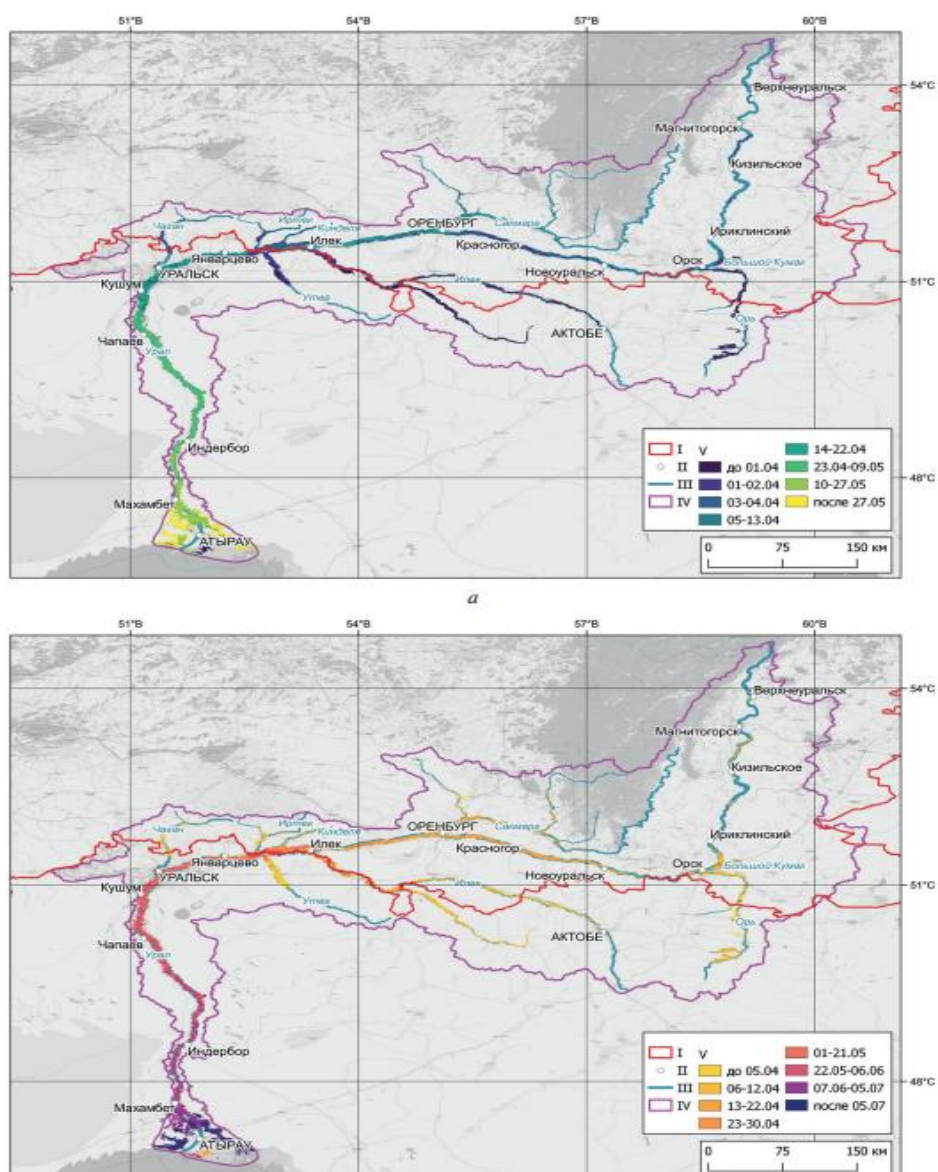
MCDWD ақпараттық өнімі 1–3 күн қатарынан байқалған су бетін тіркейді, бұлт көлеңкесі сияқты жалған анықтамалардың ықтималдығын азайтады. Әрбір пиксель үшін су бетін алғаш және соңғы тіркеген күндер анықталады. Содан кейін жыл ішіндегі әрбір күн үшін су басқан аумақтың ауданы есептеледі. Белгілі бір күнге су беті ретінде алғашқы тіркелуі ертерек, ал соңғы тіркелуі кейінірек болған пиксельдер қарастырылады. Осы тәсіл арқылы күнделікті су тасқыны карталарын жасауға және су бетін кез келген күнге бағалауға болады.



25 - сурет – MCDWD деректері бойынша Атырау қаласы маңындағы су басқан аумақтың мысалды түрде анықталуы

Бірнеше су тасқыны шарықтау шегінің болуы су деңгейінің төмендеуінен кейін қайта көтерілуі ықтимал екендігін көрсетеді. Алайда 2024 жылы су тасқыны тек бір шарықтау шегімен сипатталды. Сондықтан су деңгейінің көтерілуі мен төмендеуі бірқалыпты жүрді. Бұл тәсіл су тасқынының шарықтау кезеңінде бұлттылықтың әсерін азайтып, жекелеген күндерге қатысты су басу аумағын бағалаудағы қателіктерді болдырмайды.

Сонымен бірге, мұндай тәсілдің шектеулігі де бар — ол бұлтсыз спутниктік суреттердің болуы, әсіресе су тасқынының басы мен соңы кезеңдерінде. Дегенмен 2024 жылғы Урал өзені алабындағы су тасқыны кезеңінде спутниктік деректер жеткілікті деңгейде болды. Спутниктік суреттерді өңдеу «Вега-Science» жүйесі және «ИКИ-Мониторинг» орталығының инфрақұрылымы арқылы жүзеге асырылды.

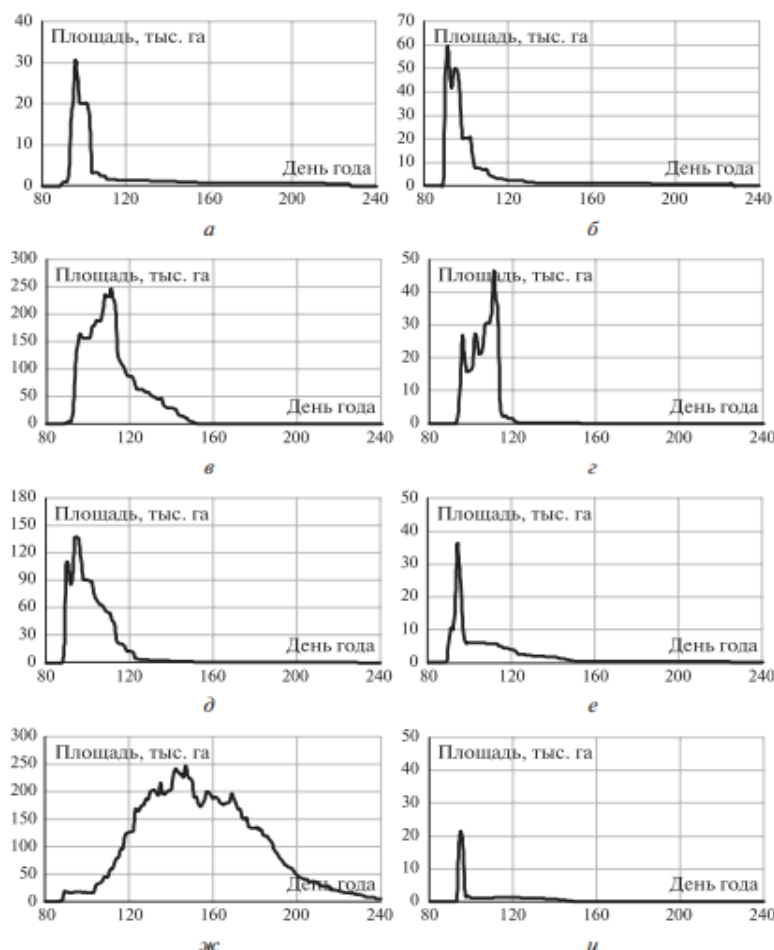


26 - сурет – 2024 жылы Урал өзені алабында су тасқыны толқынының таралуы

2024 жылы Урал өзеніндегі су деңгейінің көтерілуі ең алдымен 20 наурызда Орск қаласындағы гидрологиялық бекетте тіркелді. Бұл кезде өзеннің су жинау алабының едәуір бөлігі әлі де қармен жабылған болатын. Су деңгейінің кейінгі көтерілуі 28 наурызда Орынбор қаласында, ал 30 наурызда Илек кентіндегі гидрологиялық бекетте байқалды.

Ириклин су қоймасынан жоғары орналасқан Кизильское ауылындағы бекетте де су деңгейінің көтерілуі 30 наурызда тіркелді, ал Верхнеуральск қаласында – 3 сәуірде байқалды. Урал өзенінің төменгі ағысында су деңгейінің көтерілуі 5 сәуірден кейін басталды, бұл Махамбет кентіндегі гидрологиялық бекет деректерімен расталады.

Максималды су деңгейлері шамамен бір уақытта тіркелді: 7 сәуірде – Верхнеуральск және Орск қалаларында, 8 сәуірде – Кизильское ауылында. Орынборда ең жоғары су деңгейі 14 сәуірде тіркелсе, Илек кентінде – 17 сәуірде байқалды. Өзеннің төменгі ағысында су тасқынының шарықтау шегі 23 сәуірде Орал қаласы мен Күшім кентінде, 22 мамырда Махамбет кентінде және 27 мамырда Атырау қаласында тіркелді.



27 - сурет – 2024 жылы Урал өзені мен оның салаларының жайылмаларындағы су айдыны ауданының динамикасы

Илек кентіндегі гидрологиялық бекет деректері бойынша Урал өзенінде су деңгейінің ұзақ уақыт бойы шекті мәндерге жақын күйде сақталғаны назар аударарлық. 27-суреттегі спутниктік деректерге сәйкес, өзеннің орта ағысындағы жайылмада су айдыны маусым айының басына дейін байқалды [36]. Бұл жағдай Урал өзенінің орта ағысындағы еңістіктің төмен болуымен түсіндіріледі, ол көптеген тармақтар, таяз учаскелер, аралдар түзілуіне және арна мен жайылма түбінің кедір-бұдырлылығының артуына ықпал етеді. Сонымен қатар, соңғы онжылдықтарда салынған өткелдік көпірлердің гидравликалық өткізгіштігі жеткіліксіз болғандықтан, олар су тасқыны режиміне теріс әсерін тигізген [37]. 2024 жылғы мол сулы су тасқыны жағдайында бұл аумақтық ерекшеліктер Орынбордағы апатты су басуларға алып келді.

Урал өзенінің сағалық бөлігінде де су деңгейі шекті мәнге жақын деңгейде шілде айының басына дейін сақталып, қыркүйекте де жоғары деңгей жалғасты. 26-суретке сәйкес, спутниктік деректер бойынша жайылмадағы су басу тамыз айының соңына дейін байқалды.

Бұл су деңгейінің ұзақ уақыт жоғары болуына себеп – Урал өзенінің орта және жоғарғы ағысындағы жауын-шашынның аномалды көп мөлшері. 2024 жылы Магнитогорск пен Орынбор метеостанцияларында соңғы 20–30 жылдағы ең көп жауын-шашын мөлшері тіркелген, оның жартысы жаз мезгілінде түскен. Сондай-ақ, 2024 жылы Орынбор облысында күздік дақылдардың NDVI көрсеткіштері 2019-2023 жж. орташа деңгейінен 5-25%-ға жоғары болды. Ал жаздық дақылдар бойынша NDVI ауытқуы көптеген аудандарда 15-25%-дан асты.

Су тасқыны толқынының өту уақытын әдетте гидрологиялық бекеттерде тіркелген ең жоғары су деңгейлері бойынша немесе гидродинамикалық модельдер көмегімен есептейді. Алайда бұл модельдерге нақты гидрометеорологиялық және топографиялық деректер қажет. Сонымен қатар, жайылмада су тереңдігінің төмендігі және түптің кедір-бұдырлығы болжамның нақтылығын төмендетеді. MODIS секілді күнделікті спутниктік деректер гидродинамикалық модельдерсіз-ақ өзеннің кез келген кесіндісіндегі толқынның жету уақытын анықтауға мүмкіндік береді.

MODIS деректеріне сәйкес, Уралдың жоғарғы ағысында (Орсктен жоғары) су жайылмаға **2 сәуірде**, орта ағысында (Орск – Орал) – **30 наурызда**, төменгі ағысында (Оралдан төмен) – **29 наурызда** шыққан. Жоғарғы ағыста жайылмада су **6 мамырға**, орта ағыста – **26 мамырға**, ал төменгі ағыста – **тамыз айының соңына дейін** сақталды (қ. 6-сурет). Оң жақ салаларда (Сакмара, Кінделя, Іртек, Шаған) су тасқыны **3 сәуірде**, ал сол жақ салаларда (Үлкен Кумак, Орь, Илек, Ұтва) су жайылмаға **29-30 наурызда** шықты. Бұл ылғалды әрі қатқан топырақтағы қардың күрт еруімен түсіндіріледі.

USGS FEWS NET деректерін және реанализ нәтижелерін зерттей отырып, талшықты судың жоғары ағынына себеп болған негізгі факторлар – топырақтың жоғары ылғалдылығы және терең қату екенін көрсетті. 2024 жылы наурыздың бірінші жартысында температура нормадан 2-5°C төмен

болды, топырақтың қату тереңдігі орташа 50 см, кей жерлерде 100 см-ден асты, ал күздегі топырақ ылғалдылығы нормадан 198-370%-ға жоғары болды. Қардағы су қоры 1,1-1,7 есе артық болды, ал болжам бойынша Урал өзенінде орташа көпжылдық деңгейден **2 м** жоғары тасқын күтілді.

2024 жылы Орынбор мен Атырау маңында судың жайылмаға шығу күндерінің айырмашылығы **39 күнді** құрады. Спутниктік деректер бойынша анықталған су басу аудандарының максимумдары гидрологиялық бекеттер тіркеген ең жоғары деңгейлермен сәйкес келді:

- жоғарғы ағыста – **4 сәуірде**;
- орта ағыста – **20 сәуірде**;
- төменгі ағыста – **26 мамырда**.

Салалар бойынша:

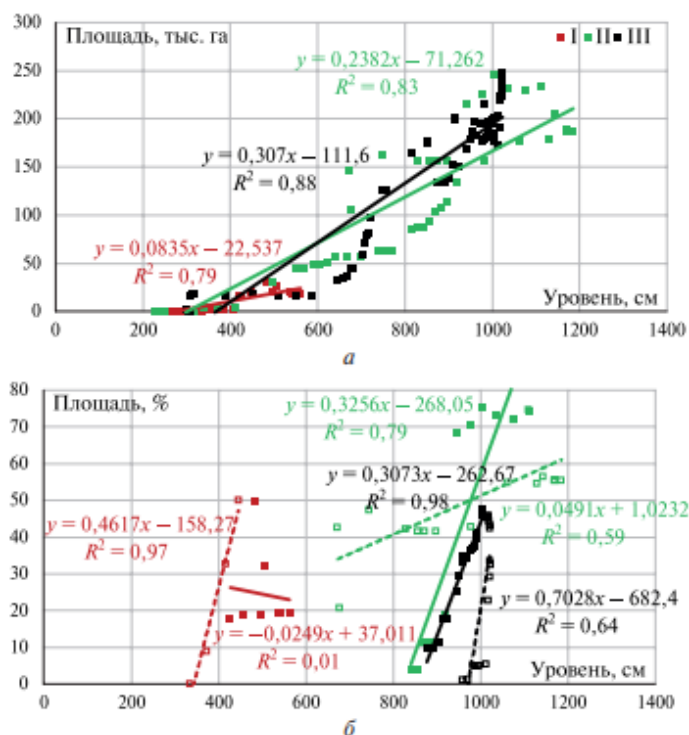
- Орь – **31 наурыз**;
- Ұтва – **3 сәуір**;
- Ілек, Кінделя, Іртек, Шаған – **4 сәуір**;
- Үлкен Кумак – **5 сәуір**;
- Сакмара – **20 сәуір**.

Чаган, Ұтва, Іртек және Кінделя салаларындағы су басу ұзақтығы бір аптадан аспады. Ал Уралдың жоғарғы ағысында, сондай-ақ Орь, Ілек, Үлкен Кумак және Сакмара өзендерінде су жайылмада **1-3 апта**, орта ағыста **3 аптадан астам**, төменгі ағыста **бір айдан көп** уақыт сақталды.

28-суретке сәйкес, MODIS деректерінен алынған су басу аудандары гидрологиялық бекеттердің деңгейлік деректерімен тығыз байланыста. Су көтерілуі мен төмендеу фазалары бірдей деңгейлер кезінде әртүрлі су басу аудандарына сәйкес келетінін көрсетті. Бұл фазаларды ескере отырып, су деңгейі мен су басу ауданы арасындағы байланыс дәлірек анықталады.

Гидрологиялық бекеттер маңындағы 30 км жоғары және төмен ағыс бөліктері бөлініп талданды. Кизильское ауылында және Махамбет кенті маңында су жайылмаға күрт шықты, ал Орынбор маңында су деңгейі біртіндеп көтерілгенімен, су басу ауданы баяу ұлғайды. Кизильское төменіндегі Урал аңғары тарық әрі жайылмасы дамымаған, сондықтан су деңгейі көтерілу кезінде су басу ауданы күрт артып, кейін тез азайған. Орынбор маңында жайылманың күрделілігі мен көптеген су қоймаларының болуы су көлемінің жайылмаға жайылып толуына көп уақытты қажет етті. Бұл аймақта су басу аудандарының ең жоғары деңгейден кейін де біраз уақыт бойы ұлғайғаны байқалды.

Махамбет кентінің маңында су басу ауданы су деңгейінің аз ғана ауытқуына қарамастан едәуір артты. Бұл жайылманың ені үлкен және арнадан биіктігі төмен болуымен түсіндіріледі. Осылайша, орташа кеңістіктік ажыратымдылықтағы күнделікті спутниктік деректер су тасқынының дамуын зерттеуде, су басу карталарын жасау мен мониторингте тиімді қолданылады.



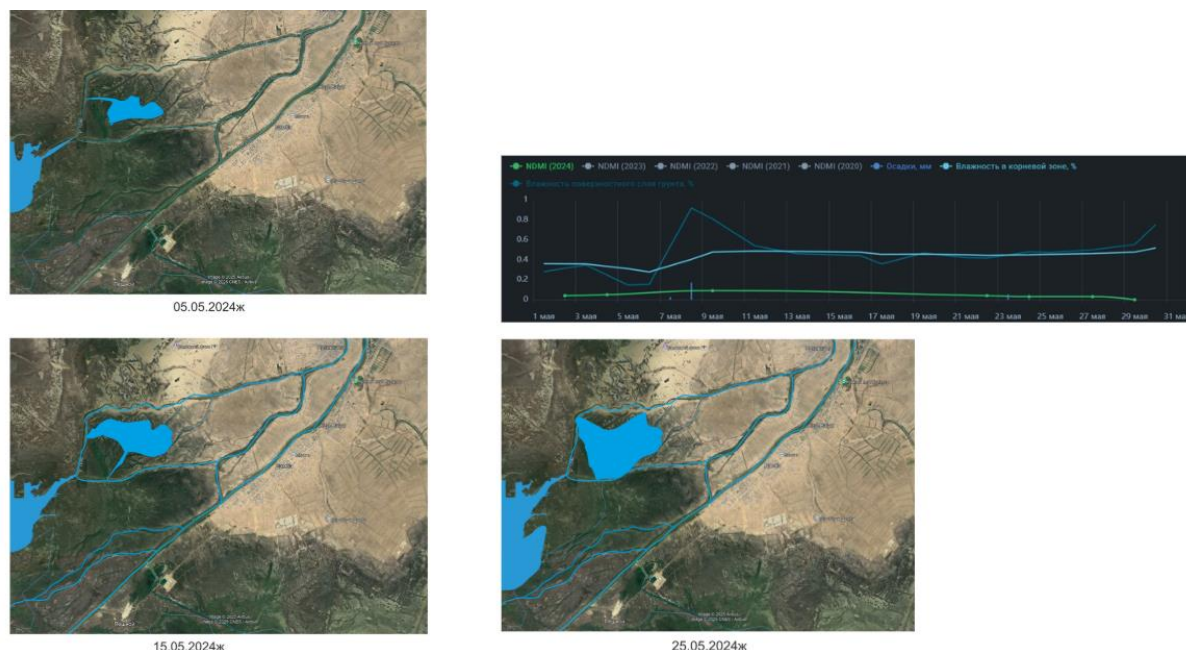
28 - сурет – 2024 жылы Урал өзенінде су тасқыны кезінде жайылма аумағы мен су деңгейінің өзара байланысы

2024 жылы Урал өзені бассейніндегі су айдынының ең жоғары бірмезгілде тіркелген ауданы 30 метрлік кеңістіктік ажыратымдылығы бар OPERA спутниктік өнімі негізінде шамамен 680 мың гектарды құрады. Бұл көрсеткіш Sentinel-2 және Landsat-8 және 9 спутниктерінің үйлестірілген деректері бойынша есептелген. Оның ішінде 190 мың гектарға жуық аумақ – тұрақты су қоймаларына тиесілі, олар маусымдық су басулар қатарына жатпайды. Ал маусымдық су тасқынына бағытталған MCDWD деректеріне сәйкес, максималды бірмезгілде тіркелген су басу аумағы 480 мың гектар болды, 29-суретке сәйкес.

MODIS спутниктік деректерімен алынған су басу аудандарының бағалауы Уралдың төменгі және орта ағысында, сондай-ақ ірі салаларында (мысалы, Сақмара мен Ілек) жоғары ажыратымдылықтағы деректермен жақсы сәйкеседі. Алайда жоғарғы ағыста және шағын салаларда (Чаган, Орь, Іртек, Ұтва, Кінделя) айырмашылықтар едәуір байқалды. Бұл, біріншіден, төменгі ағыста су тасқынының кешірек және ұзақ уақытқа созылуымен байланысты, бұл жағдайда бұлттылық спутниктік бақылауға аз кедергі келтіреді. Екіншіден, Уралдың төменгі және орта ағысында жайылма кең, террасалары әлсіз тілімделген, сондықтан MODIS және HLS деректерінің айырмашылығы минималды болады.

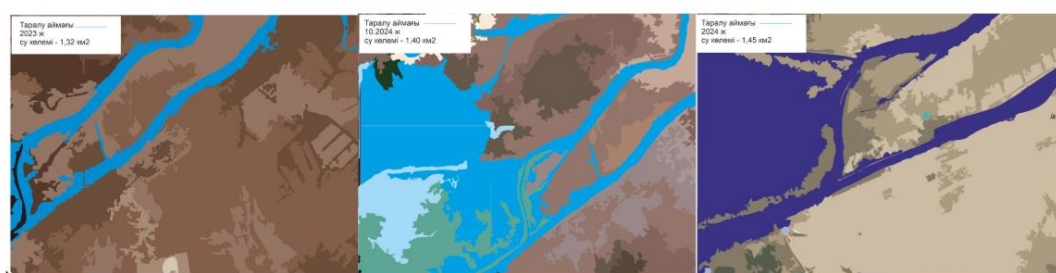
MODIS деректері бойынша кейбір шағын өзендерде су айдынының ауданы жоғары ажыратымдылықтағы деректерге қарағанда 2-3 есе артық анықталған. Бұл құбылыс, бір жағынан, су тасқыны кезеңіндегі бұлттылыққа байланысты Landsat және Sentinel-2 спутниктерінің су жайылуын тіркемеуінен

туындайды. Екінші жағынан, MODIS пиксельдерінің ішкі бетінің бір бөлігі ғана су болса да, ол тұтастай су ретінде тіркелуі мүмкін. Сонымен қатар, MODIS деректерінің кеңістіктік ажыратымдылығы төмен болғандықтан, шағын су басу аймақтарын дәл анықтау мүмкіндігі шектеулі болады, әсіресе су тасқынының бастапқы кезеңінде.



29 - сурет – Су басу аймағының өзгеруі NDMI нәтижесі

Жалпы алғанда, MODIS (шамамен 250 м) және жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы спутниктік суреттер негізінде алынған максималды су басу аудандары Урал өзені бассейні бойынша өзара жақсы сәйкеседі.

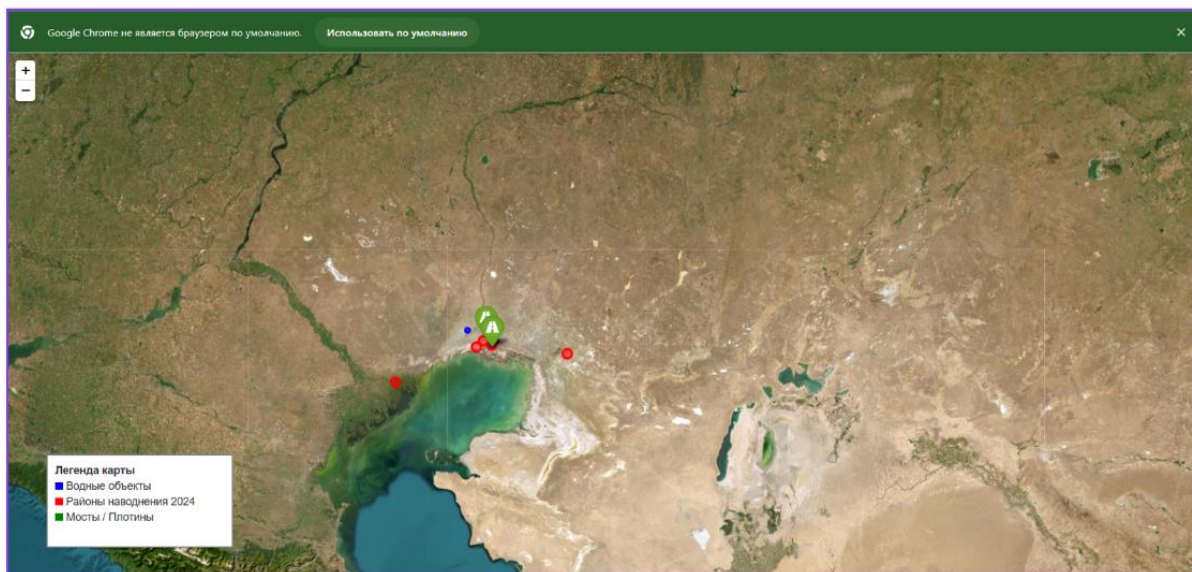


30 - сурет – Таралу аймағы картасы

Уралдың жоғарғы және орта ағысында су тасқыны негізінен сәуір мен мамырдың басында өтеді. Бұл кезеңде бұлтты ауа райы жиі кездесетіндіктен, оптикалық спутниктік суреттер арқылы су айдынын картаға түсіру қиындай түседі. Әсіресе, жоғары кеңістіктік ажыратымдылықтағы спутниктер сирек түсірілім жүргізетіндіктен, су тасқынының шарықтау кезеңін тіркеу қиын. Бұл жағдай спутниктік бақылаудың уақытша жиілігінің маңыздылығын көрсетеді.

Көп жағдайда су тасқыны шарықтағанға дейін немесе кейін ғана түсірілген суреттер пайдаланылады, бұл шынайы максималды су басу аумағын анықтауға мүмкіндік бермейді.

Осы себептерге байланысты, Урал өзенінің жоғарғы және орта ағыстарында, сондай-ақ оның салаларында MODIS деректері Landsat пен Sentinel-2 спутниктеріне қарағанда су басқан аумақты кеңірек көрсетеді. Бұл жағдай су тасқыны динамикасын бағалау кезінде әртүрлі спутниктік деректердің кеңістіктік және уақытша ажыратымдылықтарын ескеру қажеттігін дәлелдейді.



31 - сурет – Су басу аймағының интерактивті картасы

31-суретке сәйкес, нәтижесінде интерактивті картаны жасау деректерді жинау және алдын ала өңдеу кезеңінен басталады. Бұл кезеңде спутниктік суреттер (мысалы, Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat), жер бедерінің цифрлық моделі, әкімшілік шекаралар мен гидрологиялық объектілердің векторлық деректері алынады. Содан кейін бұл деректер геометриялық түзету, қажет аймақпен қиып алу (ROI), радиометриялық түзету және нормализациядан өтті.

Келесі кезең – машиналық оқыту моделін құрастыру. Мақсатқа байланысты (мысалы, су басқан аумақтарды анықтау) Random Forest, Support Vector Machine немесе нейрондық желілер (мысалы, U-Net пиксельдік сегментация үшін) секілді алгоритмдер пайдаланылады. Модель алдын ала белгіленген деректер негізінде оқытылады – бұл нақты су тасқыны маскалары, қолмен не сенімді дереккөздерден алынған (мысалы, Copernicus EMS, OPERA DSWx).

Модельді валидациялағаннан кейін ол жаңа суреттерге қолданылады. Қазіргі веб-картография кітапханалары қолданылады: Leaflet, Mapbox, CesiumJS немесе Google Earth Engine (JavaScript немесе Python API арқылы). Деректер растр және векторлық қабаттар түрінде интерактивті элементтерімен

бірге бейнеленеді – мысалы, уақыт сүзгілері, аңыз, қалқымалы ақпарат терезелері.

Карта веб-серверге орналастырылып, браузер арқылы онлайн қолжетімді болады. Қолданушылар нақты уақыт режимінде аумақтың өзгерістерін зерттей алады, салыстырып талдай алады. Сонымен қатар, бұл карта деректер базасымен (мысалы, PostgreSQL + PostGIS) немесе бұлтты платформалармен (Google Earth Engine, AWS S3, Open Data Cube) байланыстырылады.

Аталған карта жерді қашықтықтан зондтау деректері негізінде жасалған және қоршаған ортаны бақылау, төтенше жағдайларға ден қою және аумақты орнықты дамыту салаларында ғылыми шешімдер қабылдауға мүмкіндік беретін заманауи құрал болып табылады.

Үшінші тарау бойынша тұжырым

Бұл тарауда су тасқынына қатысты су айдындарын талдау, автоматты түрде жіктеу және интерактивті картаға түсіру жұмыстары кешенді түрде қарастырылды. Қазақстандағы ірі өзендер жүйесінің трансшекаралық сипаты мен көктемгі кезеңдерде судың кенеттен көбеюі су тасқыны қаупін арттыратыны көрсетілді. Әсіресе, 2024 жылы Атырау облысында орын алған су тасқыны соңғы онжылдықтардағы ең ірі табиғи апаттардың бірі ретінде бағаланды. Бұл апат климаттық өзгерістер, қардың көп мөлшерде түсуі мен күрт еруі, көршілес Ресей аумағындағы су қоймаларынан су жіберу және өзен арналарының гидравликалық өткізу қабілетінің төмендігімен тікелей байланысты болды.

Су тасқыны құбылыстарын кеңістіктік және уақыттық жағынан нақты бағалау мақсатында әртүрлі спутниктік деректер (Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat, MODIS, OPERA DSWx-HLS) қолданылып, су айдындарының динамикасы анықталды. Қар жамылғысының бұзылуын бақылау үшін NDSI, NDVI, VI сияқты индекстер және температуралық карталар пайдаланыла отырып, қардың еру мерзімі мен жылдамдығы карталанған. Бұл мәліметтер су тасқыны басталатын мерзімді дәл болжауға мүмкіндік берді.

Су мен құрлықты ажырату үшін машиналық оқыту әдістері кеңінен қолданылды. Random Forest, SVM, ANN сияқты модельдер NDWI, MNDWI, спектралдық арналар мен жер бедері деректері негізінде жоғары дәлдікпен жұмыс істеді (93,16% дәлдік, 0,82 қаппа коэффициенті). Бұл модельдер су басқан аумақтарды автоматты түрде анықтап, қателіктерді азайтып, өңделген кескіндерден нақты су тасқыны маскаларын алу мүмкіндігін берді.

Одан бөлек, радиолокациялық деректерді (Sentinel-1) поляризация арқылы талдау нәтижесінде судың жайылу аймағы мен ылғалданған жерлерді анықтауға арналған когеренттілік композиттері жасалды. Сонымен қатар, UCD және GeoPINS «sequence-to-sequence» әдістері арқылы кеңістіктік-уақыттық су тереңдігі мен таралу динамикасы жоғары дәлдікпен модельденді.

Бұл әдістер су тасқыны кезіндегі өзгерістерді секундтық интервалмен болжауға мүмкіндік беріп, нақты уақыттағы гидрологиялық талдау жүргізуге негіз қалады.

Нәтижесінде, Google Earth Engine және басқа да веб-картография құралдары арқылы алынған мәліметтер негізінде онлайн интерактивті карта жасалды. Бұл карта нақты уақыт режимінде жұмыс істейді, пайдаланушыларға су тасқыны аумақтарын көруге, салыстыруға және талдауға мүмкіндік береді. Деректер PostgreSQL + PostGIS базалары және бұлтты платформалармен біріктіріліп, карта ғылыми шешімдер қабылдау, төтенше жағдайларға жедел әрекет ету және аумақты орнықты дамыту салаларында тиімді құрал ретінде ұсынылды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл диссертациялық жұмыста спутниктік қашықтықтан зондтау деректері мен машиналық оқыту әдістері арқылы Атырау облысында 2024 жылғы су тасқынына байланысты гидрологиялық жағдайды бағалау және картаға түсірудің ғылыми-әдістемелік негіздері қарастырылды. Зерттеу барысында геоақпараттық жүйелер (ГАЖ), спектралдық индекстер (NDWI, MNDWI, NDSI), паншараптау алгоритмдері (ATWT), шектік жіктеу әдістері (OTSU), сондай-ақ машиналық оқыту модельдері (Random Forest, SVM, нейрондық желілер) кешенді түрде қолданылды.

Google Earth Engine платформасы арқылы жүзеге асырылған интерактивті онлайн карта нақты уақыт режимінде су тасқынының аумақтық таралуын және динамикасын бақылауға мүмкіндік берді. Жасалған модельдер Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat-8/9 спутниктерінің деректерімен сәйкестендіріліп, су басқан аумақтарды жоғары дәлдікпен автоматты түрде анықтады. Машиналық оқыту арқылы алынған нәтижелер когеренттілік композиттерімен және оптикалық спектрлік деректермен үйлестіріліп, карта деректерінің нақтылығы мен сенімділігін арттырды.

Зерттеу нәтижесінде мынадай негізгі ғылыми және практикалық қорытындылар жасалды: ҚЗ деректері мен спектралдық индекстерді (NDWI, MNDWI) пайдалану су айдындарын анықтау мен су тасқыны аймақтарын картаға түсіруде тиімді және дәл әдіс болып табылатыны дәлелденді. Машиналық оқыту модельдері (әсіресе Random Forest) су тасқыны нәтижесінде уақытша және тұрақты су жамылғыларын жіктеуде жоғары дәлдік көрсетті. Pan-sharpening әдісі (ATWT) арқылы кеңістіктік ажыратымдылықты арттыру картографиялық өнімдердің сапасын жақсартуға мүмкіндік берді. Google Earth Engine базасында құрылған онлайн интерактивті карта су тасқынына жедел ден қою және мониторинг жүргізу үшін пайдаланушыға ыңғайлы, қолжетімді құрал ретінде ұсынылды. Жұмыс нәтижелері экологиялық мониторинг, су ресурстарын басқару және төтенше жағдайлар салаларында қолдануға жарамды және ғылыми тұрғыдан негізделген.

Жалпы алғанда, бұл диссертациялық жұмыс Қазақстандағы су тасқыны қаупі жоғары өңірлерде (соның ішінде Атырау облысы) жерді қашықтықтан зондтау және машиналық оқыту технологияларын пайдалану арқылы гидрологиялық процестерді кешенді түрде талдаудың жаңа ғылыми бағытын ұсынды. Алынған нәтижелер болашақта су қауіпсіздігін қамтамасыз етуге және табиғи апаттардың алдын алуға бағытталған шешімдерді қабылдауға негіз бола алады.

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Борщ С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В., Юмина Н.М. Прогнозирование характеристик половодья 2024 года на реках Ишим, Тобол и Урал // Гидрометеоролог. исслед. и прогнозы. – 2024. – №2(392). – С. 111–129. – DOI: 10.37162/2618-9631-2024-2-111-129.
- 2 Воронова А.Е., Рублев И.В., Соловьева И.А. и др. Спутниковый мониторинг экстремального наводнения в Иркутской области 2019 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17, №1. – С. 263–266. – DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-1-263-266.
- 3 Дубина В.А., Шамов В.В., Плотников В.В. Катастрофическое наводнение в Приморье в августе 2018 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15, №5. – С. 253–256. – DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-253-256.
- 4 Зилитинкевич Н.С. Методика расчёта ежедневных площадей заливания района дельты Волги в половодье с использованием спутниковых данных // Исслед. Земли из космоса. – 2024. – №3. – С. 78–93. – DOI: 10.31857/S0205961424030065.
- 5 Константинова А.М., Лупян Е.А. Анализ последствий прорыва дамбы Сардобинского водохранилища 1 мая 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17, №3. – С. 261–266. – DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-261-266.
- 6 Лупян Е.А. и др. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН // Современные проблемы ДЗЗ. – 2015. – Т. 12, №5. – С. 263–284.
- 7 Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М. Современные изменения максимального стока рек бассейна Урала // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2024. – №2. – С. 72–80. – DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2024/2/72-80.
- 8 Сивохип Ж.Т., Падалко Ю.А. Географо-гидрологические факторы опасных гидрологических явлений в бассейне реки Урал // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2014. – №6. – С. 53–61. – DOI: 10.15356/0373-2444-2014-6-53-61.
- 9 Солодовников Д.А. и др. Геоинформационная система пойменных земель Донского бассейна // Юг России: экология, развитие. – 2022. – Т. 17, №1(62). – С. 151–161. – DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-151-161.
- 10 Терехов А.Г. и др. Спутниковый мониторинг Сардобинского водохранилища // Современные проблемы ДЗЗ. – 2020. – Т. 17, №3. – С. 255–260.
- 11 Терехов А.Г., Саиров С.Б., Абаев Н.Н. и др. О возможных причинах больших весенних паводков 2024 года в Казахстане // Современные проблемы ДЗЗ. – 2024. – Т. 21, №3. – С. 331–338.
- 12 Трошко К.А. и др. Развитие сельскохозяйственных культур в России в 2024 году // Современные проблемы ДЗЗ. – 2024. – Т. 21, №4. – С. 308–315.

- 13 Турсунова А.А., Мырзахметов А.Б., Баспакова Г.Р. и др. Гидрологиялық сипаттамалар тарихы // География және су ресурстары. – 2024. – №2. – С. 40–51. – DOI: 10.55764/2957-9856/2024-2-40-51.11.
- 14 Чепашев Д.В. и др. Половодье Жайық өзенінде ДЗЗ көмегімен // Вестн. АУЭС. – 2024. – Т. 3, №66. – С. 118–128.
- 15 Чибилёв А.А. Бассейн Урала: история, география, экология. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 312 с.
- 16 Шинкаренко С.С., Барталев С.А. Повреждение плотины Каховской ГЭС // Современные проблемы ДЗЗ. – 2023. – Т. 20, №3. – С. 314–322.
- 17 Шинкаренко С.С., Васильченко А.А. Состояние нерестилищ нижнего Дона // Вестн. МГУ. Сер. 5: География. – 2023. – №1. – С. 16–27.
- 18 Шинкаренко С.С. и др. Классификация пойменных земель Нижней Волги // Современные проблемы ДЗЗ. – 2023. – Т. 20, №3. – С. 119–135.
- 19 Шинкаренко С.С., Барталев С.А., Лупян Е.А. Наводнение в Оренбургской обл. 2024 г. // Современные проблемы ДЗЗ. – 2024. – Т. 21, №3. – С. 339–347.
- 20 Claverie M. et al. The harmonized Landsat and Sentinel-2 dataset // Remote Sens. Environ. – 2018. – V. 219. – P. 145–161.
- 21 Jones J.W. Revised Dynamic Surface Water Extent (DSWE) // Remote Sensing. – 2019. – V. 11(4):374.
- 22 Loupian E. et al. VEGA-Science system capabilities // Remote Sensing. – 2022. – V. 14(1):77.
- 23 Pekel J.-F. et al. Mapping global surface water changes // Nature. – 2016. – V. 540. – P. 418–422.
- 24 Slayback D. et al. NASA's near real-time flood product // IGARSS. – 2023. – P. 1432–1435.
- 25 Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. Hydrological regularities in Don Basin // Water Resources. – 2020. – V. 47(6). – P. 719–728.
- 26 Islam A.R.M.T. et al. Flood mapping using machine learning and Sentinel data // Hydrology. – 2022. – V. 9, №11. – P. 194.
- 27 Thakur P. et al. Flood detection using Sentinel-1 and Random Forest // J. Remote Sens. GIS. – 2021. – V. 10(1). – P. 1–10.
- 28 Pham T.D. et al. Machine learning for flood susceptibility mapping // J. Hydrol. – 2020. – V. 581. – 124406.
- 29 Zaharia L. et al. Flood hazard assessment using GIS and remote sensing // Water. – 2021. – V. 13(8). – 1087.
- 30 Dottori F. et al. Flood mapping and forecasting: status and challenges // Earth-Science Rev. – 2022. – V. 235. – 104263.
- 31 Twele A. et al. Satellite flood detection and monitoring: A review // Remote Sens. – 2016. – V. 8(6):462.
- 32 Schumann G., Di Baldassarre G. The future of remote sensing in flood management // Geomatics, Nat. Hazards and Risk. – 2017. – V. 8(2). – P. 651–666.
- 33 Brakenridge G.R. Global Flood Observatory: data for decision making // Water. – 2018. – V. 10(9):1180.

- 34 UN-SPIDER. Space-based information for disaster risk management. – [Электрондық ресурс]. URL: <https://www.un-spider.org>
- 35 ESA. Copernicus Emergency Management Service (EMS) Flood Mapping. – <https://emergency.copernicus.eu>
- 36 NASA. Disasters Program – Flood Portal. – <https://disasters.nasa.gov/floods>
- 37 Google Earth Engine. Platform Documentation. – <https://developers.google.com/earth-engine>

СЫН-ШІКІР

магистрлік диссертация

Хамраева Жұлдызай Абуалиқызы

(аты, жөні тегі)

7M07306 – «Геокеңістіктік цифрлық инженерия»

(БББ шифры, атауы)

Тақырыбы: Су объектілерінің интерактивті карталарын құру кезінде
картографиялық кескіндерді зерттеу

Аяқталды:

- А) графикалық бөлімі 17 сызбадан;
В) түсініктеме қағаз 58 парақтан тұрады.

МАГИСТРЛІК ЖҰМЫС БОЙЫНША ЕСКЕРТУЛЕР

Магистрант Хамраева Жұлдызай Абуалиқызы ұсынған «Су объектілерінің интерактивті карталарын құру кезінде картографиялық кескіндерді зерттеу» тақырыбындағы магистрлік диссертация жұмысы қазіргі таңда кең таралып жатқан цифрлық картография мен геоақпараттық жүйелер саласындағы маңызды мәселелердің біріне арналған.

Жұмыстың мақсаты – су объектілерінің кеңістіктік мәліметтерін тиімді визуализациялау үшін картографиялық кескіндердің түрлері мен сипаттарын сараптап, олардың негізінде интерактивті карталар құрудың тиімді тәсілдерін анықтау. Магистранттың зерттеуінде картографиялық деректерді өңдеу, мазмұндық құрылымын анықтау принциптері ғылыми тұрғыдан жан-жақты талданған.

Жұмыс барысында магистрант геоақпараттық жүйелер бағдарламаларымен еркін жұмыс істей алатындығын көрсетті. Сонымен қатар, су объектілерін картаға түсіруде деректердің дәлдігі мен визуалдық мазмұндылығының маңызы нақты мысалдармен көрсетілген.

Жұмысты бағалау

Жұмыстың теориялық және практикалық маңызы зор, одан әрі кеңейтуді қажет ететін өзекті зерттеу бағыты ретінде қарастыруға болады. Магистрлік диссертацияның құрылымы, тілі, рәсімделуі талаптарға сай. Жұмыс сапалы орындалған және қолданбалы құндылығы бар.

Қорыта келгенде, Хамраева Жұлдызай Абуалиқызының магистрлік диссертациясы ғылыми-практикалық тұрғыдан жоғары деңгейде орындалған. Жұмысты 95%-ға өте жақсы деп бағалай отырып, «Геокеңістіктік цифрлық инженерия» білім беру бағдарламасы бойынша магистр академиялық дәрежесін беруге лайық деп есептеймін.

Рецензент

ХБК, «Геодезия және картография,

Кадастр» кафедрасының қауымдастырылған

профессоры, PhD докторы

Алтаева А.А.

«14» маусым 2025 ж.

ҚазҰТЗУ 706-17 Ү. Сын-шікір



ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

магистрлік диссертация
(жұмыс түрінің атауы)

Хамраева Жұлдызай Абуалиқызы
(аты, жөні тегі)

7М07306 – «Геокеңістіктік цифрлық инженерия»
(мамандық шифры, атауы)

Тақырыбы: «Су объектілерінің интерактивті карталарын құру кезінде
картографиялық кескіндерді зерттеу»

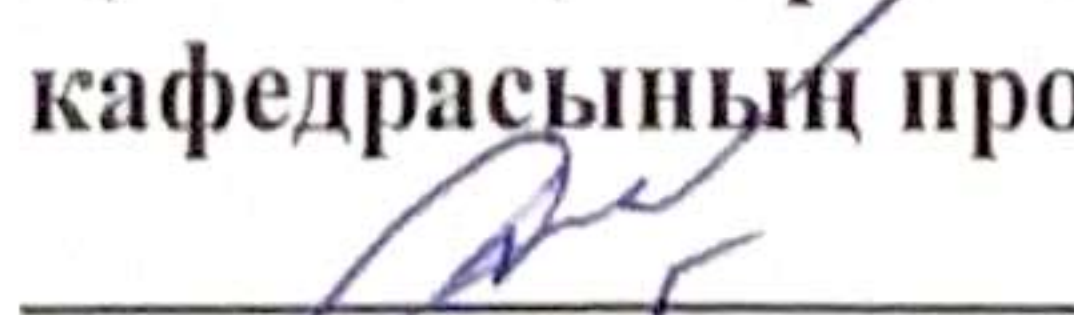
Магистрант Хамраева Жұлдызайдың «Су объектілерінің интерактивті карталарын құру кезінде картографиялық кескіндерді зерттеу» ғылыми жұмысы геоақпараттық технологиялар мен картография саласының өзекті мәселелерінің бірі – су объектілерінің кеңістіктік деректерін интерактивті форматта ұсыну үшін картографиялық кескіндердің ерекшеліктерін зерттеуге арналған. Магистрант зерттеу барысында тақырыпқа байланысты отандық және шетелдік ғылыми еңбектерді кеңінен зерделеп, су объектілерін картада бейнелеу әдістерін, мәліметтерді визуализациялау тәсілдерін және геоақпараттық жүйелер арқылы талдау мүмкіндіктерін жүйелі түрде сипаттаған.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы – картографиялық кескіндердің сапасы мен мазмұны интерактивті карталар құрудағы шешуші фактор ретінде қарастырылып, оларды тиімді пайдаланудың әдістемесі ұсынылған.

Диссертация құрылымы жүйелі, мазмұны терең, зерттеу нәтижелері тәжірибе жүзінде қолдануға жарамды. Жұмыстың ғылыми және практикалық маңыздылығы жоғары.

Магистрлік диссертация Мемлекеттік жалпыға міндетті білім беру стандартына сәйкес жазылған. Жұмыс 7М07306 – «Геокеңістіктік цифрлық инженерия» білім беру бағдарламасы бойынша магистр академиялық дәрежесін алуға толықтай лайық деп есептеймін. Диссертациялық жұмысты 95%-ға өте жақсы деп бағалай отырып, ізденушіге магистр академиялық дәрежесін беруге ұсынамын.

Ғылыми жетекші
ҚазҰТЗУ, Маркшейдерлік іс және геодезия
кафедрасының профессоры, т. ғ. к.

 Нурпеисова Т.Б.
«23» маусым 2025 ж.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Хамраева Жулдызай

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Су объектілерінің интерактивті карталарын құру кезінде картографиялық кескіндерді зерттеу

Научный руководитель: Толеужан Нурпеисова

Коэффициент Подобия 1: 6.3

Коэффициент Подобия 2: 2.5

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 11

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата 16.06.2022.

Баймуратов О.
проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Хамраева Жулдызай

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Су объектілерінің интерактивті карталарын құру кезінде картографиялық кескіндерді зерттеу

Научный руководитель: Толеужан Нурпеисова

Коэффициент Подобия 1: 6.3

Коэффициент Подобия 2: 2.5

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 11

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата 16.06.25



Заведующий кафедрой

МОЛОДОЙ УЧЁНЫЙ

ISSN 2072-0297

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

СПЕЦВЫПУСК

90 лет КазНУТУ имени К. И. Сатпаева

Казахский национальный
исследовательский технический
университет имени К. И. Сатпаева
(Satbayev University)

Является приложением к научному журналу
«Молодой учёный» № 48 (547)

48.1 2024

Молодой ученый

Международный научный журнал

№ 48.1 (547.1) / 2024

Издается с декабря 2008 г.

Выходит еженедельно

Ответственный за подготовку сборника — Нурпеисова Маржан Байсановна, доктор технических наук, профессор

Главный редактор: Ахметов Ильдар Геннадьевич, кандидат технических наук

Редакционная коллегия:

Жураев Хусниддин Олтинбоевич, доктор педагогических наук (Узбекистан)
Иванова Юлия Валентиновна, доктор философских наук
Каленский Александр Васильевич, доктор физико-математических наук
Кошербаева Айгерим Нуралиевна, доктор педагогических наук, профессор (Казахстан)
Куташов Вячеслав Анатольевич, доктор медицинских наук
Лактионов Константин Станиславович, доктор биологических наук
Сараева Надежда Михайловна, доктор психологических наук
Абдрасилов Турганбай Курманбаевич, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)
Авдеюк Оксана Алексеевна, кандидат технических наук
Айдаров Оразхан Турсункожаевич, кандидат географических наук (Казахстан)
Алиева Тарана Ибрагим кызы, кандидат химических наук (Азербайджан)
Ахметова Валерия Валерьевна, кандидат медицинских наук
Бердиев Эргаш Абдуллаевич, кандидат медицинских наук (Узбекистан)
Брезгин Вячеслав Сергеевич, кандидат экономических наук
Данилов Олег Евгеньевич, кандидат педагогических наук
Демин Александр Викторович, кандидат биологических наук
Дядюн Кристина Владимировна, кандидат юридических наук
Желнова Кристина Владимировна, кандидат экономических наук
Жуйкова Тамара Павловна, кандидат педагогических наук
Игнатова Мария Александровна, кандидат искусствоведения
Искаков Руслан Маратбекович, кандидат технических наук (Казахстан)
Калдыбай Кайнар Калдыбайулы, доктор философии (PhD) по философским наукам (Казахстан)
Кенесов Асхат Алмасович, кандидат политических наук
Коварда Владимир Васильевич, кандидат физико-математических наук
Комогорцев Максим Геннадьевич, кандидат технических наук
Котляров Алексей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук
Кузьмина Виолетта Михайловна, кандидат исторических наук, кандидат психологических наук
Курпаяндин Константин Иванович, доктор философии (PhD) по экономическим наукам (Узбекистан)
Кучерявенко Светлана Алексеевна, кандидат экономических наук
Лескова Екатерина Викторовна, кандидат физико-математических наук
Макеева Ирина Александровна, кандидат педагогических наук
Матвиенко Евгений Владимирович, кандидат биологических наук
Матроскина Татьяна Викторовна, кандидат экономических наук
Матусевич Марина Степановна, кандидат педагогических наук
Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук
Насимов Мурат Орленбаевич, кандидат политических наук (Казахстан)
Паридинова Ботагоз Жаппаровна, магистр философии (Казахстан)
Прончев Геннадий Борисович, кандидат физико-математических наук
Рахмонов Азизхон Боситхонович, доктор педагогических наук (Узбекистан)
Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук
Сенцов Аркадий Эдуардович, кандидат политических наук
Сениошкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук
Султанова Дилшоода Намозовна, доктор архитектурных наук (Узбекистан)
Титова Елена Ивановна, кандидат педагогических наук
Ткаченко Ирина Георгиевна, кандидат филологических наук
Федорова Мария Сергеевна, кандидат архитектуры
Фозилов Садриддин Файзуллаевич, кандидат химических наук (Узбекистан)
Яхина Асия Сергеевна, кандидат технических наук
Ячинова Светлана Николаевна, кандидат педагогических наук

СОДЕРЖАНИЕ

Кузница инженерных кадров Казахстана.....	1	Кириченко М. В., Касымканова Х. М.	
Айтбай Д. С., Бекеев Б. С., Ормамбеков Е. Ж.,		Влияние метеорологических условий съемки	
Куандыков Т. А., Нурпеисова М. Б.		на точность моделей беспилотных летательных	
Наблюдение за деформациями зданий		аппаратов	27
и сооружений в зоне строительства		Мурат Д. Т., Несипкалиев А. А.,	
метрополитена	2	Айтказинова Ш. К., Нурпеисова М. Б.	
Алтыбай Ж. К., Киргизбаева Д. М.,		Ақжал кен орны карьері борттары мен жерасты	
Нұрпейісова М. Б.		қазбаларының орнықтылығын мониторингтеуде	
Алматы қаласының электронды, 2d және		заманауи аспаптарды қолдану	29
3d-карталарын құру.....	6	Нағыметулла А. Т., Кожаяев Ж. Т.,	
Амангелді А. Н., Солтабаева С. Т.,		Нукарбекова Ж. М.	
Айтказинова Ш. К.		Анализ экологического загрязнения	
Жаңатас карьері беткейлерінің Жай-күйін		города Кызылорда	33
мониторингтеудің технологиясы	9	Наметов И. А., Кожаяев Ж. Т., Айтказинова Ш. К.	
Аманжолулы А., Алиханов И. А.,		Роль ГИС-технологий в исследовании	
Тезекпаев Н. Р., Ормамбеков Е. Ж.,		сейсмоопасных зон Шымбулака	36
Нурпеисова М. Б.		Nurlybaev R. Y., Bek A. A., Ashimova A. A.,	
Методика оценки устойчивости		Nurpeisova M. B.	
бортов карьера	12	High lag for the «Green Kazakhstan» project.....	39
Ауесхан К. Б., Рысбеков К. Б.		Сағатбек Б. Ж., Анетов Б. Т., Мейрамбек Г. М.,	
Исследование проведения аэрофотосъемки		Нурпеисова М. Б.	
с целью обновления топографических карт		Мониторинг многоуровневых транспортных	
города Кунаева	15	развязок города Алматы	43
Ashimova A. A., Bek A. A., Nurlybaev R. Y.,		Сутормин Н. С., Матжанова М. М.,	
Nurpeisova M. B.		Мадимарова Г. С., Жантуева Ш. А.	
Processing of ash and slag waste		Комплексные инженерно-геодезические	
from thermal power plants with production		изыскания территории по данным	
of building materials	18	аэрофотосъемки	46
Болманов О. А., Мейрамбек Г. М.,		Усен Д. К., Бердикул Н. И., Нурпеисова К. М.	
Нурпеисова М. Б.		Улучшение теплофизических	
Использование современных приборов		показателей ограждений для повышения	
в маркшейдерских съемках при освоении		энергоэффективности зданий	49
хромитовых месторождений	21	Хамраева Ж. А., Мадимарова Г. С.,	
Жаканова А. С., Ормамбекова А. Е.,		Нурпеисова Т. Б., Ормамбекова А. Е.	
Нукарбекова Ж. М., Нурпеисова М. Б.		Өзен бойындағы су басу аймақтарын	
Рациональное использование земель		геоақпараттық технологиялары	
под линии электропередач	24	негізінде үлгілеу	51

мерения коэффициента паропроницаемости [2, 4–7]. В качестве основных факторов, влияющих на паропроницаемость материалов, выделены: движение воздуха, сорбционная влажность материала, температура и барометрическое давление.

Особое внимание уделено необходимости разработки методов для расчета нестационарного влажностного режима ограждающих конструкций на основе потенциала влажности.

Подчеркивается важность упрощения определения плоскости максимального увлажнения в рамках методик защиты от переувлажнения, а также проверки корректности переноса экспериментальных данных, полученных методом «мокрой чаши», на вертикально ориентированные ограждающие конструкции. Кроме того, отмечается необходимость разработки стандартных значений эксплуатационной влажности.

Литература:

1. СНиП РК 2.04–21–2004. Тепловая защита зданий. — Астана, 2004.
2. СТ РК 25898–2014. Прокат холоднокатаный тонколистовой кровельный. Технические условия
3. Фокин, К. Ф. Новые данные о паропроницаемости строительных материалов / К. Ф. Фокин // Проект и стандарт. — 1936. — № 8–9. С. 19–24. International Energy Agency. Energy Efficiency Indicators 2022: Buildings Sector. — Paris: IEA Publications, 2022.
4. ГОСТ 25898–2012. Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию. — М.: Стандартинформ, 2014. — 15 с.
5. Влияние различной скорости движения воздуха на паропроницаемость теплоизоляционных материалов / В. Н. Куприянов, А. С. Петров // Строительные материалы. — 2013. — № 6. — С. 20–21.
6. Иванов, П. А., Сидоров, Е. В. Повышение энергоэффективности зданий с использованием инновационных утеплителей // Строительные материалы. — 2021. — № 5. — С. 32–38.
7. Евдокимова, Л. В. Современные подходы к проектированию ограждающих конструкций / Л. В. Евдокимова. — СПб.: Наука и техника, 2019.
8. Пастушков, П. П. Влияние влажностного режима ограждающих конструкций с наружными штукатурными слоями на энергоэффективность теплоизоляционных материалов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / Пастушков Павел Павлович. — М., 2013. — 169 с.
9. Galbraith, G. H. Moisture permeability measurements under varying barometric pressure — Experimental methodology is developed for measuring moisture permeability of vapour and liquid / G. H. Galbraith, R. C. McLean, D. Kelly // Building research and information. — 1997. — Vol. 25. — № 6. — P. 348–353.

Өзен бойындағы су басу аймақтарын геоақпараттық технологиялары негізінде үлгілеу

Хамраева Жұлдызай Абуалиқызы, магистрант;
Мадимарова Гулмира Сурабалдиевна, техника ғылымд. кандидаты, профессор;
Нурпеисова Төлеужан Байболовна, техника ғылым. кандидаты, профессор;
Орманбекова Ажар Ермековна, аға оқытушы
Қ. И. Сатбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Sathbayev University) (Алматы қ., Қазақстан)

Мақалада Қарағлы өзені алабының гидрографиялық сипаттамаларын анықтау, су басу аймақтарын ГАЖ технологиясы негізінде үлгілеу жұмыстарының нәтижелері келтірілген. Жұмыс барысында гидрологиялық зерттеулерде ГАЖ технологияларын, кеңістіктік анализ бен геоақпараттық картографиялау әдістеріне талдау жасалады. Гидрологиялық мәселелерді, су ресурстары мен алардың кеңістіктік-уақыттық таралуын кешенді зерттеу үшін картографиялық мәліметтер мен ГАЖ технологиялары кеңінен қолданылды.

Түйін сөздер: гидрография, ГАЖ технологиясы, гипсометриялық карта, үшөлшемді үлгілеу.

Моделирование территорий речных наводнений на основе геоинформационных технологий

Хамраева Жұлзай Абуаликовна, студент магистратуры;
Мадимарова Гульмира Сурабалдиевна, кандидат технических наук, профессор;
Нурпеисова Маржан Байсановна, доктор технических наук, профессор;
Орманбекова Ажар Ермековна, старший преподаватель
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева (Sathbayev University) (г. Алматы, Казахстан)

В статье представлены результаты определения гидрографических характеристик бассейна реки Караглы, моделирования зон затопления на основе ГИС-технологий. В ходе работы анализируются ГИС-технологии, методы пространственного анализа и гео-

информационного картографирования в гидрологических исследованиях. Картографические данные и ГИС-технологии широко использовались для комплексного изучения гидрологических проблем, водных ресурсов и их пространственно-временного распределения.

Ключевые слова: гидрография, ГИС-технологии, гипсометрическая карта, трехмерное моделирование.

Modeling of river flooding areas on the base of geo-information technologies

Khamraeva Zhuldai Abualikovna, student master's degree;
Madimarova Gulmira Surabaldievna, candidate of technical sciences, professor;
Nurpeisova Marzhan Baysanovna, doctor of technical sciences, professor;
Ormambekova Azhar Ermekovna, senior teacher
Sathbayev University (Almaty, Kazakhstan)

The article presents the results of determining the hydrographic characteristics of the Kargaly river basin, modeling flood zones based on GIS technology. In the course of work, GIS technologies, spatial analysis and geoinformation mapping methods are analyzed in hydrological research. Cartographic data and GIS technologies were widely used for the comprehensive study of hydrological problems, water resources and their spatial-temporal distribution.

Keywords: hydrography, GIS technology, hypsometric map, three-dimensional modeling.

Кіріспе. Қарғалы өзені бастауын 3600 метр биіктіктегі аты жоқ мұздықтан алады. Мұздықтың ауданы 3,2 км². Таулы аймақтағы өзеннің ұзындығы 17,4 км, су жинау алабының ауданы 55 км². Өзен таулы аймақта 3 км-ге дейінгі ұзындықта бірнеше салаларды өзіне қосады. Қарғалы өзенінің гидрологиялық режимі Іле Алатауының солтүстік беткейінің өзендерімен сәйкес келеді. Олар мұздықтармен, қар, жер асты және өзен суларымен қоректенеді. Су шығынының көп бөлігі шілде-тамыз айларына сай келеді. Өзен бастауы биік таулы зонадың мұздық шірінде орналасқан.

Өзен арнасының ені 5–10 м, тереңдігі 0,3–0,5 м, су тасу кезінде 1 м-ге жетеді. Көп жылдық орташа су ағымы Чапаев ауылы тұсында 0,65 м³/с. Өзен жоғарғы ағысында тау шатқалымен ағады. Жандатұрмыс ауылынан бастап өзен арнасы кеңейеді және жағалауы жарлауытты болып келеді. Көкөзек ауылынан бастап жағалауы жазық болып дауа өзеніне айналады. Өзеннің өң бойында елді мекендер көп орналасқан. Алабы толығымен дерлік игерілген.

Қарғалы өзені алабы Іле Алатауы жотасының солтүстік баурайында, Кіші Алматы өзені алабынан батысқа қарай орналасқан. Оның шығарылым конусында Алматы қаласының батыс аудандарының бөлігі орналасқан. Бұл аймақта селдік ағындар 1921, 1950, 1966 жылдары орын алғаны белгілі болғандықтан, Қарғалы өзені алабын селге қауіпті аймақ ретінде қарастыруға болады. Колотилин классификациясы бойынша Қарғалы өзенінің апатты сел қалыптастыру

ошақтары бар, сел қауіптілігі жағынан І категорияға жатады және шығарылымы 5 млн м³, ал шығыны — 1200 м³/с немесе одан көп болуы мүмкін. Селдік сипаттамаларды есептеу барысында сел глициалдық, сондай-ақ нөсерлік қалыптасу бойынша қарастырылады. Түрі лайлы-тасты болып келеді. Селдік құбылыстардың барлығы жауын-шашынның көп мөлшерде түсуіне (жекедеген күндері) және қардың еруіне байланысты. 1-кестеде көрсетілгендей, Қарғалы өзені алабы селге қауіптіліктің 1-ші сатына жатқызылды (3 балдық шкала бойынша). Селдік ағындар жағдайының келесідей сипаттамалары алынды [1].

Қарғалы өзені алабының төменгі зонасында селден қорғау мақсатында 2003 жылы контрфорстық ұшықты су бөгеті (биіктігі — 28,8 м, ұзындығы — 128,5 м, ені — 75 м, көлемі 1,2 млн м³ селдік ағынды қамтуға арналған) салынды.

Су басу деңгейінің анализі ЖСҮ негізінде жасалады. Ол үшін Terrain Analysis — Channels — Vertical Distance to Channel Network модулі қолданылады. Бастапқы берілетін параметрлер ретінде ЖСҮ мен ағынсулар желісі пайдаланылады, сондай-ақ гидрографиялық нысандар туралы ақпараттарды да қолдануға болады.

Ағынсулар желісінің (Қарғалы өзенінің shapefile форматындағы векторлық қабаты) растрлық үлгісін алдық. Үлгілеу жұмысы нәтижесінде су кемеріне қатысты жер бедерінің өсімшелер растры құрастырылып, оны су басу аймағының анализі үшін қолдандық [2].

1-кесте. Селдік ағындар сипаттамалары

Өзен	Аудан, м ²	P=0,01%				P=1%			
		Максим. шығын, м ³ /с		Көлем, м ³		Максим. шығын, м ³ /с		Көлем, м ³	
		су	сел	су	сел	су	сел	су	сел
Қарғалы, 3060 м	16,2	47,5	340	204	754	14,4	47,4	84,6	157
Қарғалының таудан түсетін бөлігі	—	—	81	—	843	—	3,4	—	91

Үлгілеу нәтижелері ArcGIS бағдарламасында талдау жасалды. Жұмыс барысында алынған нәтижелерді жүйелеп, карта бетінде бейнелеу мақсатында бірқатар бағдарламалық өнімдер мен ЖҚЗ мәліметтері қолданылды. SAGA бағдарламасында ЖСҮ арқылы анықталған Қарғалы өзенінің әр түрлі деңгейдегі су басу аймақтарын карта бетінде көрнекі бейнелеу мақсатында Қарғалы өзені маңындағы елді-мекендердің, жекеленген үйлердің және жолдардың векторлық қабаттары OpenStreetMap (OSM) ресурсынан алынып, толықтырылды.

Жердің сандық үлгісін ArcGIS бағдарламасының Hydrology модулі арқылы өңдеу барысында үлгілеу нысаны ретінде Қарғалы өзені орналасқан аймақтың SRTM (30 метр) Жердің сандық үлгісі таңдап алынды. Алынған үлгілерді ArcMap-қа шақырып, қажетті аймақты қамтитын екі үлгі біріктіріліп, мозайка жасалды.

Нысанға айналған ағынсуларды сұратым жасау арқылы бейнелеу нәтижесінде ағынсулар желісін қамтитын векторлық қабат пайда болды.

Spatial Analyst Tools → Hydrology → Basin су жинау алабын анықтады және ArcToolbox → Conversion Tools → From Raster →

Raster to Polygon бойынша анықталған су жинау алабының шекарасына түзетулер енгізілді (1 сурет).

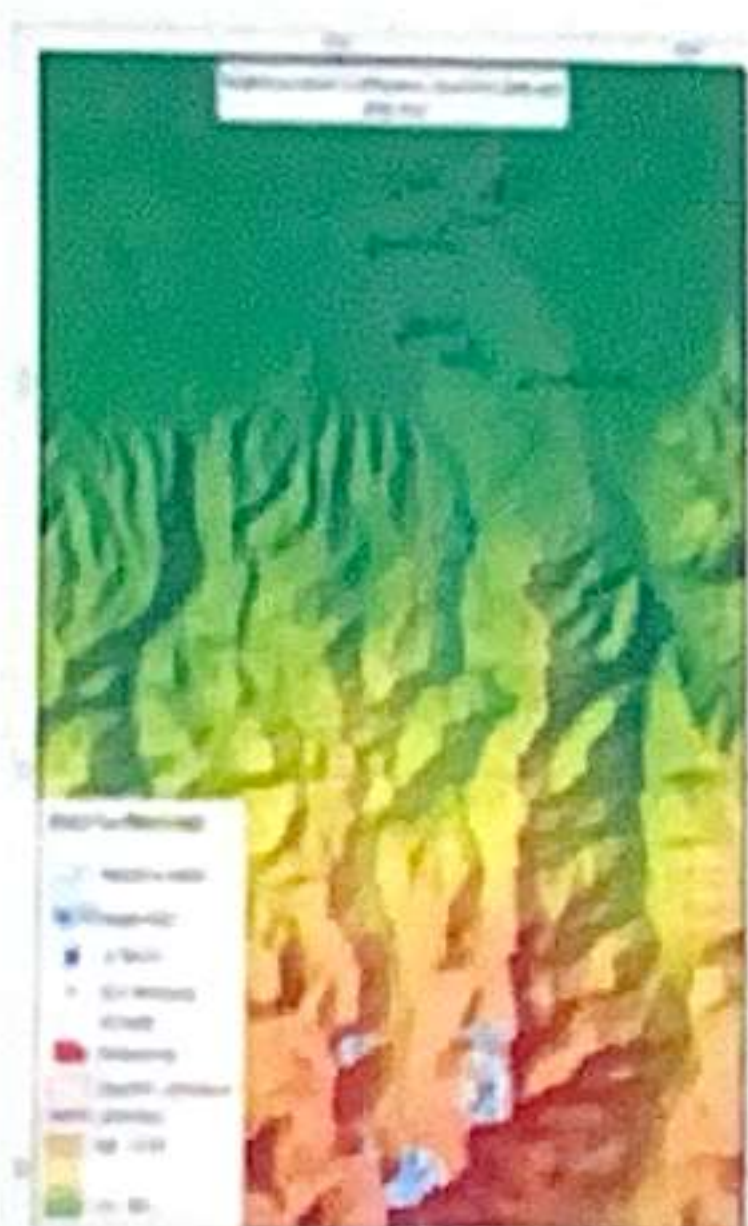
Аталған векторлық қабаттар QGIS бағдарламалық ГЛЖ-ы арқылы алынып, осы бағдарламада өңделіп, толықтырылды [3].

Зерттеу аймағының жалпы көрінісі үшін көтеріңкі отмысқа әдісімен жер бедері бейнеленген Қарғалы аймағының гипсометриялық картасы жасалды (2, а-сурет). SAGA бағдарламасы арқылы алынған Қарғалы өзені су деңгейінің 0,5м-ге, 1м-ге және 2 м-ге көтерілу жағдайындағы су басу аймақтарын ArcMap-та өңдеу үшін SAGA арқылы сақталған қабаттарды карта негізі болып саналатын жердің сандық үлгісімен бірдей проекцияға келтіру қажет, оны ArcCatalog арқылы жасауға болады. Нәтижесінде алынған Қарғалы өзенінің әр түрлі су деңгейі бойынша мүмкін болатын су басу аймақтары бейнеленген карта 2, б-суретте көрсетілген.

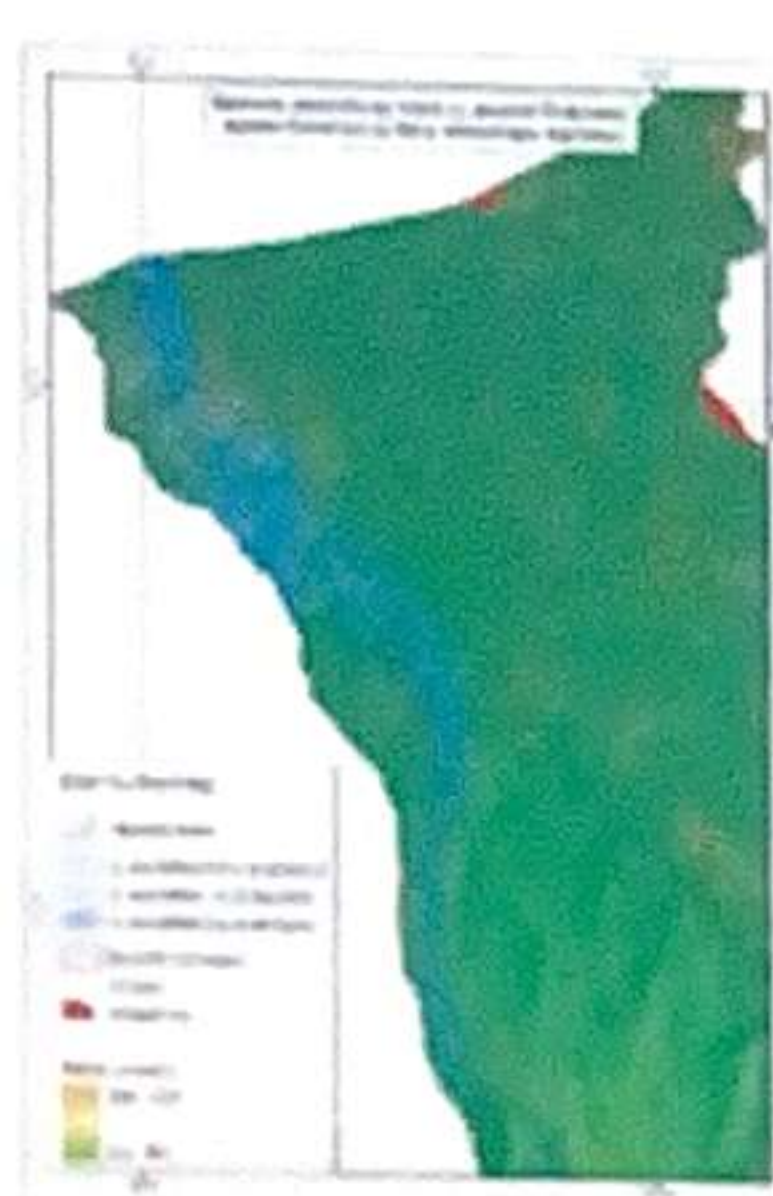
Қосымша ақпараттылық үшін ArcScene бағдарламасы арқылы зерттелген аймақтың үшөлшемді бейнелері жасалды (2, в-сурет). Қарғалы алабының су басу аймақтарын үшөлшемді үлгілеу үшін негіз ретінде ЖСҮ қолданылды [4].



Сурет 1. Қарғалы өзенінің ЖСҮ арқылы анықталған бассейн шекарасы



Сурет 2а. Қарғалы өзені алабының гипсометриялық картасы



Сурет 2б. Қарғалы өзенінің мүмкін болатын су басу аймақтары картасы



Сурет 2в. Қарғалы өзені алабы аймағының үшөлшемді үлгісі

Осылайша, зерттеу нысаны болып табылатын Қарғалы өзені алабы орналасқан аймақтың сандық үлгісі қолданылды. ArcGIS кеңістіктік анализ модульдерін пайдаланып, толық гидрологиялық анализ жасалды. SAGA ашық бағдарламалық кешенін пайдаланып, Қарғалы өзенінің су деңгейі 0.5м, 1м және 2 м-ге көтерілген жағдайдағы мүмкін болатын су басу аймақтары анықталды. Жұмыс барысында гидрологиялық зерттеулерде ГАЖ технологияларын, кеңістіктік анализ бен геоақпараттық картографиялау әдістеріне талдау жасалды.

Қорытынды. Су және сел тасқыны кезінде су басқан аймақтарда қалған тұрғын үйлер мен өнеркәсіптік ғимараттар айтарлықтай материалдық шығынға ұшыратуы мүмкін. Осыған

байланысты мүмкін болатын су басу аймақтары мен сол аймаққа кіретін нысандарды анықтауда геоақпараттық технологиялар мен жердің сандық үлгісін қолдану бұл процесті автоматтандырады. Су басу аймақтары шекараларын анықтау қазіргі кездегі ГАЖ шешетін стандартты қолданбалы гидрологиялық мәселелердің біріне жатады. Гидрологиялық мәселелерді, су ресурстары мен олардың кеңістіктік-уақыттық таралуын кешенді зерттеу үшін сандық картографиялық мәліметтермен ғарыштық суреттерді кеңінен қолданылуға болады деп нық айта аламыз.

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің (ГФ ИРН № АР23489372) қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды.

Әдебиет:

1. Шихов А. Н., Геоинформационные системы: применение ГИС-технологий при решении гидрологических задач: практикум: учеб. пособие / А. Н. Шихов, Е. С. Черепанова, А. И. Пономарчук; Перм. гос. нац. иссл. ед. ун-т. — Пермь, 2014. — 91 с.
2. Ямбаев Х. К. Геодезическое инструментоведение: Учебник для вузов. — М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2018. — 583 с.
3. Краткий отчет «Гляциальный селевой поток в бассейне р. Карғалынка 23.07.2015г.», ТОО «Институт географии», Алматы 2015. 14–19 б.
4. Журнал Геоматика № 3'2015, 78–82 б.

Молодой ученый

Международный научный журнал
№ 48.1 (547.1) / 2024

Выпускающий редактор Г. А. Письменная
Ответственные редакторы Е. И. Осянина, О. А. Шудьга, З. А. Огурцова
Художник Е. А. Шинков
Подготовка оригинал-макета П. Я. Бурьянов, М. В. Голубцов, О. В. Майер

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.
При перепечатке ссылки на журнал обязательны.
Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал размещается и индексируется на портале eLIBRARY.RU, на момент выхода номера в свет журнал не входит в РИНЦ.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

ISSN-L 2072-0297

ISSN 2077-8295 (Online)

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый», 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

Номер подписан в печать 11.12.2024. Дата выхода в свет: 18.12.2024.

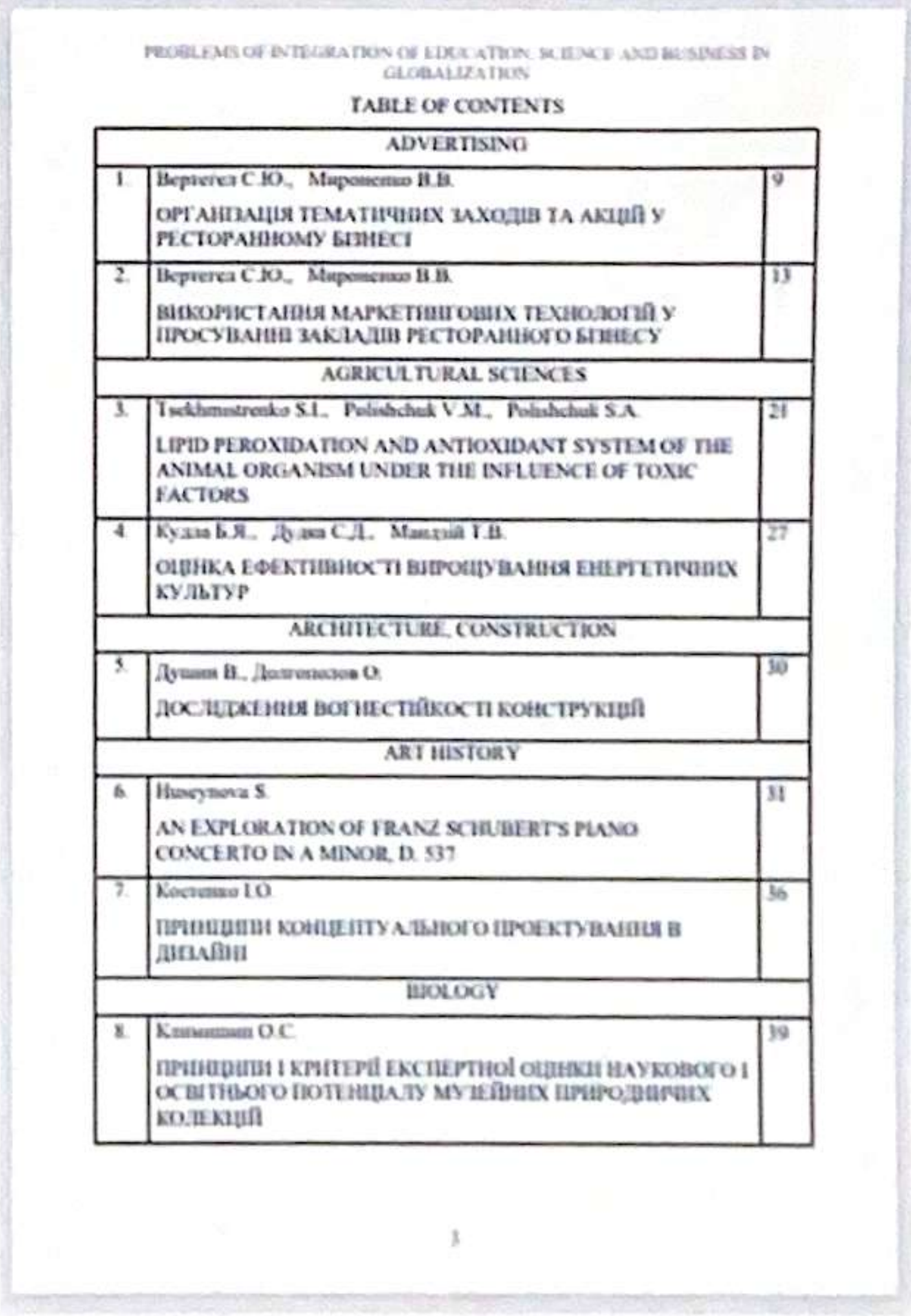
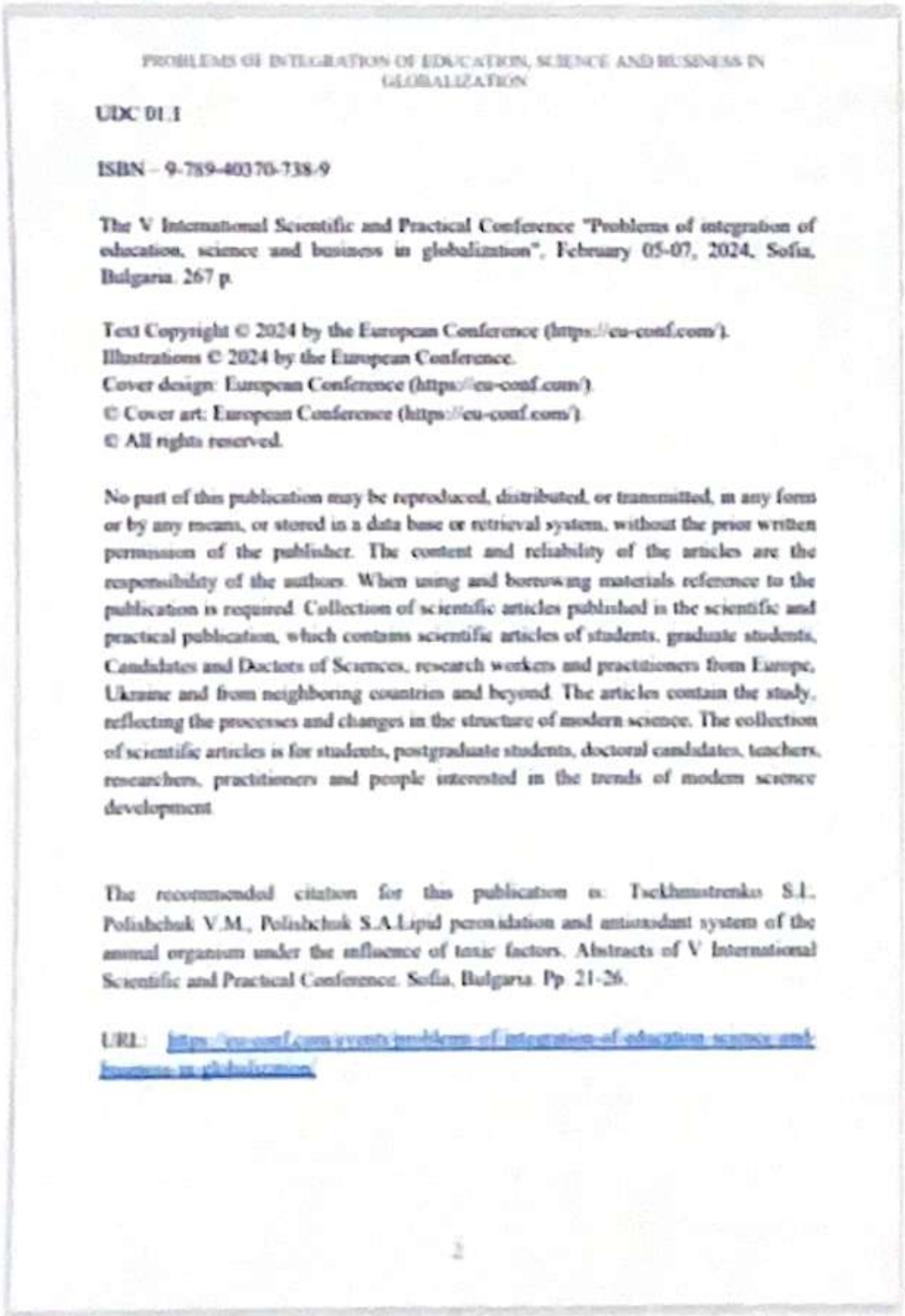
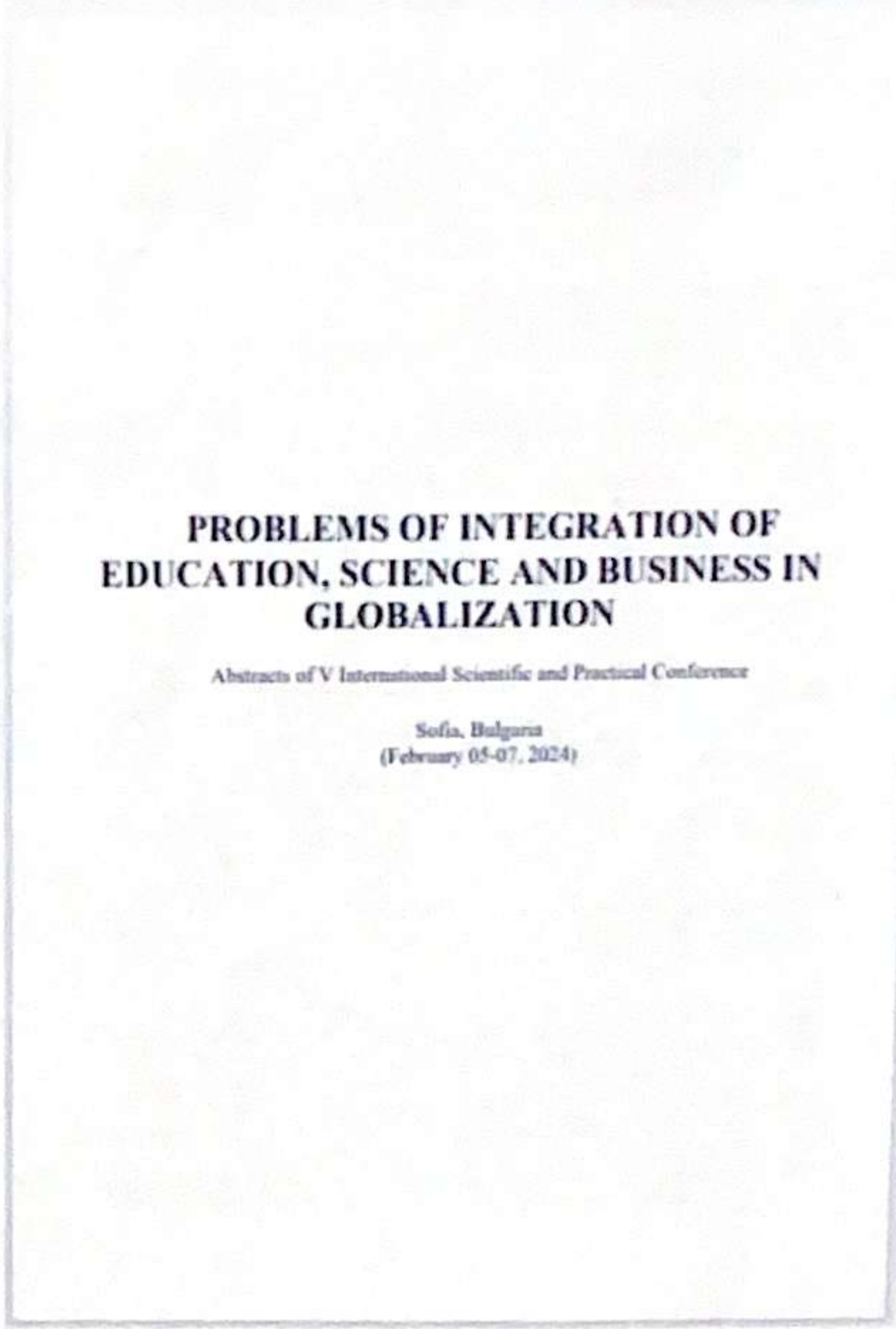
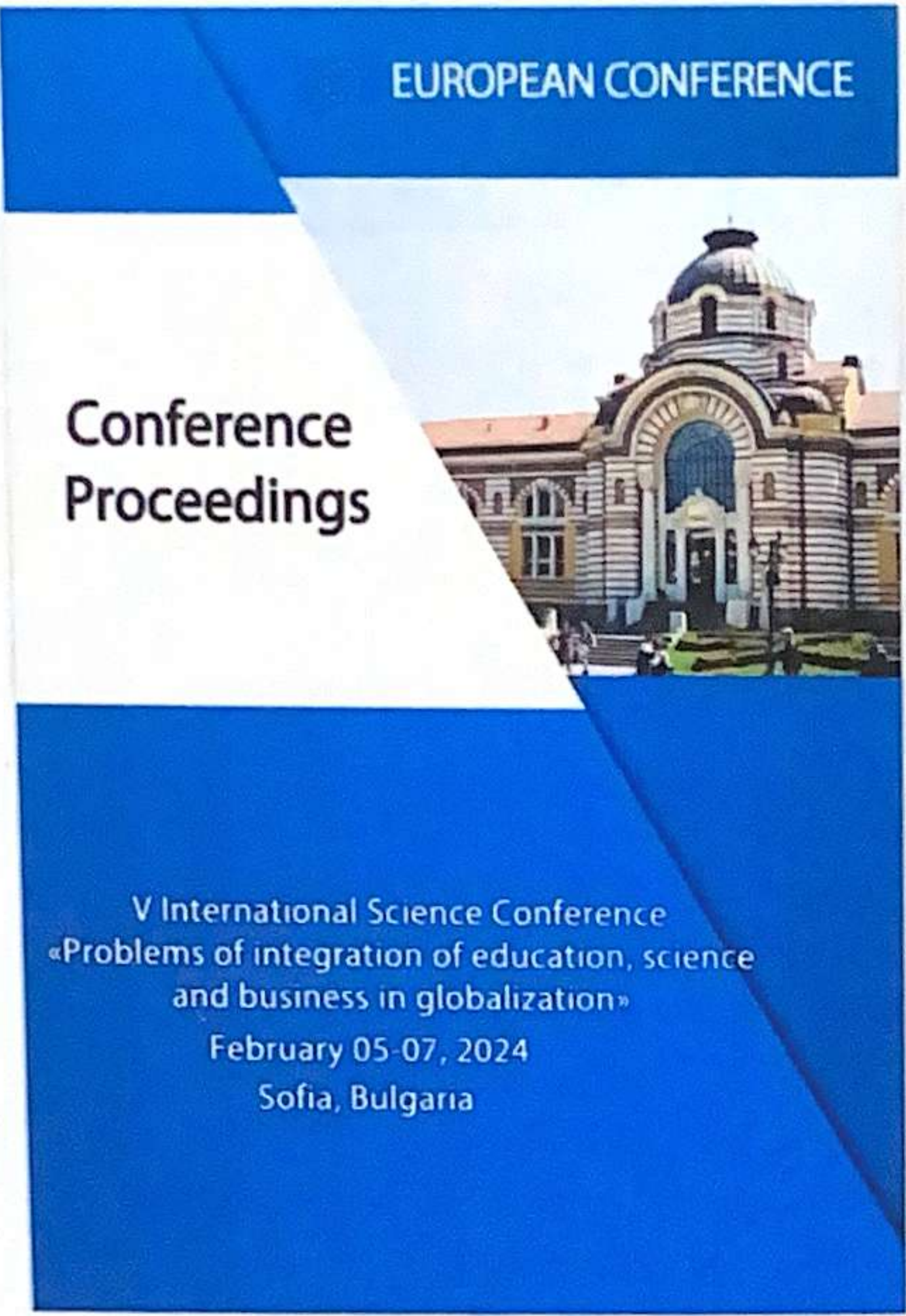
Формат 60×90/8. Основной тираж: номера 500 экз., фактический тираж выпуска 26 экз. Цена свободная.

Почтовый адрес редакции: 420140, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Юлиуса Фучика, д. 94А, а/я 121.

Фактический адрес редакции: 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.

E-mail: info@moluch.ru; <https://moluch.ru/>

Отпечатано в типографии издательства «Молодой ученый», 420029, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.



46.	Voronets V., Voronets O., Kompaniets V.	253
	OVERLOAD OF NEW GENERATION TELECOMMUNICATION NETWORKS	
47.	Герасим С.С.	255
	ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ИШТУЧНОГО ИНТЕЛЕКТУ В РОБОТІ ГРАФІЧНОГО ДИЗАЙНЕРА НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ: АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ	
48.	Мамедов Г.С., Нурланқызы Т., Жипуева Ш.А.	259
	КАРАТАУ БАССЕЙНІ ТАУ ЖЫНЫСТАРЫНЫҢ ЖАРЫҚШАҚТАЛУЫН ГЕОМЕХАНИКАЛЫҚ ТҮРГЫДАН БАҒЛАУ	
49.	Нұрпейісова Т.Б., Хамраева Ж.А., Нұрланқызы Т.	263
	АКМОЛА ОБЛЫСЫНЫҢ СУ ОБЪЕКТТЕРІНІҢ ЖАҒДАЙЫН ГЕОАКПАРАТТЫҚ МӘЛІМЕТТЕРМЕН ОҢДЕУ	

АКМОЛА ОБЛЫСЫНЫҢ СУ ОБЪЕКТТЕРІНІҢ ЖАҒДАЙЫН ГЕОАКПАРАТТЫҚ МӘЛІМЕТТЕРМЕН ОҢДЕУ

Нұрпейісова Толужан Байболовна

Техника ғылымдарының кандидаты, профессор,
Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық жетістік университеті,
Қазақстан Республикасы.

Хамраева Жұдытай Абуалықым

Магистрант,
Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық жетістік университеті,
Қазақстан Республикасы.

Нұрланқызы Тогжан

Магистрант,
Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық жетістік университеті,
Қазақстан Республикасы.

Ақмола облысының гидрографиялық желісі құрылысының ерешелігі жер белері сипатына байланысты. Аумақтың орталық бөлігінің жазықтығы өзінен шеткі аймақтарында біріңашармен бірге келуі аумақтың негізгі бағытын айқындайды, ағыс аумақтың шеткі аймақтарымен ортасына қарай бағытталған. Аумақтың негізгі су артериясы – Есіл өзені мен солтүстікте Көкшетау шыңымен, ал оңтүстікте Ұлытау тау сілемдерімен ағатын үлкен өзендері болып табылады. Сыртқы ағысы бар, Ертіс өзеніне жететін Есіл өзенінің алабы Ақмола облысы ауданының жартысынан астам бөлігін алып жатыр.

Қарастырылып отырған аумақтың қалған бөлігі жабайқ ағынды облысына жатады. Бұған Төзіл, Қорғалжын, Керей, Қыпшақ көлдерінде ақталатын басқа суағарлар кіреді. Сонымен қатар аумақтың солтүстік-шығыс бөлігін де сыртқы ағындысы жоқ, бұл аумақта Сілеті-Төзіл көліне құятын Сілеті өзені ағады.

Г.А.Ж.-дың келесідей жүйелері бар:

1. Тұраң көлдерден алынатын мәліметтерді жинайтын және алдын-ала өңдеуін жүргізетін мәліметтер жинау жүйесі. Бұл жүйе кеңістік мәліметтердің тұраң типтерінің өзгертуіне де жауап береді (мысалы, топографиялық картаның инкоординаттарынан Г.А.Ж.-дың жер бетінің сандық үлгісіне дейін).
2. Мәліметтерді сақтау және жинақтау жүйесі – кеңістік мәліметтерін жинақтау, жанарту және редакциялау үшін ұйымдастырады.
3. Тапқыр және мәліметтермен манипуляциялау жүйесі, осы мәліметтер негізінде түрлі амақтарды орындағанда сон оларды топтасытырады және бөледі. Көрсеткіштерді және шектеулерді орнатады, үзілмеу қазметтерін орындайды.

4. Шығару жүйесі, бұл жүйе көпестік, диаграммалық не картографиялық формада барлық мәліметтер базасын немесе оның бөлігін белгілейді.

Г.А.Ж.-дың бірінші жүйесі картографиялау үлгістерінің бірінші және екінші кәдімгімен карталарды композициялау және мәліметтерді жинау мен сәйкестендірілуі мүмкін. Бастапқы ақпарат аэрофототүсіріс, сандық арақашықтықтан жердеу, геодезиялық жұмыстар, сөздік сипаттамалар мен суреттер, статистика мәліметтері және осы сияқты т.б. көздерден алынады. Компьютерді және басқа да электронды құрылғыларды қолдану (мысалы, дигитайзер не сканер) бастапқы мәліметтерді жаңа дабылдауға, нүктелерді, сызықтарды, аумақтарды, оның еселісі қолдануында қолдауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ақпарат көзі ретінде дайын сандық карталар, жер бетінің сандық үлгілері, сандық ортофототүсірістер және т.б. алынады.

Екінші жүйе – жинақтау және сақтау жүйесі, ақпарат сақтаушы ретіндегі компьютер функциясы жағын бөліп қарастырымызға сәйкес келеді. Г.А.Ж.-да жинақтау және сақтау жүйесі көпестік, контексті – байланысқан ақпаратты қайтаратын сұрау салуға мүмкіндік береді. Ол ақпаратты ақпараттың жалпы интерпретациясынан шығару сұрауларды түжырымдауға ауыстырады. Жалпы айтқанда, бұл жүйе нақты немесе нақты емес нүктелік, сызықтық, аудандық геометриялық нысандардың геометриялық координаттардың және олармен байланысты сипаттамаларды (атрибууттарды) сақтайды. Г.А.Ж.-дың компьютерлік әдістері Г.А.Ж.-дың бағдарламалық қамсыздандыруына тікелей байланысты.

Сондықтан қазіргі уақытта Г.А.Ж. табиғи және алуыметтік-экономикалық үлгістер мен құбылыстарды үлгілейтін, олардың байланыстарын, қарым-қатынастарын, болашақта дамуын болжайтын және шешім қабылдау, басқаруға арналған негізгі ғылым болып отыр. Г.А.Ж. мәліметтерді өңдеу мен картографияда өте күшті графикалық құрал болып табылады.

Қазіргі уақытта Г.А.Ж.-дың қолдану аясы кеңейді. Достары қолдануын қарастырсақ жер ресурстары мен жер кадастрын басқаруда арнайы Г.А.Ж. құрылады. Бұл тек географиялық бағытта ұсынылған. Тақырыптық картографияда Г.А.Ж. картаға өзі көңіл бөледі. Г.А.Ж.-да картаны құрастыру дәстүрлі тәсілмен немесе автоматтандырылған картографиялаумен салыстырғанда қарапайым әрі ыңғайлы. Ол мәліметтер базасын құруды бастады, шыққан мәліметтер, яғни олардың көзі ретінде қарапайым күңделетін қараң карталарын сандық түрлендіру арқылы қолданылады. Осындай мәліметтер базасын арқалау аумақты, әртүрлі масштабтағы белгілі бір шартты белгілері бар карта құрастыруға мүмкіндік береді. Ол уақытта мәліметтер базасы жаңа деректермен толықтырылып, оңдағы басқа деректерді түзетін, сол менетте жеріне көрсетеді.

Көп-келген Г.А.Ж.-дың деректерді 5 үлгіге қамтамасыз етеді: енгізу, манипуляция, басқару, құрамы, визуализациялау.

АқМор – картаны құрастыру мен мәліметтерді редакциялау, сондай-ақ картографиялық тапқыр үшін қажет. Бұл қосымшада негізгі жұмыс карталармен жасалады. Картаның бетінде географиялық мәліметтерді карта кабинеттерімен жинағы, легендасы, масштабтық сызығы, солтүстік бағыт және басқа

элементтерді сақтайтын терезесі, яғни композиция болады. АқМор-та картада 2 нысаннымен жұмыс жасалады:

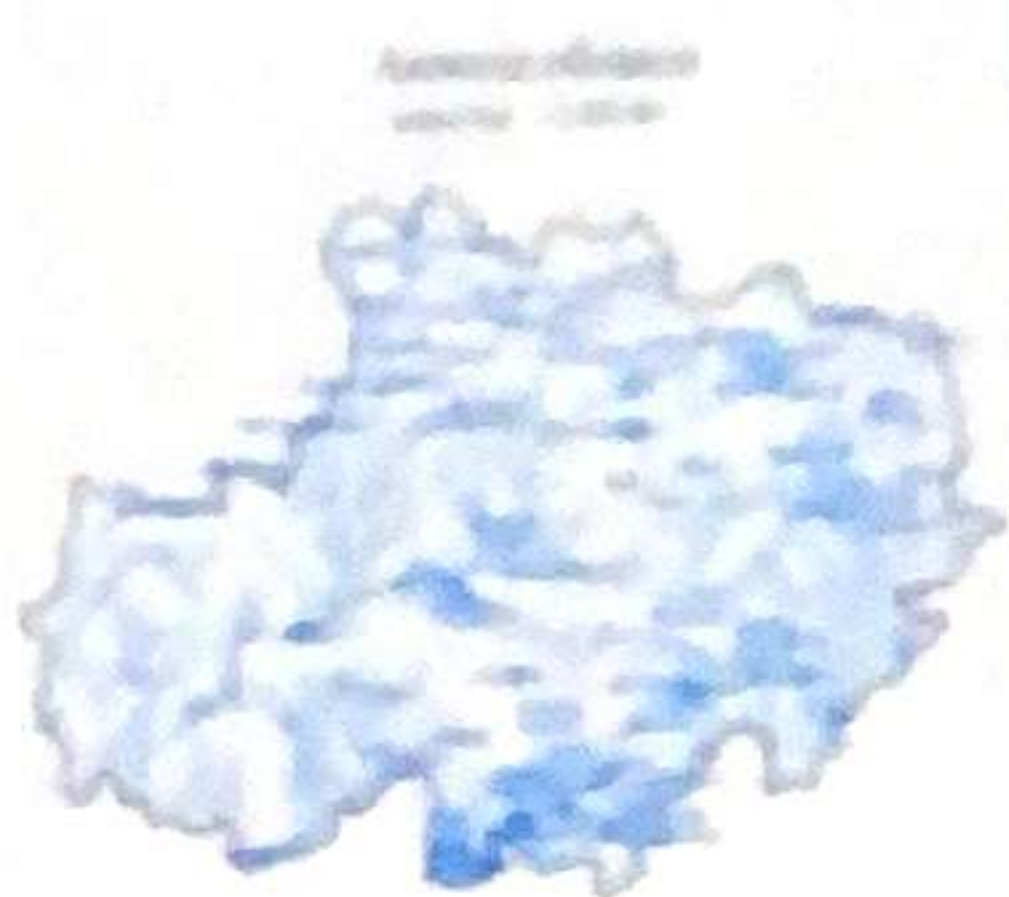
- 1) Географиялық мәліметтер негізінде – географиялық кабинеттермен жұмыс жасауға, әртүрлі символдарды шығаруға, ақпарат жасауға мүмкіндік береді. Мұнда негізгі картографиялық жұмыстар жасалады.
- 2) Композиция негізінде – карталарды бейнелер, яғни легенда құрастыру, тақырыбы, масштабты жасалады, көрсетіледі, картаның солтүстік бағыты, карта өлшемі беріледі.

Жер беті сулары картасын құру әдістері. Климат және жер беті сулары карталарын негізінде Гидрометеорология жүйесі құрастырылды. Әртүрлі мазмұнды ірі және орта масштабты карталар фактологиялық сипатты болып келеді және территориялық басқару қолжазба фонды құрылды, картада ауа температурасы, жауын-шашын, булану, су шығыны, мұз режимімен басқада гидрологиялық көрсеткіштер бақылауларының нүктелік мәліметтері енгізіледі. Кейін карталар аналитикалық түрде көрсетіледі (инкоординаттар жүйесі). Аудандық карталардың шығарылуы бірдей, көбінесе, олар көпестік атластарда келеді.

Бұрынғы КСРО-ның климаттық атласында (ГУГМС, 1960-1962) карталар жинағы түзілді. Ол 1:12 500 000 аумақ территориялар үшін және 1:5 000 000 таулы территориялар үшін масштабты карталар сериясына түрлі. Карталар ұлттық метеорологиялық көрсеткіштерге (температура, жауын-шашын және т.б.) және нақты оқиғаларға (найзағай, бұршақ, көктайғыз) бағытталған.

Жер беті суларының және сипаттамаларының толық карталар жинағы гидрологиялық карталардың өзі атласы және гидрология (ГУГМС, 1986). Аудандық таулы таулы карталарының «Ресей және оған қатысты территориялар өзендерінің су режимі» картасы қызықты (1:5 000 000, МГУ-ГУГК, 2000). Сонымен оң жақдағы арналы үлгілерді картографиялау дамып отыр, бірақ карталар негізінде ведомствалық фондтарды қалады. Жалпы ғылымға иелі «КСРО – өзендерінің арналы үлгілері» картасында көрсетілген.

Су жүйесі ғарыштық суреттерде жақсы көрінеді. Өзендер мен көлдер тәжімді жағалық сызықтарымен қатар суреттерді кеңістік байлау кезінде негізгі негізгі білдірілу ретінде қолданылады. Гидрологиялық объектілердің нығыз көрінуі суреттерді гидрографиялық мақсатта қолдану мүмкіндігін қамтамасыз етеді, яғни сұхбатқа (сұхбат) жүйесінің картографиялау суреттер кеңестерін картографиялық жұмыстарды орындау.



Коррупция. Сл. общественности этот термин известен достаточно давно. Но именно сейчас он приобрел широкую популярность. Вспомните хотя бы фильм «Служебный роман» и комедию «Бриллианты для вдовы Самойловой». Вспомните также, как в последние годы в средствах массовой информации широко освещались случаи коррупции в различных учреждениях и организациях.

[illegible]

1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 2680, 26

*The 10 most common brands and their total sales
as a percentage of sales of all brands in the category*

Code: B000000000
© 2000-2001, 2002