

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

Хабаш Дана Хуантхан

**Қостанай облысының жер бедерін цифрландыру
процесстері барысындағы геоақпараттық картаға түсіру
әдістерін қамту және зерттеу**

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

7M07306 – Геокеңістіктік цифрлық инженерия

Алматы 2026

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

ӘОЖ 528.482.5

Қолжазба құқығында

Хабаш Дана

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертацияның атауы «Қостанай облысының жер бедерін цифрландыру процесстері
барысындағы геоақпараттық картаға түсіру әдістерін қамту
және зерттеу»

Дайындау бағыты 7М07306 – «Геокеңістіктік цифрлық инженерия»

Ғылыми жетекші т.ғ.к., профессор
Рысбеков Қ.Б.
«06» 01 2026 ж.

Рецензент: Ph.D докторы
қауымдастырылған профессор
Қартбаева Қ.Т.
"06" 01 2026 ж.

Норма бақылаушы
Ph.D докторы, қауым. профессор
Айтказинова Ш.К.
«06» 01 2026 ж.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНУТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байқоңурова

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
«Маркшейдерлік іс және геодезия»
кафедрасының меңгерушісі
Мейрамбек Г.
«06» 01 2026 ж.

Подпись
заверяю
HR департамент

«06» 01 2026 ж.

Алматы 2026

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

Маркшейдерлік іс және геодезия кафедрасы

7М07306 – Геокеңістіктік цифрлық инженерия

БЕКІТЕМІН

«Маркшейдерлік іс және геодезия»
кафедрасының меңгерушісі
Т.ғ.к., қазым проф.

Мейрамбек Г.М.
«06/01» 2026 ж.

**Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Магистрант: Хабаи Дана Хуантхан

Тақырыбы: Қостанай облысының жер бедерін цифрландыру процесстері барысындағы геоақпараттық картаға түсіру әдістерін қамту және зерттеу Академиялық мәселелер жөніндегі проректордың 28.03.2024 жылы №133-П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған диссертацияны тапсыру мерзімі: «05» қазтар 2026 ж.

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері: ғылыми – зерттеу еңбектеріне шолу, зерттеу нысаны туралы жалпы мәлімет, инженерлік геологиялық ізденіс мәліметтер

Магистрлік әзірлеуге жататын мәселелер тізімі:

а) Геоақпараттық жүйелердегі цифрлық рельеф модельдерінің (DEM, DTM, DSM) түрлері мен ерекшеліктерін зерттеу

б) Арқалық ауданының физикалық-географиялық және морфологиялық сипаттамасын жасау.

в) Зерттеу аумағы бойынша бастапқы кеңістіктік деректерді (топографиялық карталар, SRTM деректері) жинау және талдау

Графикалық материалдар тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

Жұмыс презентациясы слайдтарда 20 көрсетілген

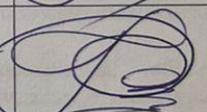
Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

1. Нурпеисова М.Б., Мустафаулы Р. Повышение точности геодезических измерений при оценке технического состояния инженерных сооружений. Маркшейдерия и геодезия, 2013, №1.-С.18-20.
2. Bretar, F., & Chehata, N. (2007). Generating Digital Terrain Model: Joint Use of Airborne Lidar Data and Optical Images.
3. Okolie, C., Mills, J., Adeleke, A., & Smit, J. (2023). Digital elevation model correction in urban areas using extreme gradient boosting. arXiv.

Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескертулер
Зерттеудің теориялық негіздері. Геоақпараттық жүйелердегі жер беті және рельефтің цифрлық моделі	01.09.2025	—
Арқалық ауданы жер бедерін цифрландырудың ақпараттық базасы және әдістемелік негіздері	29.10.2025	—
Әртүрлі дереккөздерден алынған DEM нәтижелерін салыстырмалы талдау	08.12.2025	—

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
Зерттеудің теориялық негіздері. Геоақпараттық жүйелердегі жер беті және рельефтің цифрлық моделі	т.ғ.к., профессор, Рысбеков Қ.Б.	01.09.2025	
Арқалық ауданы жер бедерін цифрландырудың ақпараттық базасы және әдістемелік негіздері	т.ғ.к., профессор, Рысбеков Қ.Б.	29.10.2025	
Қорытынды	т.ғ.к., профессор, Рысбеков Қ.Б.	08.12.2025	
Норма бақылаушы	PhD, қауым. профессор, Айтказинова Ш.К.	06.01.2026	

Ғылыми жетекші

Рысбеков Қ.Б.

Білім алушы тапсырманы орындауға алды

Хабаш Дана

Күні

«06» 01 2026

АНДАТПА

Бұл магистрлік диссертацияда Қостанай облысы аумағының рельефін цифрландыру үдерісінде геоинформациялық картографиялау әдістерін енгізу және олардың тиімділігін зерттеу мәселелері қарастырылды. Зерттеудің өзектілігі кеңістіктік деректерді жоғары дәлдікпен өндіруді, талдауды және визуализациялауды талап ететін қазіргі цифрлық картографияның дамуымен түсіндіріледі. Рельефті сандық түрде бейнелеу өңірдің табиғигеоморфологиялық ерекшеліктерін кешенді зерттеу, аумақтық жоспарлау, инженерлікгеологиялық бағалау және экологиялық мониторинг сияқты міндеттерде маңызды рөл атқарады.

Жұмыстың негізгі мақсаты Арқалық ауданының рельефін цифрлық модельдеу үшін әртүрлі дереккөздерден алынған кеңістіктік ақпаратты (1:100 000 масштабтағы топографиялық карталар және SRTM деректері) пайдалана отырып, ГАЖ технологияларының мүмкіндіктерін бағалау және рельефтің сандық моделін құру әдістемесін жетілдіру.

Зерттеу барысында топографиялық карталар Easy Trace бағдарламасында цифрланып, ArcGIS ортасында өңделіп, интерполяция әдістері арқылы сандық рельеф моделі (DEM) жасалды. Сонымен қатар, USGS платформасынан алынған SRTM деректері негізінде бірнеше деңгейлі биіктік матрицалары құрылып, алынған нәтижелер топографиялық карта негізінде құрылған DEM-пен салыстырылды. Екі дереккөз арасындағы биіктік ауытқулары талданып, цифрландырудың дәлдігі мен деректер сапасына әсер ететін факторлар анықталды. ArcScene бағдарламасында 3D визуализация жасалып, рельефтің морфологиялық элементтері кеңістіктік тұрғыда бағаланды.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы дәстүрлі топографиялық деректер мен спутниктік биіктік модельдерін біріктіру арқылы рельефті цифрландырудың кешенді әдісін ұсыну, сондай-ақ ГАЖ технологияларының өңірлік рельефті сандық модельдеудегі тиімділігін дәлелдеу.

Жұмыс нәтижелері рельеф талдауында, аумақтық жоспарлауда, табиғи ресурстарды басқаруда және геоақпараттық инфрақұрылымдарды дамытуда практикалық маңызға ие.

АННОТАЦИЯ

В данной магистерской диссертации рассмотрены вопросы внедрения и исследования методов геоинформационного картографирования в процессе цифровизации рельефа Костанайской области. Актуальность работы обусловлена необходимостью высокоточного получения, обработки и визуализации пространственных данных в условиях развития цифровой картографии и геоинформационных технологий. Цифровое моделирование рельефа является важным инструментом для геоморфологических исследований, инженерно-геологических оценок, территориального планирования и экологического мониторинга.

Основной целью исследования является оценка возможностей ГИС-технологий при создании цифровой модели рельефа Арқалықского района на основе различных источников пространственной информации, включая топографические карты масштаба 1:100 000 и спутниковые данные SRTM, а также разработка комплексной методики цифровизации рельефа.

В ходе исследования топографические карты были оцифрованы в программе Easy Trace, векторные данные обработаны в ArcGIS, после чего с применением интерполяционных методов была создана цифровая модель рельефа (DEM).

На основе данных SRTM, загруженных с платформы USGS, построены дополнительные модели высот, которые затем сопоставлены с DEM, созданной по топографическим материалам. Выполнен анализ различий в абсолютных отметках, выявлены факторы, влияющие на точность моделирования. В среде ArcScene выполнена трёхмерная визуализация, позволившая оценить морфологические особенности рельефа.

Научная новизна работы заключается в интеграции традиционных картографических данных и спутниковых моделей высот для разработки комплексного подхода к цифровизации рельефа и в обосновании эффективности ГИС-технологий при построении региональных цифровых моделей местности.

Полученные результаты обладают практической значимостью и могут быть использованы в задачах территориального планирования, природопользования, мониторинга окружающей среды и развития геоинформационных систем.

ABSTRACT

This master's thesis presents a comprehensive study on the integration and analysis of geoinformation cartography methods in the process of relief digitalization within the Kostanay region. The relevance of the study arises from the growing need for accurate acquisition, processing, and visualization of spatial data in modern digital cartography and geospatial analysis. Digital terrain modeling plays a crucial role in geomorphological studies, engineering assessments, spatial planning, and environmental monitoring.

The main objective of the research is to evaluate the capabilities of GIS technologies for constructing a digital terrain model (DTM) of the Arkalyk district using multiple sources of spatial information, including 1:100 000 topographic maps and SRTM satellite elevation data, and to develop a comprehensive methodology for relief digitalization.

Topographic maps were digitized in Easy Trace, and vector data were processed in ArcGIS. Using interpolation techniques, a Digital Elevation Model (DEM) was generated. Additional elevation models were derived from SRTM data obtained from the USGS platform and later compared with the DEM based on topographic sources. Height deviations were analyzed, and factors affecting model accuracy were identified. A 3D visualization of the terrain was created in ArcScene, allowing detailed evaluation of morphological structures.

The scientific novelty of the research lies in integrating traditional cartographic sources with satellite elevation models to establish a comprehensive approach for relief digitalization and demonstrating the efficiency of GIS technologies in regional terrain modeling.

The results of this study can be applied in spatial planning, natural resource management, environmental monitoring, and the development of geospatial infrastructures.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	10
1 Зерттеудің теориялық негіздері	
1.1 Рельеф және оның географиялық жүйелердегі рөлі	12
1.2 Геоинформациялық картографиялау ұғымы және оның ғылыми қалыптасуы	14
1.3 Рельеф және оның план мен карталарда бейнеленуі	17
1.4 Геоақпараттық жүйелердегі жер беті және рельефтің цифрлық моделі	23
1.5 Цифрлық рельеф модельдерінің түрлері	24
1.6 Практикалық тапсырмаларды шешуде беттік модельдерді қолдану	28
1-тарау бойынша тұжырымдама	31
2 Арқалық ауданы жер бедерін цифрландырудың ақпараттық базасы және әдістемелік негіздері	
2.1 Арқалық ауданының физикалық-географиялық сипаттамасы	33
2.2 Арқалық ауданы рельефінің жалпы морфологиялық сипаттамасы	35
2.3 Зерттеу үшін пайдаланылған бастапқы деректер көздері	37
2-тарау бойынша тұжырымдама	40
3 Арқалық ауданының цифрлық рельеф моделін құру және талдау нәтижелері	
3.1 Топографиялық карталар негізінде DEM құру	41
3.2 SRTM деректері бойынша сандық рельеф моделін жасау	42
3.3 Әртүрлі дереккөздерден алынған DEM нәтижелерін салыстырмалы талдау	57
3.4 Рельефтің морфометриялық көрсеткіштерін есептеу	65
3-тарау бойынша тұжырымдама	67
Қорытынды	69
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	71

ҚЫСҚАРТУЛАР ТІЗІМІ

Қысқартулар	Толық атауы
ҚР	Қазақстан Республикасы
ГАЖ	Географиялық ақпараттық жүйе
ЦРМ	Цифрлық рельеф моделі
ЦМР	Цифрлық модель рельефі
DEM	Digital Elevation Model (сандық биіктік моделі)
DTM	Digital Terrain Model (цифрлық жер бедері моделі)
DSM	Digital Surface Model (беткі нысандарды қоса алғандағы биіктік моделі)
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
USGS	United States Geological Survey
ET	Easy Trace бағдарламасы
ESRI	Environmental Systems Research Institute
TIN	Triangulated Irregular Network
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS84	World Geodetic System 1984
GIS	Geographic Information System
ARC	ArcGIS бағдарламалық кешені
3D	Үшөлшемді модель

ОСЫ ЖҰМЫСТА ҚОЛДАНЫЛАТЫН НЕГІЗГІ ТЕРМИНДЕР МЕН АНЫҚТАМАЛАР

Геоинформациялық картографиялау кеңістіктік деректерді жинау, өңдеу, талдау және карта түрінде ұсыну процестерін қамтитын ГАЖ технологияларының жиынтығы.

Цифрлық рельеф моделі (ЦРМ, DEM) жер бедерінің биіктік мәндерін сандық түрде үздіксіз бет ретінде көрсететін математикалық модель. DEM рельефтің морфологиялық құрылымын талдау, еңіс пен экспозицияны анықтау, гидрологиялық модельдеу үшін қолданылады.

Топографиялық картаны цифрландыру картадағы горизонтальдар, биіктік нүктелері және бедер элементтерін векторлық форматқа көшіру процесі. Easy Trace бағдарламасы арқылы орындалады.

Интерполяция әдістері белгілі биіктік мәндеріне сүйене отырып бос аймақтардағы биіктіктерді есептеу тәсілдері. ArcGIS-та Topo to Raster, IDW, Kriging әдістері жиі пайдаланылады.

SRTM деректері радиолокациялық интерферометрия арқылы алынған жаһандық биіктік моделі. 30 метрлік кеңістіктік рұқсаттылықпен ұсынылып, рельефті өңірлік деңгейде сипаттауға мүмкіндік береді.

ArcGIS кеңістіктік деректерді талдау, карта жасау және сандық модельдеу үшін қолданылатын кәсіби ГАЖ платформасы.

ArcScene ArcGIS құрамындағы үшөлшемді визуализация модулі. DEM негізінде рельефтің 3D моделін құруға мүмкіндік береді.

Easy Trace растрлық топографиялық карталарды автоматты және жартылай автоматты түрде цифрлауға арналған арнайы бағдарлама.

Векторлық деректер нүкте, сызық және полигон түрінде берілетін кеңістіктік деректер моделі. Горизонтальдар сызықтық векторлық объектілерге жатады.

Растрлық деректер ұяшықтардан тұратын тор құрылымы. Әрбір ұяшық белгілі бір биіктік немесе басқа кеңістіктік мәнді сақтайды.

UTM координаталар жүйесі Жердің бетін меркатор проекциясы негізінде аймақтарға бөліп кескіндеуге мүмкіндік беретін халықаралық координаталық жүйе.

WGS84 геодезиялық жүйесі ғаламдық навигация мен картографияда қолданылатын негізгі референцтік эллипсоид және координаталық жүйе.

Горизонталь (изогипса) тең биіктік нүктелерін біріктіретін сызық. Бұл рельефтің құрылысы мен еңісін анықтаудың негізгі графикалық тәсілі.

TIN моделі рельефті үшбұрыштар торы арқылы бейнелейтін сандық модельдеу әдісі. Биіктік нүктелері триангуляцияланып, рельефтің күрделі пішіндерін дәл көрсетуге мүмкіндік береді.

КІРІСПЕ

Қазіргі кезеңде геоинформациялық технологиялар мен геоинформациялық картографиялау әдістері жер бедерін зерттеу, аумақтық талдау және табиғи ортаның кеңістіктік құрылымын бағалау салаларында кеңінен қолданылып келеді. Әсіресе рельефті цифрландыру үдерісінде геоақпараттық жүйелерді (ГАЗ) пайдалану кеңістіктік деректердің дәлдігін арттырып, жер бедерінің морфологиялық ерекшеліктерін сандық түрде кешенді сипаттауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде аумақтық жоспарлау, инженерлік-геологиялық зерттеулер, табиғи ресурстарды басқару және экологиялық мониторинг жүргізу барысында маңызды рөл атқарады.

Қазақстан аумағының, соның ішінде Қостанай облысының жер бедері морфологиялық құрылымы жағынан күрделі әрі әртүрлі болып келеді. Кең аумақты қамтитын жазықтар мен қыраттар рельефті зерттеуде дәстүрлі картографиялық тәсілдермен қатар заманауи цифрлық әдістерді қолдануды талап етеді. Осы тұрғыда рельефті цифрландыру барысында топографиялық карталар мен спутниктік биіктік деректерін геоинформациялық ортада біріктіріп пайдалану зерттеудің өзектілігін арттырады.

Рельефтің сандық моделін құру геоинформациялық картографиялаудың негізгі бағыттарының бірі болып табылады. Цифрлық рельеф модельдері (ЦРМ) жер бедерінің биіктік сипаттамаларын үздіксіз бет түрінде көрсетуге мүмкіндік беріп, оның морфологиялық құрылымын, биіктік айырмашылықтарын және кеңістіктік заңдылықтарын талдауға жағдай жасайды. Мұндай модельдер топографиялық карталарды цифрлау, интерполяциялау және қашықтықтан зондтау деректерін өңдеу арқылы қалыптастырылады.

Осы диссертациялық жұмыста Қостанай облысы Арқалық ауданы рельефін цифрландыру үдерісінде геоинформациялық картографиялау әдістерін енгізу және олардың тиімділігін зерттеу қарастырылады. Зерттеу барысында 1:100 000 масштабтағы топографиялық карталар мен SRTM спутниктік деректері геоақпараттық ортада өңделіп, рельефтің сандық модельдері құрылады. Әртүрлі дереккөздер негізінде алынған модельдердің салыстырмалы талдауы жүргізіліп, олардың рельефті бейнелеу мүмкіндіктері бағаланады.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі

Қазіргі уақытта рельефті цифрландыру мен геоинформациялық картографиялау әдістерін қолдану кеңістіктік деректерді өңдеудің басым бағыттарының бірі болып табылады. Қостанай облысы сияқты аумағы үлкен өңірлерде дәстүрлі топографиялық карталардың өзектілігі төмендеп, оларды цифрлық форматта жаңарту қажеттілігі туындайды. Осыған байланысты

дәстүрлі картографиялық материалдарды спутниктік деректермен біріктіріп пайдалану ғылыми және практикалық тұрғыдан өзекті мәселе болып отыр.

Зерттеу жұмысының мақсаты

Зерттеу жұмысының мақсаты – Қостанай облысы Арқалық ауданы рельефін цифрландыру үдерісінде геоинформациялық картографиялау әдістерін енгізу, сандық рельеф модельдерін құру және әртүрлі дереккөздер негізінде алынған модельдердің дәлдігін бағалау.

Зерттеу міндеттері

Зерттеу мақсатына жету үшін келесі міндеттер қойылды:

- аумақты цифрландыру мен геоинформациялық картографиялаудың теориялық негіздерін талдау;
- топографиялық карталар негізінде сандық рельеф моделін құру әдістемесін әзірлеу;
- SRTM деректері негізінде сандық рельеф моделін қалыптастыру;
- әртүрлі дереккөздер арқылы алынған сандық рельеф модельдерін салыстырмалы талдау;
- алынған нәтижелердің практикалық қолданылу мүмкіндіктерін анықтау.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы

Зерттеудің ғылыми жаңалығы Қостанай облысы Арқалық ауданы рельефін цифрландыру барысында геоинформациялық картографиялау әдістерін кешенді түрде қолдану арқылы дәстүрлі топографиялық карталар мен спутниктік биіктік деректерін бір геоақпараттық ортада біріктіруінде болып табылады. Жұмыста әртүрлі дереккөздер негізінде алынған сандық рельеф модельдерінің өзара сәйкестігі алғаш рет өңірлік деңгейде сандық тұрғыда бағаланып, олардың айырмашылықтарының шамасы анықталды. Сонымен қатар, ArcGIS және ArcScene бағдарламаларын пайдалана отырып, рельефтің үшөлшемді визуализациясын жасау арқылы жер бедерінің морфологиялық құрылымын бейнелеудің тиімді тәсілі ұсынылды.

Зерттеу объектісі

Зерттеу объектісі – Қостанай облысы Арқалық ауданының жер бедері. Зерттеу пәні рельефті цифрландыру үдерісінде қолданылатын геоинформациялық картографиялау әдістері мен сандық рельеф модельдері.

Жұмыстың құрылымы

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш негізгі тараудан, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Бірінші тарауда рельефті зерттеудің теориялық негіздері мен геоинформациялық картографиялау әдістері қарастырылады. Екінші тарауда Арқалық ауданы рельефінің табиғи ерекшеліктері мен бастапқы деректерге сипаттама беріледі.

1 Зерттеудің теориялық негіздері

1.1 Рельеф және оның географиялық жүйелердегі рөлі

Рельеф - Жер бетінің морфологиялық құрылымын айқындайтын негізгі табиғи компоненттердің бірі және географиялық кеңістіктің қалыптасуы мен дамуына тікелей әсер ететін фактор ретінде қарастырылады. Ол геологиялық процестердің ұзақ мерзімді әрекетінің нәтижесінде пайда болып, климаттық жағдайлармен, гидрологиялық жүйемен, топырақ жамылғысымен және биологиялық әртүрлілікпен тығыз байланыста дамиды. Сондықтан рельефті ғылыми тұрғыдан жан-жақты зерттеу табиғи ортаның жалпы құрылымын түсінуде, табиғи процестердің динамикасын анықтауда және кеңістіктік заңдылықтарды сараптауда шешуші маңызға ие.

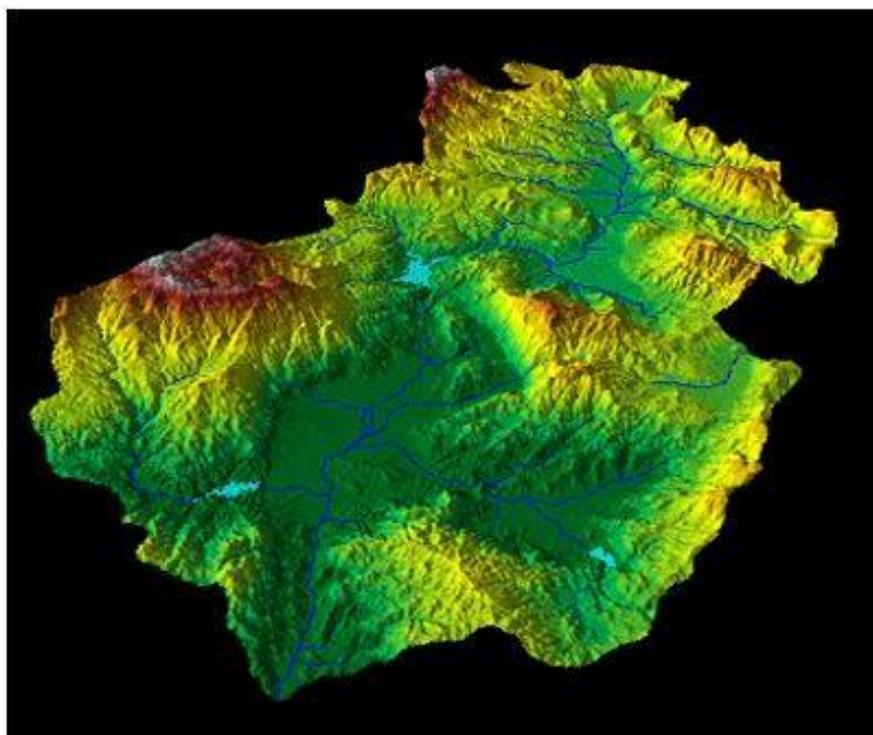
Жер бедерінің құрылымы табиғи геожүйелердің қалыптасуында негізгі рөл атқарады. Рельефтің биіктік айырмашылықтары, тілімдену дәрежесі, пішіндерінің әркелкілігі климаттық режимнің таралуына, ауа массаларының қозғалысына, ылғалдану сипатына және жылу балансын бөлуге тікелей ықпал етеді. Мысалы, тік беткейлерде күн радиациясының түсу бұрышы өзгереді, нәтижесінде бір аймақтың микроклиматтық жағдайы әртүрлі болуы мүмкін. Солтүстік және оңтүстік экспозициялар арасындағы температуралық және ылғалдық айырмашылықтар өсімдік жамылғысының таралуында ерекше көрініс табады. Осы сияқты табиғи байланыстар рельефтің геоэкологиялық процестерге ықпалының жоғары екенін дәлелдейді.

Рельеф табиғи су айналымының кеңістіктік ұйымдасуын анықтайды. Беткейлердің бағыты мен еңісі жер үсті ағындарының қозғалысын реттеп, су жинау бассейндерінің құрылымын қалыптастырады. Өзен аңғарлары, сайлар, жыралар сияқты гидроморфологиялық элементтер бедердің геометриялық қасиеттеріне байланысты пайда болады. Рельефтің ойыс және дөңес бөліктері ылғалдың таралуына, топырақтың шайылу немесе жиналу аймақтарының қалыптасуына әсер етеді. Бұл үдерістер табиғи эрозияның қарқындылығын, топырақтың деградацияға ұшырау деңгейін және ландшафтық құрылымның тұрақтылығын анықтайды.

Геоморфологиялық тұрғыдан рельеф Жер бетінің үздіксіз өзгеріп отыратын динамикалық жүйесі болып табылады. Оның қалыптасуына эндогендік (жер қыртысының қозғалысы, тектоникалық процестер, жанартаулық әрекеттер) және экзогендік (эрозия, денудация, аккумуляция, дефляция) факторлар қатар әсер етеді. Бұл процестердің өзара әрекеттесуі нәтижесінде рельефтің әртүрлі типтері жазықтар, төбелі-қырқалық аймақтар, қыраттар, аңғарлар, жыралы-сайлы жүйелер және басқа да морфологиялық құрылымдар қалыптасады. Әрбір тау жотасы, әрбір аңғар немесе сай геологиялық уақыт ішінде жүріп өткен табиғи өзгерістердің көрінісі.

Рельеф қоршаған ортаның биогеографиялық ерекшеліктерін де айқындап отырады. Өсімдік түрлерінің таралуы, биоценоздардың құрылымы, жануарлардың миграциялық бағыттары көбіне жер бедерінің морфологиялық ерекшеліктерімен анықталады. Мәселен, 1-суретке сәйкес ойыс жерлерде ылғал көп жиналады, сондықтан мұнда шөптесін өсімдіктер басым болса, дөңес аудандарда құрғақшылыққа бейім өсімдіктер таралады. Бұл ландшафттың биологиялық әртүрлілігін қалыптастыратын маңызды фактор.

Рельефтің адамзат қоғамының шаруашылық қызметіне әсері ерекше. Жолдар, ауыл шаруашышық алқаптары, елді мекендер, су қоймалары, өндірістік нысандар және инженерлік инфрақұрылым рельеф ерекшеліктеріне байланысты орналастырылады. Тік беткейлерде құрылыс салу күрделі болса, жайпақ аймақтар егіншілікке қолайлы. Сондықтан рельеф элементтерін дұрыс бағалау жоспарлау және жобалау жұмыстарында міндетті шарт.



1.1-сурет – Жер бедерінің сандық рельеф моделі

Рельефті зерттеу әдістерінің дамуы география ғылымының эволюциясымен қатар жүрді. Алғашқы кезеңдерде рельеф тек визуалды бақылау мен сипаттамалық тәсілдер арқылы зерттелсе, кейінгі кезеңде геодезиялық өлшеулер мен топографиялық түсірілімдердің көмегімен нақты өлшенген деректер алынды. Топографиялық карталардың пайда болуы рельеф туралы ақпаратты графикалық түрде жүйелеуге мүмкіндік берді. Алайда XX ғасырдың соңынан бастап сандық әдістердің дамуы рельефті

зерттеудің жаңа кезеңін ашты: рельеф енді статикалық бейне ретінде емес, кеңістіктіканалитикалық модель ретінде қарастырыла бастады.

Қазіргі ғылымда рельефті түсіну тек оның формаларын сипаттаумен шектелмейді. Рельеф табиғи жүйелердің дамуын басқарушы факторлардың бірі. Сондықтан оны жан-жақты талдау физикалық-географиялық заңдылықтарды ашуға, табиғи ортаның кеңістіктік ұйымын терең түсіндіруге мүмкіндік береді. Осы себепті рельефті зерттеу кез келген географиялық немесе экологиялық жобаның бастапқы кезеңін құрайды.

Осы аталған факторлар рельефтің табиғи-ғылыми маңызын дәлелдейді және оны қазіргі заманғы әдістермен зерттеудің өзектілігін айқындайды

1.2 Геоинформациялық картографиялау ұғымы және оның ғылыми қалыптасуы

Геоинформациялық картографиялау – кеңістіктік деректерді жинау, сақтау, өңдеу және визуалды-аналитикалық түрде көрсетуге бағытталған заманауи ғылыми бағыт. Ол дәстүрлі картография принциптері мен ақпараттық технологияларды біріктіре отырып, географиялық ақпаратты сандық ортада жан-жақты талдауға мүмкіндік береді. Қазіргі таңда геоинформациялық картографиялау география, геодезия, жер ресурстарын басқару, экология, қала құрылысы, геология сияқты көптеген салалардың негізгі ғылыми-тәжірибелік платформасына айналды.

ГАЗ-картографияның ғылыми қалыптасуы ХХ ғасырдың екінші жартысында басталды. Бұған дейін картография тек графикалық бейнелеу өнері мен географиялық ақпаратты визуалды түрде беру тәсілі ретінде қарастырылды. Топографиялық және тақырыптық карталар жергілікті жерді модельдеудің басты құралы болды. Алайда компьютерлік техниканың дамуы, сандық деректердің пайда болуы, спутниктік түсірілімдердің кеңеюі картографияның мазмұнын түбегейлі өзгертті. Геоинформациялық жүйелер (ГАЗ) кеңістіктік ақпаратты тек бейнелеуге ғана емес, оны талдауға, модельдеуге, статистикалық есептеуге мүмкіндік беретін әмбебап құрал ретінде қалыптасты.

ГАЗ-картографиялау дәстүрлі картографиядан бірнеше негізгі ерекшеліктерімен ажыратылады. Біріншіден, кеңістіктік деректер сандық форматта сақталады, бұл олармен математикалық және логикалық операциялар жүргізуге мүмкіндік береді. Екіншіден, ГАЗ картографиясы көпқабатты құрылымға негізделеді: әр қабат табиғи немесе әлеуметтік объектілердің жеке қасиеттерін көрсетеді және оларды біріктіріп, күрделі кеңістіктік модельдер құруға болады. Үшіншіден, ГАЗ-картография динамикалық, яғни деректер үнемі жаңартылып, өңделіп, нақты уақытқа жақын талдау жүргізуге бейімделеді.

Геоинформациялық картографияның ғылыми маңызы оның кеңістіктік деректерді талдау қабілетінде жатыр. Бұл бағыт геометриялық, геостатистикалық, топологиялық және семантикалық талдауларды кешенді түрде жүзеге асырады. ГАЖ алгоритмдері кеңістіктегі объектілердің байланысын, бағыттарын, қашықтығын, тығыздығын, құрылымын анықтауға мүмкіндік береді. Соның нәтижесінде табиғи және әлеуметтік-экономикалық процестердің кеңістіктік заңдылықтары жан-жақты зерттеледі.

ГАЖ-картографиялаудың тағы бір маңызды ерекшелігі – оның модельдеу мүмкіндігі. Цифрлық модельдер табиғи ортаның түрлі компоненттерін математикалық функциялар немесе растрлық-торлық жүйелер арқылы сипаттайды. Мұндай модельдер кеңістіктік процестерді болжау, инженерлік жобалауды оңтайландыру, табиғи қауіптерді бағалау, жер пайдалану құрылымын талдау сияқты күрделі міндеттерді шешуге мүмкіндік береді. Сандық модельдер көмегімен кез келген аумақтағы бедер, топырақ, климат, су ресурстары және инфрақұрылым элементтері кеңістіктік үйлесімде қарастырылады.

Геоинформациялық картографиялаудың қалыптасуы тек технологиялық емес, ғылыми-теориялық тұрғыдан да терең өзгерістермен байланысты. Кеңістіктік ойлау жүйесі визуалды түсіндіруден сандықаналитикалық түсіндіруге ауысты. Картаның мазмұны енді тек бейнелеу объектілерінен емес, олардың арасындағы байланыстардан, кеңістіктік құрылымдардан, функционалдық қасиеттерден тұратын болды. Осылайша картография сандық географияның маңызды құрамдас бөлігіне айналды.

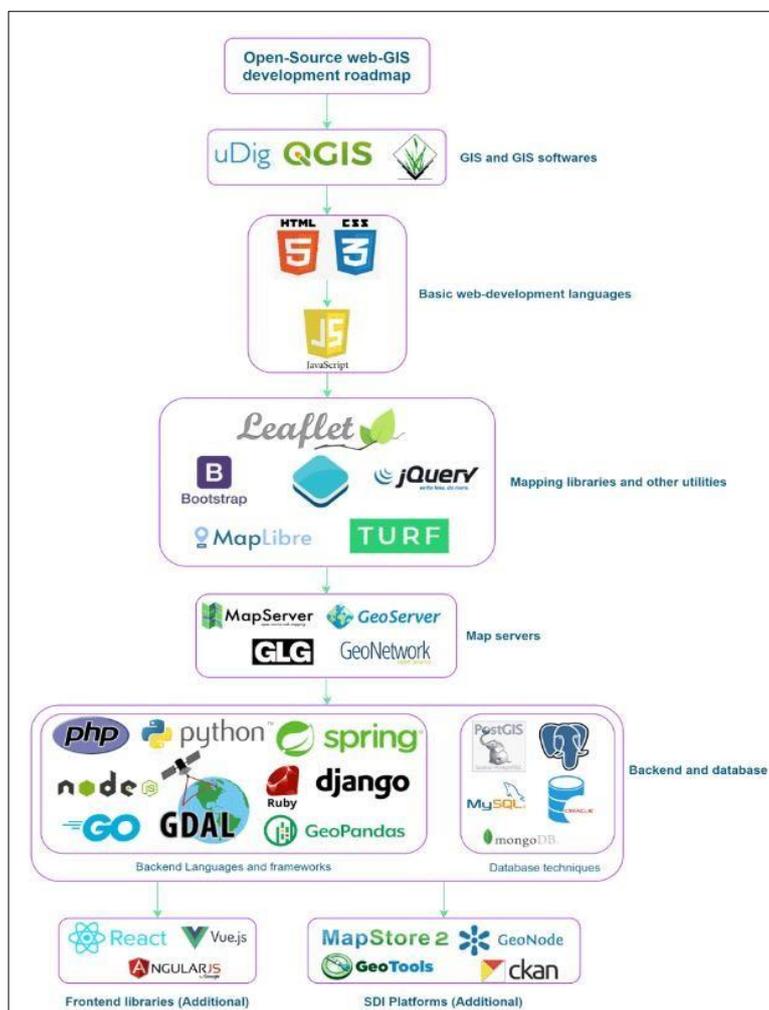
ГАЖ технологияларының дамуы жаңа картографиялық өнімдердің пайда болуына жол ашты. Мысалы, интерактивті карталар, вебкартографиялау, онлайн-ГАЖ сервистері, ғарыштық мониторинг жүйелері, дрондық түсірілімдер арқылы жасалған карталар – бәрі де заманауи геоинформациялық картографиялаудың нәтижесі. Бұл құралдар кеңістіктік ақпараттың қолжетімділігін арттырып, зерттеу үдерісін автоматтандыруға мүмкіндік берді.

Геоинформациялық картографиялаудың практикалық маңызы қазіргі заманғы кеңістіктік талдау және басқару процестерінде айрықша орын алады. Әсіресе табиғи ресурстарды тиімді пайдалану және олардың жағдайын бақылау, инженерлік инфрақұрылым объектілерін жобалау мен орналастыру, жер кадастрын жүргізу, экологиялық мониторинг жүйелерін қалыптастыру, ауыл шаруашылығындағы өнімділікті болжау және нақты егіншілік технологияларын енгізу, сондай-ақ төтенше жағдайлар қаупін бағалау мен алдын алу салаларында шешуші рөл атқарады.

ГАЖ технологияларының негізгі артықшылығы кеңістіктік деректердің көпқабатты құрылымын пайдалану арқылы табиғи және антропогендік процестердің өзара байланысын жан-жақты талдауға

мүмкіндік беруі. Әр қабатта орналасқан ақпаратты интеграциялау — рельеф, гидрография, топырақ жамылғысы, жер пайдалануы, инфрақұрылым, климаттық факторлар және әлеуметтік-экономикалық көрсеткіштер сияқты параметрлерді бір жүйеде қарастыруға жағдай жасайды. Бұл әдіс күрделі табиғи кешендерді кешенді зерттеуге, аймақтық даму стратегияларын ғылыми негіздеуге, ресурстарды оңтайлы жоспарлауға және басқару шешімдерін дәл әрі тиімді қабылдауға мүмкіндік береді.

Нәтижесінде 2-суретте көрсетілгендей геоинформациялық картографиялау тек визуалды көрсетілім құралы ғана емес, сонымен қатар аналитикалық модельдеу, болжау және мониторинг жүргізуге арналған әмбебап ғылыми-тәжірибелік платформа ретінде қалыптасады.



1.2 - сурет – Ашық кодты веб-картографиялық жүйені жобалау үлгісі

Рельефті зерттеудегі геоинформациялық картографияның рөлі ерекше. Себебі рельеф кеңістіктік құрылымы ең күрделі табиғи объектілердің бірі, және оны талдау міндетті түрде сандық әдістерсіз мүмкін емес. ГАЖ

картография рельефтің морфологиялық және морфометриялық қасиеттерін автоматты түрде анықтап, бедердің кеңістіктік заңдылықтарын нақты көрсетеді.

Геоинформациялық картография кеңістіктік деректерді сандық форматта талдауға бағытталған, заманауи картографияның ғылымитәжірибелік бағыты. Ол табиғи ортаның құрылымы мен динамикасын түсіндірудің тиімді құралы ретінде қалыптасып, рельефті зерттеудің теориялық негізін құрайды.

1.3 Рельеф және оның план мен карталарда бейнеленуі

Жер бедерінің морфологиялық ерекшеліктеріне байланысты зерттелетін аумақ әдетте таулы, төбелі немесе жазық болып жіктеледі. Рельефтің барлық алуан түрлі формалары шартты түрде оның негізгі типтік пішіндеріне біріктіріледі, олардың мысалдары 3-суретте көрсетілген. Жер бедерінің ең тән формаларының бірі тау, ол күмбез тәрізді немесе конус пішінді табиғи көтеріліс ретінде сипатталады. Тау құрылымында ең биік нүкте саналатын шың, одан жан-жаққа тарайтын беткейлер, сондай-ақ көтерілістің төменгі бөлігін құрайтын табан айқын ажыратылады. Аласа таулар көбінесе төбе немесе шоқы деп аталса, жасанды түрде көтерілген биіктік қорған ретінде белгілі.

Жер бедерінің ойыс формаларының бірі шұңқыр, ол барлық жағынан тұйықталған тостаған тәрізді төмендеу түрінде көрінеді. Оның құрылымында ең төмен орналасқан бөлігі түбі, ал бүйір жақтарындағы көлбеу бөліктері беткейлер деп аталады; шұңқырдың жазыққа өтер ауыспалы бөлігі оның жиегін құрайды. Ұзынша бағытта созылып жатқан, екі қарама-қарсы беткейден тұратын табиғи көтеріліс жота деп аталады. Жотаның екі беткейі түйісетін сызық жота осі немесе су бөлгіш сызығы болып саналады. Су бөлгіш сызықтың ең төмен нүктелері асулар ретінде белгілі.

Бір бағытта созылып, төмен қарай еңкейетін ойыс түріндегі бедер формасы жыра деп аталады. Жыра беткейлерінің түйісетін сызығы оның осі немесе су ағу бағытын көрсететін сызық ретінде анықталады. Егер жыра төменгі жағынан кеңейіп, түбі жайпақталса, ол аңғарға айналады; ал тар әрі тік бүйірлі нұсқасы сай деп аталады. Таулы аймақтарда бұл пішін аса тар әрі тік болып келсе, қысаң деп сипатталады.

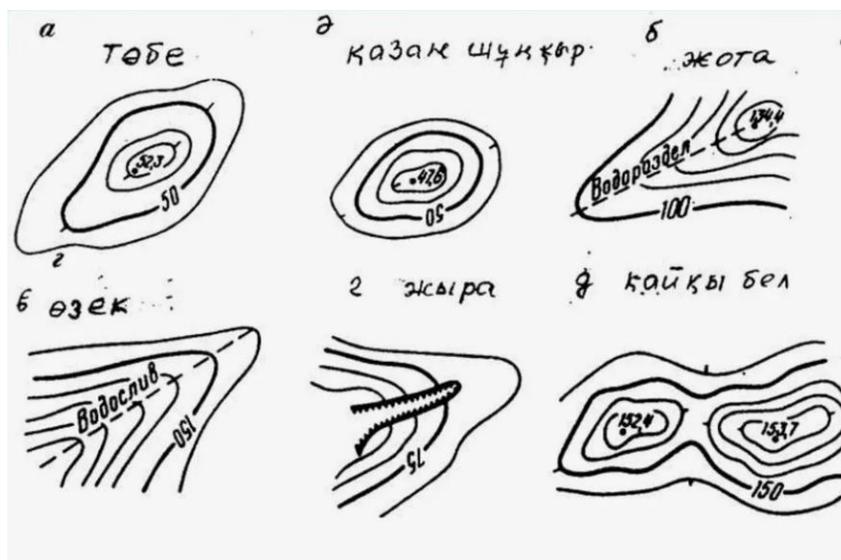
Жер бедерінің тағы бір маңызды элементі қойқы бел, ол екі көршілес тау шыңдарының арасындағы салыстырмалы түрде төмен орналасқан жалғастырғыш бөлік ретінде қарастырылады. Қойқы бел рельефтің жалпы құрылымында транзиттік морфологиялық элемент ретінде ерекше мәнге ие, себебі ол жоталар мен шыңдар арасындағы табиғи өткел қызметін атқарады.

Жер бедерін бейнелеу үшін әртүрлі тәсілдер қолданылады:

- перспективалық кескін;

- штрихтік әдіс;
- жуу (отмывка);
- горизонтальдар әдісі.

Ірі масштабты жоспарлар мен карталарда рельеф горизонтальдармен бейнеленеді.

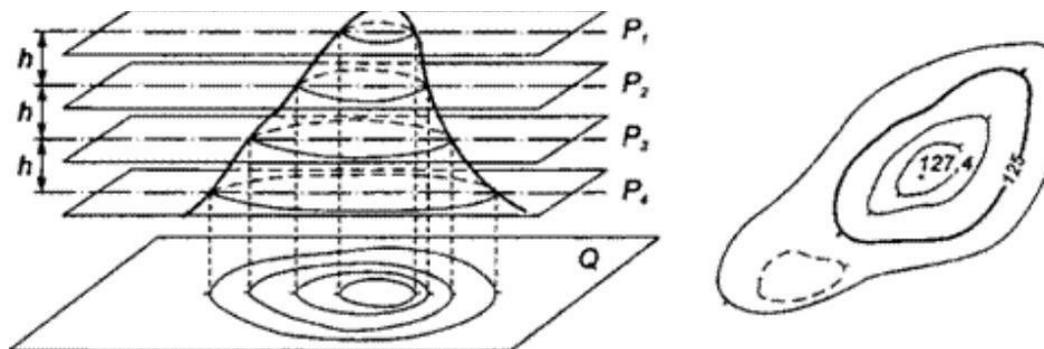


1.3 - сурет – Рельеф формалары

Горизонталь бір абсолюттік деңгейде орналасқан нүктелерді біріктіретін тұйық сызық, яғни бірдей биіктікті көрсететін изолиния түрі. Горизонтальдардың табиғатын түсіну үшін жер бедерін белгілі бір тұрақты интервалмен орналасқан параллель горизонталь жазықтықтармен ойша кесіп өткен деп елестетуге болады. Әрбір осындай жазықтық жер бетімен қиылысқанда белгілі бір сызық түзеді, ал сол сызықтарды горизонталь жазықтыққа проекциялау нәтижесінде бір-біріне параллель, бірдей биіктікті бейнелейтін тұйық сызықтар жүйесі шығады. Дәл осы тұйық сызықтар картадағы рельефтің негізгі бейнелеу тәсілі болып саналатын горизонтальдарды құрайды.

Горизонтальдардың карталық бейнесін анық әрі оқуға қолайлы ету үшін олардың бойына қысқа бағыттаушы сызықшалар бергіштрихтер түсіріледі. Бергіштрихтер беткейдің төмен қарай бағытталған жағын көрсететіндіктен, рельеф формаларын тез әрі нақты ажыратуға мүмкіндік береді. Горизонтальдардың абсолюттік биіктіктері оларда арнайы жасалатын үзіліс бөліктерінде көрсетіледі. Биіктік мәнін білдіретін цифрлар 4-суретте көрсетілгендей әрқашан жоғары жағы көтерілетін бағытқа қарай орналастырылады, бұл картада жер бедерінің жоғары және төмен бағыттарын шатастырмай тануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, биіктік жазбалары горизонтальдардың жалпы құрылымын бұзбайтындай, картаны қабылдауды

жеңілдететін жерлерге қойылады. Осы тәсілдер картографиялық материалдың ақпараттық анықтығын арттырып, рельефті талдаудың дәлдігін қамтамасыз етеді.



1.4 - сурет – Горизонтальдар әдісінің мәні

Горизонтальдардың қасиеттері жер бедерін картографиялық әдіспен дәл бейнелеуде маңызды роль атқарады. Горизонталь сызықтардың негізгі ерекшелігі олардың барлық нүктелерінің биіктігі бірдей болуы, яғни бір абсолюттік белгіде орналасуы. Осыған байланысты горизонтальдар міндетті түрде үздіксіз әрі тегіс қисық сызық түрінде жүргізіледі. Рельефтің морфологиясына сәйкес бұл сызықтар бір-бірін ешқашан қиып өтпейді, өйткені әр горизонталь тек бір ғана биіктік мәнін көрсетеді және екі түрлі биіктікті бір мезетте білдіре алмайды.

Горизонтальдардың картадағы өзара арақашықтығы жер бетінің еңістік дәрежесін сипаттайды: сызықтар бір-біріне жақын орналасқан жағдайда беткейдің тік екені байқалса, ал арасы алшақ горизонтальдар рельефтің жайпақ екенін көрсетеді. Жер бедерінің дренаждық құрылымы да горизонтальдар арқылы анық көрінеді, себебі су айырықтары мен су жиналатын сызықтар (жоталар мен жыралар) горизонтальдарды, әдетте, тік бұрышқа жуық бағытта кесіп өтеді. Рельеф формасын неғұрлым нақты көрсету қажет болған жағдайда негізгі қиманың жарты биіктігіне сәйкес келетін қосымша горизонтальдар, яғни полугоризонтальдар салынады. Олар жер бедерінің ұсақ элементтерін анық көрсетіп, картаның мазмұнын толықтырады. *Горизонтальдарды нүктелердің биіктік белгілері бойынша құру.* Топографиялық түсіріс кезінде жоспарға рельефтің негізгі нүктелері және олардың белгіленген биіктіктері түсіріледі. Осы биіктіктерге сүйене отырып, жер бедері горизонтальдармен бейнеленеді. Ол үшін жоспар масштабын, жер бедерінің сипатын ескеріп, нұсқаулыққа сәйкес *қима биіктігі* таңдалады.

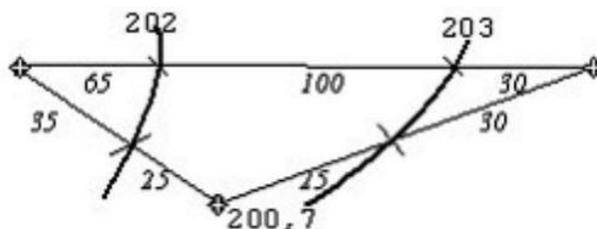
Бір еңіс бойында жатқан нүктелер түзу сызықтармен біріктіріледі. Әр сызық бойында биіктігі қиманың еселігіне тең келетін нүктелер анықталады бұл процесс горизонтальдарды интерполяциялау деп аталады.

Интерполяция екі жолмен орындалуы мүмкін:

- визуалды;
- графикалық әдіспен;

Визуалды интерполяциялау. Мысалы, жоспарда үш көршілес нүкте бар делік, олардың биіктіктері: 201.35 м, 203.30 м және 205.70 м.

Қима биіктігі 1.0 м., демек, 201, 202 және 203 м горизонтальдарының орналасуын көзбен шамалап анықтау қажет.



1.5 - сурет – Горизонтальдарды визуалды интерполяциялау және жүргізу

Аналитикалық интерполяция әдісі горизонтальға дейінгі қашықтық биіктік айырмасына тура пропорционалды, ал горизонтальдар арасындағы аралық сызық бойындағы горизонтальдық қашықтыққа кері пропорционалды болып есептеледі.

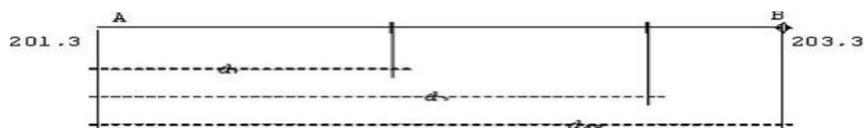
5-суретке сәйкес, А нүктесінен 202 және 203 м горизонтальдарына дейінгі қашықтықтар келесідей анықталады:

$$d_1 = h_1 \quad (1)$$

$$d_2 = h_2 \cdot d_{AB} / h_{AB} \quad (2)$$

мұндағы h_1, h_2 – А нүктесі мен 202 және 203 м горизонтальдары арасындағы биіктік айырмалары;

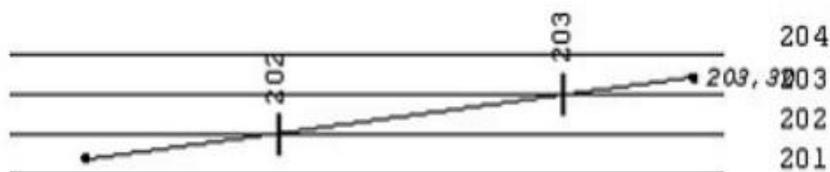
d_{AB} А және В б-суретте көрсетілген пикеттік нүктелерінің арасындағы көлденең қашықтық; h_{AB} А және В нүктелері биіктіктерінің айырмасы.



1.6 - сурет – Горизонтальдарды аналитикалық интерполяциялау әдісі

Горизонтальдарды графикалық интерполяциялау әдісі 7-суретте келтірілгендей арнайы палетка құралын қолдануға негізделеді. Палетка мөлдір қағаз немесе жұқа пластиктен жасалған пластина, оның бетіне бір-біріне параллель және бірдей арақашықтықта орналасқан сызықтар, яғни шартты горизонтальдар түсірілген. Бұл сызықтардың арасындағы қашықтық әдетте 5–10 мм шамасында болады және рельефтің қима биіктігіне байланысты таңдалады. Палетканың өзінде осы сызықтарға сәйкес келетін биіктік мәндері алдын ала жазылады, сондықтан ол интерполяциялауға арналған шағын масштабты үлгі ретінде қызмет атқарады.

Палетканы жоспар бетіне қойып, оны қажетті бағытта бұра отырып, палеткадағы горизонталь сызықтарын жоспардағы абсолюттік биіктігі белгілі нүктелермен дәл сәйкестендіреді. Биіктігі белгілі нүктелер палеткадағы тиісті биіктік сызықтарымен беттескен кезде, жаңа горизонтальдардың картаның қай жерінен өтуі тиіс екені анық байқалады. Осы сәйкестендіруден кейін палетканың сызықтары жоспарға көшіріліп, горизонтальдардың нақты орны белгіленеді. Бұл әдіс рельефтің интерполяциясын жылдам орындауға, біркелкі қашықтық пен биіктіктік градацияны сақтауға мүмкіндік береді.



1.7 - сурет – Горизонтальдарды графикалық интерполяциялау әдісі

Нүкте биіктігі – бұл жердің немесе басқа шартты беткі қабаттың үстінен өлшенетін тік бағыттағы арақашықтық.

H нүктесінің белгісі – бұл нүктенің биіктігін білдіретін сандық мән.

Екі нүктенің биіктік айырмасы ΔH немесе h деп аталады және ол келесі формуламен анықталады:

$$\Delta H = h = H_2 - H_1 \quad (3)$$

мұндағы ΔH , h екі нүкте арасындағы биіктік айырмасы;

H_2 , H_1 нүктелердің биіктік белгілері.

Рельефтің қима биіктігі, горизонтальдар арасындағы пландық қашықтық және сызықтың еңісі. Көршілес екі горизонталь арасындағы биіктік айырмасы рельефтің қима биіктігі деп аталады.

Екі көршілес горизонтальдардың жоспардағы арақашықтығы горизонтальдар арасындағы пландық қашықтық деп аталады.

Горизонтальдар арасындағы пландық қашықтық және қима биіктігінің арасындағы қатынас келесі формуламен өрнектеледі:

$$tg v = h / a \quad (4)$$

мұндағы v – жер бедерінің көлбеу бұрышы;

h – қима биіктігі;

a – горизонтальдар арасындағы жоспардағы арақашықтық.

Картадан горизонтальдар арасындағы пландық қашықтық a мәнін өлшеу және қима биіктігі h белгілі болған жағдайларда алдымен еңіс (тангенс), содан соң көлбеу бұрышын v есептеуге болады.

Сызықтың көлбеу бұрышы. Сызықтың көлбеу бұрышы – бұл горизонталь бағыт және сызықтың өзі арасындағы бұрыш.

Кейде көлбеу бұрышының орнына еңіс (i) қолданылады. Ол – бұрыштың тангенсі және ол пайызбен (%) немесе промиллемен (‰) өрнектеледі. Еңіс мына формулалармен есептеледі:

$$i = tg v, \quad (5)$$

$$i = H_2 - H_1 / S_{1-2} \times 1000\% \quad (6)$$

мұндағы S_{1-2} нүктелер арасындағы қашықтық, м.

Жер бедерінің көлбеулік бұрышын жылдам анықтау үшін картаның төменгі жағына арнайы пландық аралық графигі салынады.

Көбіне еңістің тік немесе жайпақ екенін графикалық әдіспен анықтайды.

Ол үшін карталарда пландық аралық графигі жасалады.

Пландық аралық d мына формуламен анықталады:

$$d = h / i \quad (7)$$

мұндағы h – қима биіктігі

i – еңіс

Еңістер бойынша пландық аралық графигі дәл осы мәндер негізінде салынады.

1.4 Геоақпараттық жүйелердегі жер беті және рельефтің цифрлық моделі

1.4 Геоақпараттық жүйелердегі жер беті және рельефтің цифрлық моделі

Дәстүрлі географиялық және топографиялық карталарда рельеф туралы ақпарат, әдетте, горизонтальдар (деңгей сызықтары, изолиниялар) арқылы бейнеленеді. Геоақпараттық жүйелер (ГАЖ) рельефті көрсету үшін өзге де тәсілдерді пайдалануға мүмкіндік береді, оның ішінде рельефті үшөлшемді объектілер жиыны – әртүрлі беттер түрінде ұсыну мүмкіндігі бар. Сонымен қатар, ГАЖ ортасында рельеф геометриясына сүйене отырып орындалатын бірқатар аналитикалық есептерді шешу талап етіледі. Мысалы, құрылыс жұмыстарын жүргізу кезінде жылжытылатын топырақ көлемін есептеу сияқты міндеттер дәл биіктік моделін қажет етеді. Рельефті тек горизонтальдар арқылы беру мұндай есептерді нақты әрі тиімді шешуді қиындатады, сондықтан ГАЖ-да рельеф аналитикалық операцияларды мүмкіндігінше жоғары дәлдікпен орындай алатын арнайы модельдер арқылы ұсынылады.

Рельеф модельдерін құрастыру барысында бастапқы ақпараттың алыну ерекшеліктері ескеріледі, өйткені деректер бар карталардан, аэрофототүсірілім материалдарынан немесе лазерлік қашықтықтан зондтау (LiDAR) жүйелерінен алынуы мүмкін. Бұл деректердің көпшілігі дискретті және құрылымы жағынан ретсіз сипатқа ие болады.

Рельефті сипаттаудың саны жағынан ең қарапайым моделі $Z = F(X, Y)$ тәрізді бірімәнді функция, мұнда биіктігі белгілі әрбір нүкте (x_i, y_i, z_i) үшін $z_i = F(x_i, y_i)$ шартын қанағаттандыруы тиіс. Функцияның биіктік нүктелері арасындағы аймақтарда «шын рельефке барынша ұқсас» болуы, атап айтқанда биіктік қателігінің минималды болуы талап етіледі. Бұл талап математикалық тұрғыдан қатаң анықталмаған болғандықтан, тәжірибеде ол қосымша критерийлер арқылы нақтыланады.

Жер беті табиғаты жағынан тұтас, үздіксіз қалыптасқан физикалық объект болып табылады, ал геоақпараттық жүйелердің құрамына кіретін деректер базалары өз құрылымы бойынша дискретті элементтермен жұмыс істеуге арналған. Осы екі ұғымның табиғи айырмашылығы рельефті модельдеу тәсілдеріне тікелей әсер етеді. Нақты жер бедері үздіксіз болғанымен, оны сандық түрде көрсету үшін белгілі бір дискретизация қажет, нәтижесінде жер бетінің математикалық моделі деректер базасында сақтауға қолайлы, кесінділік-үздіксіз сипаттағы дискретті беттер жиыны ретінде ұсынылады. Мұндай тәсіл үздіксіз табиғи рельефті бөліктерге бөлінген, бірақ топологиялық жағынан байланысы сақталған беттер жүйесі арқылы сипаттауға мүмкіндік береді.

Цифрлық рельеф моделі осы дискретті беттердің нақты бір түрін білдіреді және топографиялық беттің кез келген цифрлық форматта берілген көрінісін сипаттау үшін қолданылады. ЦРМ рельефтің 8-суретте келтірілген биіктік құрылымын математикалық түрде бейнелеп қана қоймай, оның негізінде еңістік, экспозиция, су айрықтары, су жиналу аймақтары, көлемдік

есептеулер, жерасты және жерүсті инженерлік құрылымдарды жобалау сияқты көптеген кеңістіктік-аналитикалық міндеттерді шешуге мүмкіндік береді. Осылайша, ЦРМ рельефті дәл бейнелеудің әмбебап құралы ретінде ГАЖ-дағы кеңістіктік талдау процестерінің негізін құрайды және инфрақұрылымдық, геологиялық, экологиялық, ауылшаруашылық, кадастрлық зерттеулерде кеңінен қолданылады.



1.8 - сурет – Рельефтің цифрлық моделінің көрінісі

1.5 Цифрлық рельеф модельдерінің түрлері

Халықаралық ғылыми ортада цифрлық рельефті сипаттауда бірқатар терминологиялық келісімдер қолданылады. Солардың ішіндегі негізгі ұғымдар мыналар: DEM (Digital Elevation Model) – цифрлық рельеф моделін (ЦРМ) білдіретін халықаралық термин; DTM (Digital Terrain Model) – цифрлық жер бедері моделі (ЦММ немесе ЦЖБМ); DSM (Digital Surface Model) – цифрлық бет моделі (ЦБМ).

DSM (ЦБМ) көп жағдайда жердің беткі қабатымен қатар оның үстінде орналасқан барлық объектілерді, яғни өсімдіктерді, ғимараттарды, инженерлік құрылыстарды қамтитын модель ретінде қарастырылады. DTM (ЦММ) керісінше, табиғи жалаңаш жер бедерін сипаттайды және өсімдік жамылғысы мен жасанды объектілерді есепке алмайды. DEM (немесе ЦРМ) термині көбіне

DSM мен DTM модельдерін біріктіретін жинақтаушы ұғым ретінде қолданылады және беттердің қалыптасу әдістерін нақтыламай, жалпы биіктік ақпаратын береді.

Қазақстандық тәжірибеде ЦРМ термині жиі кеңейтілген мағынада қолданылады, себебі ол биіктік мәндерінен бөлек, рельефтің қалыптасу принциптері жөніндегі қосымша мәліметтерді де қамтуы мүмкін. DEM, DTM

және DSM модельдерінің негізгі айырмашылықтары **1-кестеде** көрсетілген. Практикада рельефті цифрлық түрде бейнелеу нақты есептік және қолданбалы міндеттерге байланысты әртүрлі модельдеу тәсілдерін қажет етеді. Солардың ішіндегі ең кең тарағандарына тұрақты (регулярлы) биіктік торларына негізделген GRID модельдер, триангуляциялық құрылымдағы TIN-модельдер, сондай-ақ интерполяциялық және математикалық беттерге негізделген өзге де рельеф модельдері жатады.

Кесте-1.1 – DEM–DTM–DSM салыстырмалы кестесі

Модель атауы	Халықаралық белгіленуі	Қазақша атауы	Қамтитын ақпарат	Ерекшелігі
DEM	Digital Elevation Model	Цифрлық рельеф моделі (ЦРМ)	Жалпы биіктік нүктелері	DSM мен DTM-ді біріктіретін жинақталған модель
DTM	Digital Terrain Model	Цифрлық жер бедері моделі (ЦММ/ЦЖБМ)	Жалаңаш жер беті, рельеф құрылымы	Өсімдік, ғимарат, объектілерсіз «таза» рельеф
DSM	Digital Surface Model	Цифрлық бет моделі (ЦБМ)	Жер беті және барлық үстіндегі объектілер	Ағаштар, үйлер, құрылыстар қамтылады

GRID-модельдер цифрлық рельефті көрсету тәсілдерінің ішінде ең ертеден қолданылып келе жатқан және кең тараған модельдердің бірі болып табылады. Бұл модель түрі тұрақты биіктік нүктелерінің торына негізделеді, мұнда зерттелетін аймақ X, Y координаталарында тікбұрышты облыс ретінде қарастырылып, оның бетіне бірдей арақашықтықтағы вертикаль және горизонталь сызықтар торы түсіріледі. Әрбір ұяшықтың бұрыштарында биіктік белгілері беріледі, ал рельефтің беті осы мәндер бойынша интерполяцияланады.

GRID-модельдің ең қарапайым түрі сынық сызықтар интерполяциясы қолданылатын модель, онда функция ұяшықтың төрт бұрышындағы биіктік мәндеріне сүйеніп:

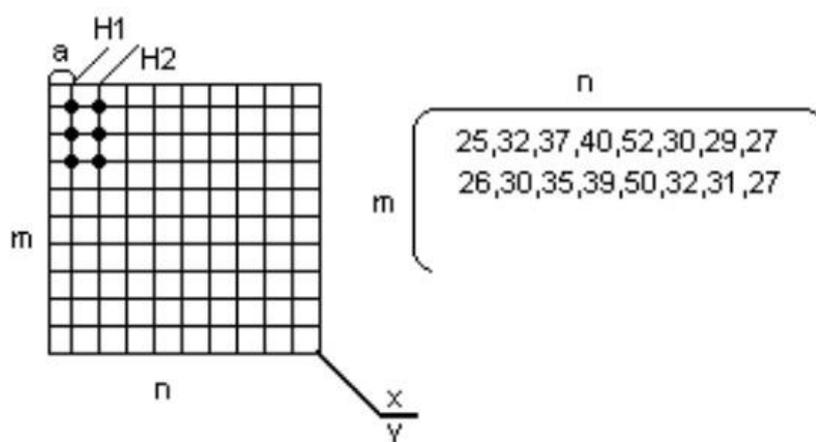
$$S(x, y) = a_0 + a_1(x - x_i) + (a_2 + a_3(x - x_i))(y - y_j) \quad (8)$$

Жоғарыда келтірілген формаула түрінде есептеледі. Коэффициенттер a_0, a_1, a_2, a_3 төрт сызықтық теңдеу жүйесін шешу арқылы алынады. Бұл

функция көршілес ұяшықтар арасында үздіксіз болып табылады, алайда ұяшық шекараларында туындының үзілуі нәтижесінде сыну байқалады.

GRID-модельдің одан да қарапайым нұсқасы сызықтық (триангуляциялық) интерполяция, мұнда әрбір квадрат екі диагональ арқылы төрт үшбұрышқа бөлінеді. Ұяшық ортасындағы биіктік төрт бұрыштың орташа арифметикалық мәні арқылы есептеледі. Бұл жағдайда рельеф беті толықтай кеңістіктік үшбұрыштардан құралады.

GRID-модельдер деректердің қарапайым құрылымына байланысты жеңіл сақталып, кез келген мәтіндік файлда ұсыныла алады. Ол үшін тор өлшемдері 9-суретте көрсетілгендей (n – бағандар саны, m – жолдар саны, ұяшық өлшемі a), координаталық бастапқы нүкте (x, y) және биіктік мәндері H_1, H_2 матрица түрінде файлға жазылады. Мұндай құрылым ЦРМ-ді GRID форматында тиімді сақтауға және өңдеуге мүмкіндік береді.



1.9 - сурет – GRID модель

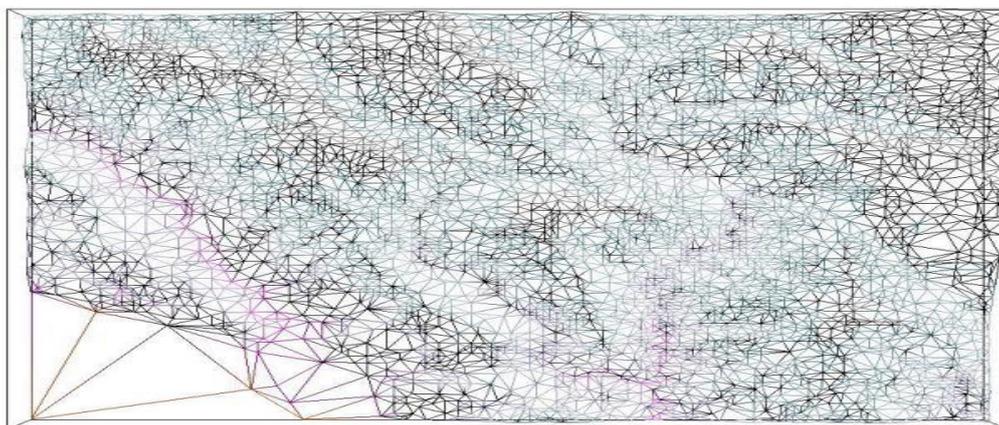
Тұрақты торлы модель растрлық тор ретінде ұсынылады, мұнда әрбір пиксельге жер бетінің биіктік белгісі бекітіледі. Мұндай модель үшін негізгі параметр рұқсаттылық (resolution), яғни көршілес нүктелер арасындағы қашықтық (9-суретте a мәні) немесе тор ұяшығының өлшемі. Тұрақты торлы құрылым биіктік мәліметтерін біркелкі интервалмен орналастыруға мүмкіндік береді, сондықтан ол кең ауқымды есептеулерде жиі қолданылады.

Тұрақсыз торлы модельде нүктелердің орналасуы алдын ала біркелкі құрылымға бағынбайды; олар рельефтің сипаттамаларына қарай ең маңызды жерлерде тандалады. Мысалы, рельефті модельдеу кезінде нүктелер су айырықтары, тальвегтер, беткейлер және бедердің басқа да ерекшеліктері бойымен жинақталады. Нүктелердің дәл осы сипаттамалы аймақтарда орналасуы рельефтің геометриялық құрылымын дәлірек сипаттауға мүмкіндік береді.

Тұрақсыз торлы модельдердің ішіндегі ең кең таралған түрі *TIN* (*Triangulated Irregular Network*) моделі, яғни үшбұрышты (триангуляцияланған) тұрақсыз тор. *TIN* моделі рельефті үшбұрыштардан құралған бет ретінде көрсетеді. Триангуляцияның басым көпшілігі *Делоне триангуляциясы* қағидалары бойынша орындалады, дегенмен басқа триангуляция тәсілдері де қолданылуы мүмкін.

TIN-модельдердің екі түрі ажыратылады:

Қалыпты TIN-модель. Бұл модель координаталары белгілі нүктелер бойынша құрылады, және әрбір үшбұрыш мүмкіндігінше теңқабырғалы пішінге жақын болатындай етіп жасалады, яғни Делоне критерийіне сәйкес келеді. Мұндай үшбұрыштар биіктігі белгіленген нүктелерге қатаң «бекітілгендіктен», оларды кейін өзгерту мүмкін емес. Егер рельефті түзету қажет болса, жаңа нүктелер енгізу керек болады. Алайда нүктелерді қолдан жасанды түрде қосу әрдайым дұрыс бола бермейді, өйткені биіктік мәндері далалық өлшеулермен алынуы тиіс. 10-суретте дәл осы қалыпты *TIN*-модельдің мысалы көрсетілген.



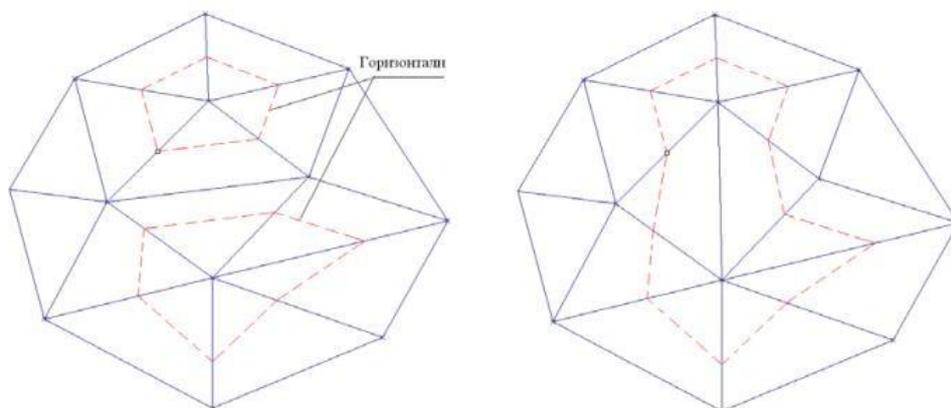
1.10-сурет – қалыпты *TIN*-модель

Бұл модель (қалыпты *TIN*-модель) көптеген бағдарламалық құралдарда қолданылады: *MapInfo*, *MGE Terrain Analyst* және басқалары.

Қосымша шарттары бар TIN-модель, мұнда қосымша элементтер ретінде құрылымдық сызықтар беріледі. Қосымша құрылымдық элементтерді енгізу арқылы үшбұрыштардың қажетті қабырғаларын алдын ала анықтауға болады. Мұндай жағдайда үшбұрыштардың қабырғалары құрылымдық сызықтарды ешқашан кесіп өте алмайды.

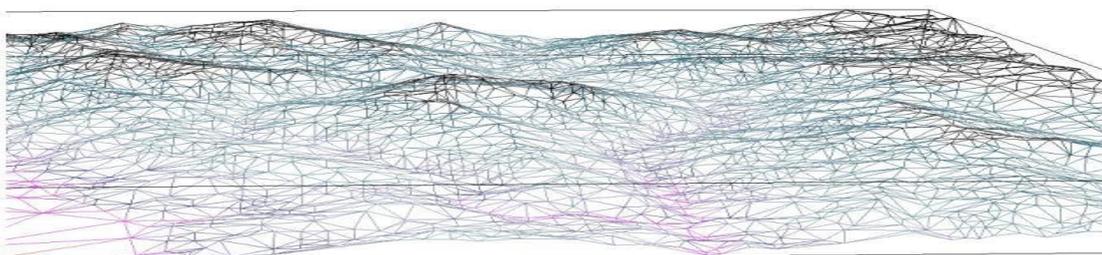
Төмендегі суретте (11-сурет) бірдей нүктелер жиынтығы бойынша тұрғызылған қабырғалардың екі ықтимал комбинациясы көрсетілген. Бұл комбинациялар әртүрлі рельеф пішіндерін қалыптастырады, бұл айырмашылық горизонтальдардың конфигурациясынан айқын байқалады. Сондықтан қажетті қабырғаларды (реберді) берудің мүмкіндігі аса маңызды.

Бұл модель келесі бағдарламалық өнімдерде кеңінен қолданылады:
CREDO, Autodesk Civil 3D және т.б.



1.11 - сурет – Рельеф пішіндерінің қабырғаларға тәуелділігі

Геоақпараттық жүйелерде беттің өзі ерекше деректер түріне жатады, сондықтан ГАЖ құрамында ол не жеке деректер типі ретінде орналастырылады, не арнайы модульде көрсетіледі. 12-суретте TIN-модельдің мысалы берілген.



1.12 - сурет – TIN-модель

1.6 Практикалық тапсырмаларды шешуде беттік модельдерді қолдану

Бет модельдерін кеңістіктік талдаудың көптеген практикалық міндеттерін жоғары дәлдікпен орындауға мүмкіндік береді. Ең алдымен, мұндай модельдер кез келген нүктедегі жер бетінің биіктігін анықтауға жағдай жасайды, бұл инженерлік-геодезиялық есептеулер мен жоспарлау жұмыстарында ерекше маңызды болып табылады. Сонымен қатар, бет модельдері арқылы кез келген бағыт бойынша рельефтің профильдік қималарын тұрғызуға болады: мысалы, 13-суретте қашықтан спутниктік

зондтау материалдары негізінде алынған DEM-модель көрсетілсе, 14-суретте осы модель бойынша құрылған рельеф профилі берілген.

Үшөлшемді беттерді пайдаланудың тағы бір маңызды мүмкіндігі изосызықтарды (горизонтальдарды) дәл есептеу және визуализациялау. Бұл процесс тұрақты GRID-модель мысалында көрініс табады, ал 16-суретте осы модель негізінде орындалған геометриялық есептеулер нәтижесінде алынған горизонтальдар көрсетілген.

Беткейлердің еңіс бұрыштары мен экспозицияларын анықтау да бет модельдерінің маңызды қолданбалы функцияларының бірі болып табылады. Мәселен, 16-суретте 15-суретте көрсетілген аумақ үшін рельеф элементтерінің еңіс бұрыштары картасы ұсынылған. Мұндай есептеулер инженерлік жобалау, эрозиялық үдерістерді бағалау, гидрологиялық модельдеу және ауылшаруашылық жерлерді жоспарлау үшін кеңінен қолданылады.

Сонымен бірге, бет модельдері белгілі бір еңіс немесе экспозиция санаттарына жататын аумақтарды айқындауға, ЦРМ негізінде су жиналатын алаптардың шекараларын дәл анықтауға мүмкіндік береді. Бұл гидрологиялық талдау, су ресурстарын басқару және табиғи қауіп-қатерлерді бағалау сияқты салаларда маңызды рөл атқарады.

Сонымен қатар, бет модельдері берілген нүктеден көрінетін аймақтарды (зона видимости) анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс байланыс желілерін жоспарлауда, бақылау нүктелерін орналастыруда, ландшафттық талдауда және әскери-стратегиялық есептеулерде жиі қолданылады.

Төменде кейбір операцияларды толығырақ қарастырайық.

Биіктікті есептеу.

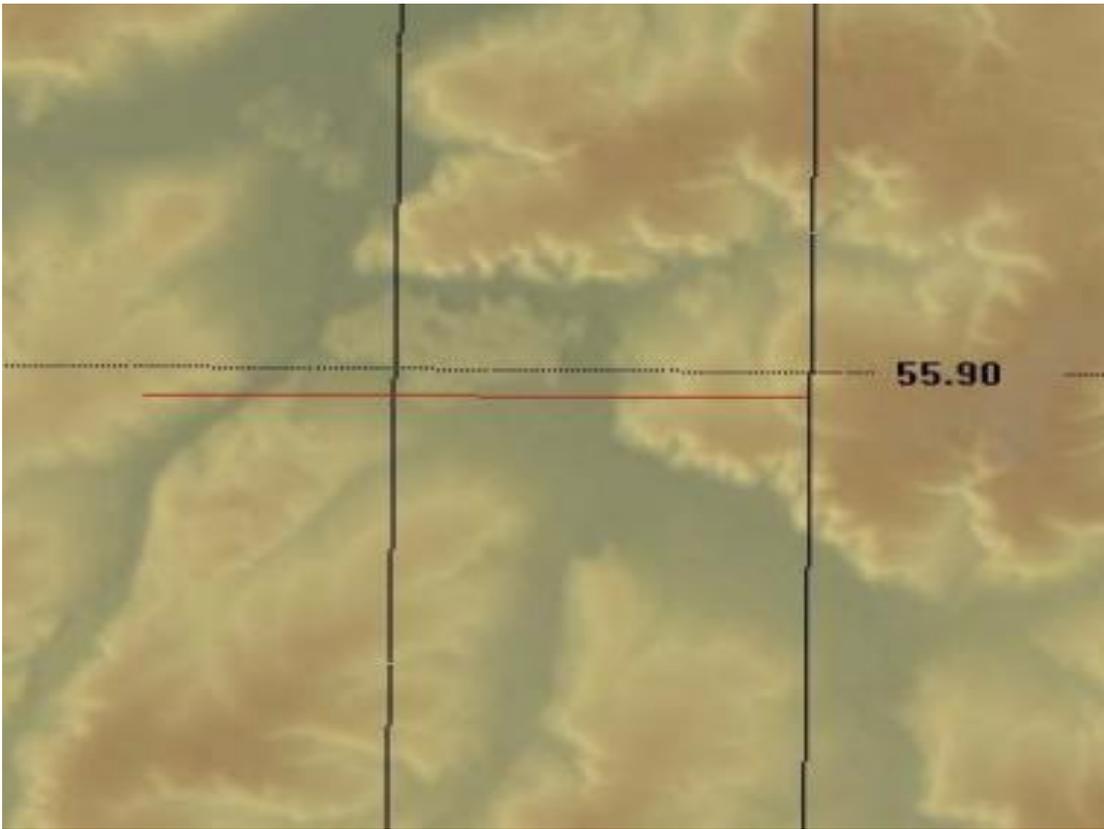
Биіктік мәнін есептеу кезінде сызықтық интерполяция қолданылуы мүмкін немесе биіктік мәндерінің жақын орналасқан нүктелерінде квадраттық ауытқулардың қосындысын минимумға келтіретін аппроксимирлеуші жазықтық пайдаланылуы мүмкін. Есептеу келесі формула бойынша жүргізіледі:

$$z = a + bx + cy \quad (9)$$

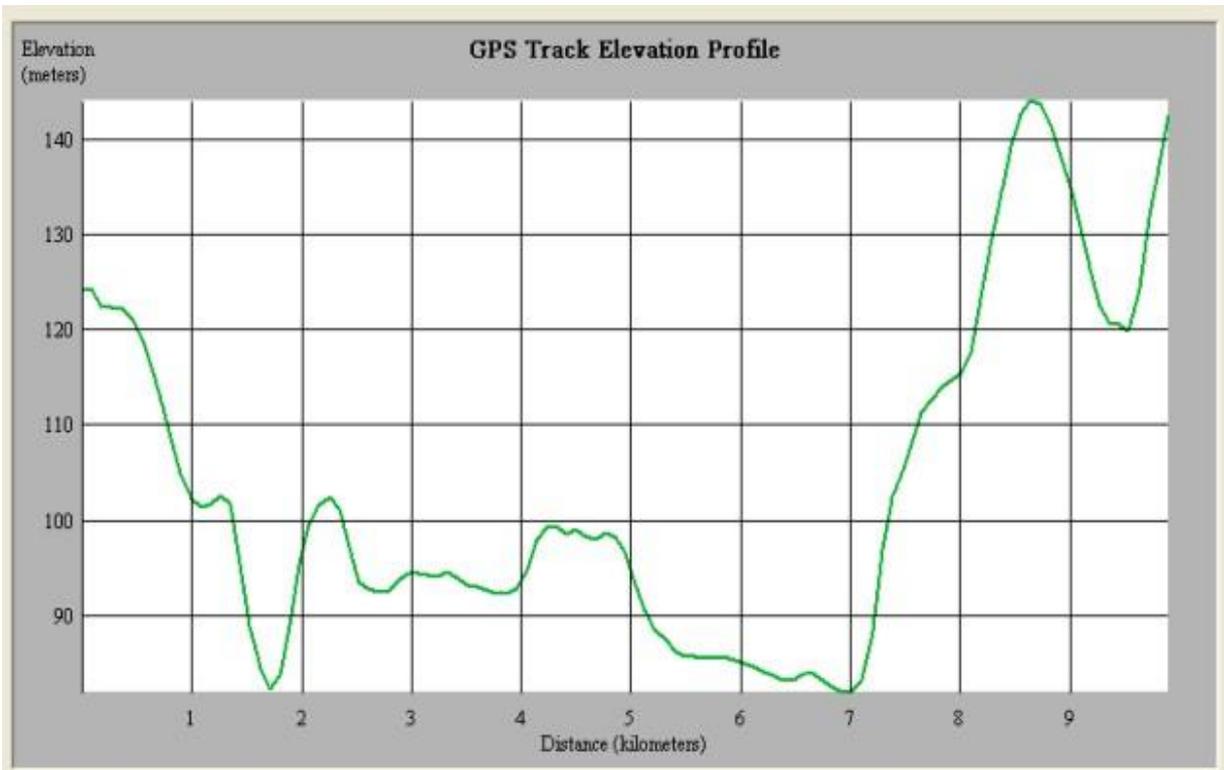
Еңіс бұрышы мен экспозицияны есептеу.

Бұл шамаларды әдетте 3×3 өлшемді терезедегі орталық нүкте арқылы алынатын аппроксимирлеуші жазықтық көмегімен есептеп шығаруға болады. Еңіс бұрышы келесі формула бойынша есептеледі:

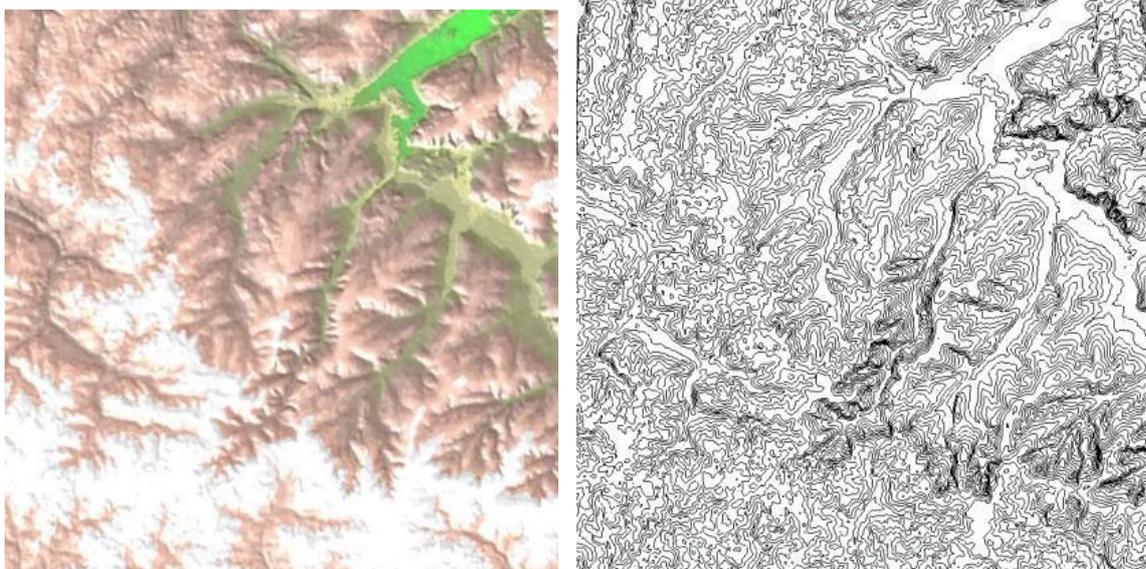
$$\alpha = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (10)$$



1.13-сурет – Түзу сызық бойымен рельеф профилін тұрғызу



1.14-сурет – Түзу сызық бойымен рельеф профилін тұрғызу



1.15 - сурет – Тұрақты GRID-модель бойынша горизонтальдарды тұрғызу



1.16 - сурет – Рельефтің еңіс бұрыштары картасы

1-тарау бойынша тұжырымдама

Бірінші тарауда рельефтің табиғи ортадағы орны мен оның қалыптасуына әсер ететін негізгі факторлар қарастырылды. Рельефтің геологиялық құрылыммен, климатпен және гидрологиялық процестермен байланысы оның табиғи жүйелердің ұйымдасуындағы маңызды компонент екенін көрсетті. Жер бедерінің морфологиялық элементтері мен олардың

пайда болу заңдылықтарын талдау рельефті ғылыми тұрғыда жан-жақты зерттеудің қажет екенін дәлелдеді.

Тарауда геоинформациялық картографиялаудың мәні ашылып, ГАЖ технологиялары рельефті сандық форматта сипаттауға және талдауға мүмкіндік беретін тиімді құрал екені анықталды. ГАЖ ортасында рельефтің морфометриялық параметрлерін автоматты есептеу, кеңістіктік заңдылықтарды анықтау және деректерді көпқабатты құрылымда өңдеу мүмкіндіктері түсіндірілді. Осы контексте цифрлық рельеф моделінің құрылу принциптері, оның ішінде интерполяция, GRID және TIN моделдері, сондайақ еңіс, экспозиция және қисықтық сияқты негізгі параметрлердің есептелуі қарастырылды.

Сонымен бірге рельефті цифрландырудың негізгі кезеңдері – бастапқы деректерді жинау, геотіркеу, координаталық жүйелерді сәйкестендіру, интерполяциялау және модель сапасын бағалау – зерттеудің әдістемелік базасы ретінде ұсынылды. Бұл тәсілдер Қостанай облысы Арқалық өңірі рельефін сандық түрде нақты және дәл сипаттауға мүмкіндік беретіні көрсетілді.

Жалпы, 1-тарауда берілген теориялық және әдіснамалық материалдар зерттеудің келесі кезеңдерінде орындалатын практикалық ГАЖ-талдау мен Арқалық аумағының цифрлық рельеф моделін құруға берік ғылыми негіз қалыптастырды.

2. Арқалық ауданы жер бедерін цифрландырудың ақпараттық базасы және әдістемелік негіздері

2.1 Арқалық ауданының физикалық-географиялық сипаттамасы

Арқалық ауданы 17-суретте келтірілгендей Қазақстан Республикасының солтүстік-батысындағы Қостанай облысының орталық-оңтүстік бөлігінде орналасқан және табиғи географиялық жағдайлары жағынан Торғай үстіртінің солтүстік-шығыс сілемдерін қамтиды. Аудан 50° – 51° солтүстік ендік пен 65° – 67° шығыс бойлықтар арасында созылып жатыр. Оның аумағы құрғақ дала белдеуімен сипатталып, кең ауқымды жазықтар, төбелі-жонды аймақтар және әркелкі тілімденген қыраттар жүйесінен тұрады. Жер бедері геологиялық негізге, климаттық жағдайларға және денудациялық процестерге байланысты ұзақ уақыт бойы қалыптасқан табиғи морфологиялық құрылымды көрсетеді.



2.17 - сурет – Арқалық қаласының ғарыштық суреті

Аудандағы абсолюттік биіктіктер 260–420 метр аралығында ауытқиды. Солтүстік пен солтүстік-батыс бөліктері біршама тегіс, жазық бедерімен ерекшеленсе, орталық және оңтүстік бағытта рельеф күрделене түсіп, төбелі және жонды құрылымдар жиілейді. Жырлар мен сайлардың әркелкі таралуы, бедердің биіктік айырмашылығы және беткейлердің бағытталуы рельефтің динамикалық дамуын көрсетеді. Бұл аумақтың морфологиясы Торғай үстіртінің табиғи тілімдену дәрежесіне сай келеді, сол себепті аудан

рельефі геоморфологиялық тұрғыдан әртүрлі элементтердің үйлесімді қатар орналасуымен сипатталады.

Арқалық ауданының геологиялық құрылымы неоген-палеоген жыныстарынан, сазды, құмтасты, әктасты қабаттардан және борпылдақ шөгінділерден тұрады. Геологиялық негіздің әркелкілігі бедердің формаларына тікелей әсер етеді: борпылдақ жыныстар басым аймақтарда жазықтық пен жайпақ төбелер қалыптасса, қатты жыныстар таралған оңтүстік-шығыс бөліктерінде қыраттар мен тілімдену күшті байқалады. Аудандағы боксит кен орындарының болуы геологиялық құрылымның ерекшелігін көрсетеді және бедердің биік учаскелерінің қалыптасуына ықпал етеді.

Аудан климаты континенттік, қысы суық әрі ұзақ, жазы ыстық және құрғақ. Қаңтардағы орташа температура -18°C шамасында болса, шілдеде $+22\dots+25^{\circ}\text{C}$ -қа дейін көтеріледі. Жылдық жауын-шашын мөлшері 250–300 мм аралығында ғана, бұл табиғи ортада ылғал тапшылығының басым екенін дәлелдейді. Атмосфералық жауын-шашынның аздығы, буланудың жоғары деңгейі және желдің басым бағыттары рельефтің денудациялық өзгерістеріне және топырақ эрозиясының қарқындылығына әсер етеді. Климаттық факторлардың мұндай сипаты беткейлердің тілімденуін, жыралардың тереңдеуін және бедердің ұзақ мерзімді трансформациясын анықтайды.

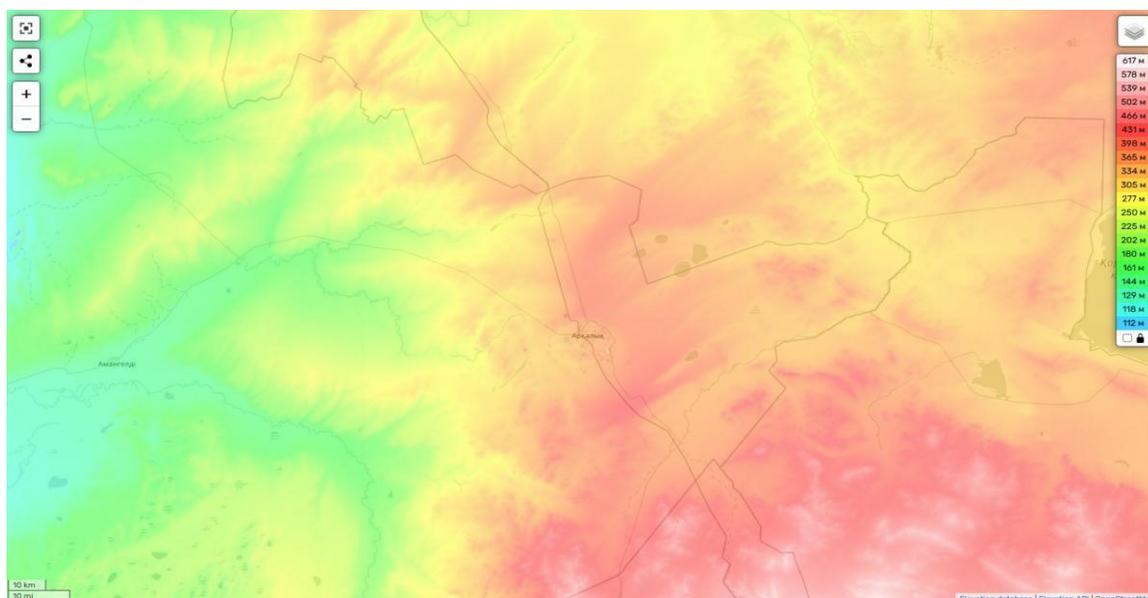
Арқалық ауданында гидрографиялық желі әлсіз дамыған. Тұрақты ағынды өзендер жоқ; негізінен қар суымен толатын маусымдық ағын арналары, уақытша жыралар мен сайлар кездеседі. Бұл гидрологиялық ерекшелік рельефтің морфометриялық параметрлерін талдауда маңызды рөл атқарады, себебі су ағу бағыттары мен су жинақталатын ойпаттар бедердің биіктік құрылымымен тікелей байланысты. Ылғалдың аз мөлшері көлдердің де маусымдық сипатын анықтайды: көптеген су айдындары көктемде толып, жазда кеуіп қалады.

Топырақ жамылғысы құрғақ дала белдеуіне тән қоңыр және ашық қоңыр топырақтардан тұрады. Өсімдік жамылғысы жусанды-бетегелі қауымдастықтан құралған. Топырақ пен өсімдік сипаты рельефтің морфологиялық құрылымымен өзара байланысты: тілімденуі күшті аймақтарда топырақ эрозиясы жиі байқалады, ал тегіс жазықтарда шөгінді түзілуі басым.

Арқалық ауданының физикалық-географиялық жағдайлары рельефтің күрделі морфологиялық ұйымдасуын көрсетеді. Жазықтықтар, төбелі аймақтар және биік қыраттар жүйесінің кеңістіктік таралуы аудан рельефінің әркелкі табиғи құрылымын қалыптастырады. Осы ерекшеліктер цифрлық рельеф моделін құру, морфометриялық талдау жүргізу және геоақпараттық картографиялау арқылы рельефтің қасиеттерін терең зерттеуге ғылыми негіз болады.

2.2 Арқалық ауданы рельефінің жалпы морфологиялық сипаттамасы

Арқалық ауданының рельефтік құрылымы Торғай үстіртінің табиғи морфологиялық ерекшеліктерімен тығыз байланысты және аудан аумағындағы геодинамикалық, денудациялық және климаттық процестердің ұзақ мерзімді әсерімен қалыптасқан. Аудан бедері кең ауқымды жазықтықтардан бастап төбелі-жонды аймақтарға және биік қыраттарға дейінгі әртүрлі морфологиялық элементтердің үйлесуімен сипатталады. Рельефтің мұндай алуан түрлілігі жер бедерінің жалпы құрылымын, оның зоналық бөлінуін және биіктік градиентін талдауды қажет етеді. Сондықтан рельефтің морфологиялық ерекшеліктерін анықтауда кеңістіктік деректерге негізделген цифрлық биіктік моделін талдау ең тиімді әдістердің бірі болып саналады.



2.18 - сурет – Арқалық ауданының биіктік картасы

Арқалық ауданының морфологиясын бағалау үшін пайдаланылған биіктік картасы (18-сурет) жер бедерінің кеңістіктік-биіктік ұйымдасуын толыққанды бейнелейді. Осы карта материалдары аудан аумағындағы биіктік мәндерінің 112–617 метр аралығында өзгеретінін көрсетеді. Биіктік шкаласы түстік градиент арқылы беріліп, рельефтің зоналық сипатын айқын көрсетеді: төменгі деңгейлер көк және жасыл реңктермен, орташа биіктіктер сары-тот басқан реңктермен, ал ең биік аймақтар қызыл және қызғылт түстермен белгіленген. Мұндай түстік дифференциация рельефтің морфологиялық құрылымын кеңістікте нақты көрсетуге мүмкіндік береді.

Картаның солтүстік-батыс бөлігі абсолюттік биіктігі ең төмен аймақ ретінде ерекшеленеді. Мұнда 112–180 метр аралығындағы біркелкі жазық бедер байқалып, тілімдену дәрежесі өте төмен. Бұл аймақтың қалыптасуы ұзақ мерзімдік денудациялық процестердің, жел әрекетінің және аккумулятивті сипаттағы геологиялық түзілулердің нәтижесі болып табылады. Мұндай жазықтықтарда бедердің тегістігі мен еңістің әлсіздігі гидрологиялық ағындардың баяу жүруіне әсер етіп, уақытша су жиналатын ойпаттардың қалыптасуына жағдай туғызады. Рельефтің морфологиялық құрылымы қазіргі антропогендік факторлардың әсерінен де өзгеріске ұшыраған. Жалпы алғанда, Арқалық ауданының рельефі жайпақ, әлсіз тілімделген, денудациялық-аккумулятивтік типке жатады және сандық рельеф моделін (DEM) құру үшін қолайлы морфологиялық құрылымға ие. Рельеф пішіндерінің салыстырмалы біртектілігі цифрландыру процесінде интерполяциялық әдістердің жоғары дәлдікпен қолданылуына мүмкіндік береді.

Кесте-2.2 – Арқалық ауданы рельефінің биіктік зоналары және олардың морфологиялық сипаттамасы

Биіктік диапазоны, м	Картадағы түсі	Морфологиялық типі	Сипаттамасы
112–150	Көк, көкшіл	Төменгі аккумулятивті жазық	Тегіс, тілімденуі әлсіз, уақытша су жиналу аймақтары болуы мүмкін.
150–180	Жасыл	Жайпақ жазық	Жер бедері біркелкі, еңісі төмен, гидрологиялық ағым баяу.
180–220	Сары-жасыл	Толқынды жазық	Төбешіктер қалыптаса бастаған, суайрық желілері байқалады.
220–280	Сары	Төбелі-жонды рельеф	Жыралар мен сайлар жүйесі қалыптасқан, бедердің толқынды сипаты анық.
280–350	Қызғылт-сары	Орташа биік жондар	Беткейлер анық көрінеді, тілімдену жоғары, су ағындары айқын.
350–450	Қызғылт	Биік қыратты аумақ	Жыралардың тереңдігі жоғары, морфологиялық контрастілік күшейген.
450–617	Қызыл, қою қызыл	Ең биік және күрделі бедер	Эрозиялық тілімденуі күшті, қыраттар мен жондар басым, бедер контрастылығы ең жоғары аймақ.

Ауданның орталық бөлігінде биіктік деңгейі біртіндеп 180–260 метрге дейін өсіп, рельеф күрделілене бастайды. Бұл аумақта төбелі-жонды бедер қалыптасқан: беткейлердің еңісі айқындалып, жер бедері толқынды түседі. Жыралар мен сайлардың пайда болуы және суайрықтардың айқындалуы осы белдеудің морфологиялық құрылымы мен геодинамикалық процестердің 2-кестеде келтірілген мәліметтер бойынша қарқындылығын сипаттайды. Орталық аймақтың бедері ауданның табиғи геожүйесін анықтайтын негізгі морфологиялық қаңқа ретінде әрекет етеді.

Ауданның оңтүстік және оңтүстік-шығыс бөліктерінде бедердің ең биік және ең күрделі формалары орналасқан. Мұнда абсолюттік биіктіктер 300–450 метрден жоғары деңгейге дейін жетіп, картада қызыл және қызғылт реңктермен белгіленген. Бұл аумақ күшті тілімденген, жыралар мен сайлар жүйесі тығыз, беткейлердің бағыты әркелкі, ал эрозиялық процестердің қарқындылығы жоғары. Мұндай рельеф Торғай үстіртінің қатты жыныстардан тұратын биік фрагменттерінің әсерімен қалыптасқан, геологиялық негіздің беріктігі мен денудациялық әрекеттердің қарқындылығымен түсіндіріледі.

Картаға сүйене отырып, аудан рельефінің айқын асимметрияға ие екені анық байқалады: төменгі жазықтықтар батыс пен солтүстік-батысқа, ал биік қыраттар мен тілімденген жондар оңтүстік-шығысқа қарай шоғырланған. Бұл асимметрия табиғи бедердің қалыптасуындағы геологиялық құрылымдардың ролін және эрозиялық процестердің бағыттылығын көрсетеді. Биіктік айырмашылықтары су ағымдарының бағыттарын, жыралардың дамуын және бедердің морфологиялық динамикасын алдын ала болжауға мүмкіндік береді.

Жалпы алғанда, биіктік картасына жасалған талдау Арқалық ауданы рельефінің күрделі морфологиялық құрылымға ие екенін дәлелдейді. Жазық, төбелі және тілімденген аймақтардың кеңістіктік орналасуы рельефтің генезисін және табиғи процестердің өзгермелілігін көрсетеді. Бұл карта ауданның морфометриялық сипаттамаларын есептеу, еңіс пен экспозиция карталарын құру, гидрологиялық модельдерді әзірлеу сияқты 3-тарауда орындалатын зерттеулер үшін маңызды бастапқы база болып табылады.

2.3 Цифрлық рельеф моделін құруға арналған негізгі дереккөздер

Цифрлық рельеф моделін құруда пайдаланылатын бастапқы деректер рельефтің кеңістіктік сипаттамаларын дәл бейнелеу үшін шешуші рөл атқарады. Дереккөздердің көптүрлілігі олардың алыну әдістерімен, кеңістіктік ажыратымдылығымен және ақпараттық мазмұнымен ерекшеленеді. Сондықтан ЦРМ қалыптастыру барысында рельеф туралы мәлімет беретін

барлық негізгі дереккөздер кешенді түрде қарастырылып, олардың ғылыми және техникалық мүмкіндіктері ескерілуі қажет.

Рельеф туралы ақпаратты алу әдістерін жалпы түрде аналитикалық және синтетикалық тәсілдерге бөлуге болады. Аналитикалық тәсілдер табиғи ортаны тікелей бақылау мен өлшеулерге негізделеді: геодезиялық аспаптық түсірілімдер, стереофотограмметриялық өлшеулер, спутниктік навигация жүйелерінің деректері және қашықтықтан зондтау материалдарының интерпретациясы. Бұл әдістер нақты дәлдікке ие, бірақ әдетте салыстырмалы түрде шектеулі аумақтарды қамтиды. Синтетикалық тәсілдер бірнеше ақпарат түрлерін біріктіріп, оларды сандық өңдеу арқылы рельефтің үздіксіз моделін қалыптастыруға бағытталады. Топографиялық карталардың горизонтальдарын цифрлау синтетикалық әдістің классикалық үлгісі.

Топографиялық карталарды цифрлау ең қолжетімді дереккөз болып қала береді, өйткені олар рельефтің жалпы құрылымын сипаттайтын негізгі морфологиялық элементтерді қамтиды. Горизонтальдарды векторлау және интерполяциялау нәтижесінде рельефтің үздіксіз беті қалпына келтіріледі. Алайда мұндай деректердің дәлдігі карта масштабына, картографиялық генерализация дәрежесіне және бастапқы топографиялық түсірілім сапасына тәуелді. Сондықтан бұл әдіс ұсақ пішінді бедер элементтерін бейнелеуде шектеулі.

Геодезиялық-аспаптық түсірілімдер ЦРМ үшін ең жоғары дәлдікті қамтамасыз етеді. Электронды тахеометрлер, нивелирлеу құралдары, лазерлік өлшеуіштер және дифференциалдық GPS қабылдағыштары миллиметрлік және сантиметрлік деңгейде биіктік мәндерін алуға мүмкіндік береді. Мұндай деректер, әдетте, аумағы шағын, инженерлік міндеттер қойылған аймақтарда пайдаланылады. Рельефті дәл сипаттауға мүмкіндік беретініне қарамастан, олардың негізгі шектеуі түсірілімнің уақыт пен еңбек шығындарының көптігі.

Қашықтықтан зондтау (ДЗЗ) материалдары қазіргі уақытта ЦРМ жасау үшін ең маңызды дереккөздердің бірі саналады. Пассивті оптикалық жүйелер жер бетін көрінетін және инфрақызыл диапазондарда түсіру арқылы жоғары ажыратымдылықтағы бейнелер береді, дегенмен бұл технология атмосфералық жағдайларға тәуелді. Соңғы жылдары кеңістіктік рұқсаты жоғары коммерциялық спутниктер (WorldView, GeoEye, Pleiades) деректерді 0,5–1 метрге дейінгі нақтылықпен алуға мүмкіндік береді, бұл рельефтің ұсақ элементтерін анық көрсетуге жағдай жасайды.

Активті ДЗЗ жүйелері радиолокациялық станциялар (RADARSAT-1, RADARSAT-2, TerraSAR-X, ALOS PALSAR), лазерлік сканерлеу (LiDAR) және радиолокациялық интерферометрия (InSAR) ауа райына тәуелсіз жұмыс істейді және тәулік ішінде үздіксіз деректер алуға мүмкіндік береді. RadarSat және TerraSAR-X материалдары бұлттылық пен жарықтандыруға тәуелсіз жұмыс істейтіндіктен, шөлді, орманды және күрделі бедерлі

аумақтарда жоғары нәтиже береді. InSAR технологиясы екі радар суретінің фазалық айырмасын талдау арқылы биіктікті анықтайды және қазіргі уақытта жаһандық биіктік модельдерін қалыптастыруда кеңінен қолданылады. Оның ең белгілі өнімі SRTM моделі, кеңістіктік ажыратымдылығы 30–90 м.

ЦРМ құруда қолданылатын дереккөздер жүйесі күрделі әрі көпкомпонентті құрылымнан тұрады. Рельефтің цифрлық моделін құруда қолданылатын негізгі дереккөздер мен олардың сипаттамалары **2-кестеде** көрсетілген.

Кесте-2.3–Рельефтің цифрлық моделін құруға арналған негізгі дереккөздер және олардың сипаттамалары

Дереккөз	Ажыратымдылық	Артықшылықтары	Шектеулері
Топографиялық карталар	Масштабқа тәуелді	Деректер ескі, генерализация көп	Базалық ЦРМ, жалпы рельеф талдауы
Геодезиялық өлшеулер	1–10 см	Өте дәл, нақты биіктік	Қымбат, баяу, аумақ шектеулі
Фотограмметрия (әуе/спутник)	0,5–5 м	3D модель, рельеф формалары айқын	Бұлттылық әсер етеді
ASTER GDEM	30 м	Жаһандық қамту, тегін, стереодерек	Өсімдік жамылғысынан қателік
SRTM	30–90 м	Ауа райына тәуелсіз, тұрақты	Ұсақ пішіндер көрсетілмейді
RADARSAT, TerraSAR-X, ALOS PALSAR	3–25 м	Бұлтқа тәуелсіз, тәулік бойы жұмыс	Интерпретация күрделі
InSAR	5–30 м	Жоғары дәлдік, үлкен аумақ	Декорреляция, вегетация әсері
LiDAR	0,1–1 м	Ең жоғары нақтылық, орман астын көреді	Қымбат, үлкен деректер көлемі

Әр дереккөз өзінің артықшылықтары мен кемшіліктеріне ие және зерттеу міндетіне байланысты таңдалады. Топографиялық карталар рельефтің жалпы бейнесін берсе, геодезиялық өлшеулер жоғары нақтылықты, ал ДЗЗ технологиялары кең аумақты жедел қамтуды қамтамасыз етеді. Сол себепті заманауи ЦРМ көбіне бірнеше дереккөздерді үйлестіру арқылы жасалады және бұл тәсіл рельефтің сандық моделін барынша шынайы түрде алуға мүмкіндік береді.

Лазерлік сканерлеу (LiDAR) рельефті субдекаметрлік дәлдікпен өлшей алатын ең заманауи технологиялардың бірі болып табылады. Лидар жүйелері лазерлік импульстар көмегімен нүктелік бұлт (point cloud) қалыптастырып, жер бетін миллиметрлік деңгейде қайта модельдеуге мүмкіндік береді. Ерекше артықшылығы өсімдік жамылғысының астындағы жер бетін де анықтай алуы.

Қазіргі геоақпараттық тәжірибеде әртүрлі дереккөздерді біріктіріп қолдану кең таралған. Лидар деректерінің дәлдігі радарлық түсірілімдердің кең аумақты қамтуымен толықтырылады, ал оптикалық суреттер морфологиялық элементтердің жалпы құрылымын анықтауға мүмкіндік береді. Түрлі деректердің интеграциясы рельеф туралы жан-жақты және нақтыланған ақпарат қалыптастыруға жағдай жасайды.

2-ші тарау бойыншы тұжырымдама

Екінші тарауда Арқалық ауданының табиғи-географиялық жағдайлары кешенді түрде қарастырылып, аймақтың рельефінің қалыптасуына әсер ететін негізгі факторлар жан-жақты талданды. Географиялық орны, климаты, геологиялық құрылымы, гидрографиясы және топырақ-жер ресурстарының сипаттамалары аудан рельефінің морфологиялық құрылымымен тығыз байланысты екені анықталды. Аумақтың геологиялық-литологиялық қабаттары мен ұзақ мерзімді геодинамикалық процестер рельефтің негізін қалыптастырса, климаттық жағдайлар мен экзогенді процестер оның қазіргі бедерін қалыптастыруда жетекші рөл атқаратыны көрсетілді.

Рельефтің морфологиялық ерекшеліктері жонды жазықтар, жеңіл толқынды бедер, жыра-жықпыл жүйелерінің кең таралуы жер бедерінің қалыптасу тарихы мен табиғи процестердің әсерін айқын сипаттайды. Аудан аумағында биіктік айырмашылықтары салыстырмалы түрде үлкен емес болғанымен, олардың кеңістіктік таралуы біркелкі емес және морфометриялық көрсеткіштер бойынша айтарлықтай әртүрлілік байқалады. Бұл өз кезегінде бедердің морфологиялық күрделілігін және экзогендік процестердің белсенділігін білдіреді.

Тарау барысында жасалған топографиялық және морфологиялық талдау рельеф құрылымының табиғи факторлармен тығыз байланыста екенін дәлелдеді. Суайрықтардың бағыты, сай-жыра жүйелерінің таралуы, беткейлердің еңістік градиенттері барлығы да жер бедерінің экзогендік процестер әсерінен қалыптасқан динамикалық табиғатын көрсетеді. Аудан бедерінің морфологиялық құрылымы климаттық факторлармен, бедердің эрозиялық тілімдену дәрежесімен және геоморфологиялық даму кезеңдерімен тығыз байланысты екені анықталды.

3. Деректер жинағы және рельефті цифрландыру

3.1 Зерттеу нәтижелерін ұсыну мен талдаудың жалпы ғылыми негіздемесі

Бұл тарау Арқалық ауданы рельефін цифрлық форматта модельдеу нәтижелерін жүйелі түрде қарастыруға және оларды ғылыми тұрғыдан интерпретациялауға арналған. Алдыңғы тарауларда рельефті зерттеудің теориялық алғышарттары мен цифрландыру әдістерінің әдіснамалық принциптері ашылған болатын. Ал осы тараудың міндеті сол әдістердің практикалық қолданылуы нәтижесінде алынған сандық деректерді талдау, олардың мазмұндық ерекшеліктерін айқындау және рельефтің кеңістіктік құрылымын сандық деңгейде сипаттау.

Цифрлық рельеф моделін құру тек картографиялық материалды сандық форматқа көшіру әрекеті емес, ол бедердің ішкі құрылымын дәл сипаттайтын кеңістіктік ақпарат жасаудың тиімді ғылыми тәсілі. Осы тұрғыдан алғанда, алынған модельдер рельефтің морфологиялық элементтерін, биіктік айырмашылықтарының таралуын, беткейлердің бағыттары мен еңістігін, жыра-жықпыл жүйелерінің құрылымын анықтауға мүмкіндік беретін кешенді ақпарат көзі болып табылады. Осы тарауда нәтижелердің мазмұндық маңызы ашылып, олардың табиғи-географиялық заңдылықтарды сипаттаудағы орны айқындалады.

Рельефтің цифрлық бейнесін талдау диссертациялық жұмыстың құрылымындағы шешуші кезеңдердің бірі болып саналады. Бұл тарауда алынған модельдерге тек техникалық өнім ретінде емес, табиғи ортаның кеңістіктік ұйымдасуын бейнелейтін деректер жиынтығы ретінде қарастырылады. Сондықтан негізгі назар рельефтің сандық сипаттамаларының табиғи мәнін түсіндіруге, олардың аймақтық ерекшеліктерді зерттеудегі рөліне және бедер пішіндерінің кеңістіктік логикасын ашуға бағытталады.

Зерттеу нәтижелерін ғылыми интерпретациялау бірнеше аспектіні қамтиды. Біріншіден, цифрлық модельдер рельефтің биіктік құрылымын айқындауға мүмкіндік береді, бұл аумақтағы гипсометриялық айырмашылықтарды бағалауда маңызды. Екіншіден, сандық модель рельефтің морфометриялық параметрлерін анықтауға жағдай жасайды, мысалы беткейдің еңістік дәрежесі, беткей экспозициясы, абсолюттік және салыстырмалы биіктіктердің таралуы. Бұл көрсеткіштер табиғи процестердің динамикасын түсіну үшін маңызды ғылыми база қалыптастырады. Үшіншіден, цифрлық модель рельефтің құрылымдық ерекшеліктерін визуализациялауға мүмкіндік беріп, бедердің геоморфологиялық элементтерін кеңістікте түсінуді жеңілдетеді.

Сонымен қатар, алынған деректер әртүрлі ақпарат көздерінің сәйкестігін бағалауға мүмкіндік береді. Рельефті цифрлық зерттеуде бірнеше

дереккөзді (топографиялық карта, спутниктік деректер және т.б.) пайдалану олардың арасындағы айырмашылықтарды талдауды және рельефтің қайнар көздер бойынша көрінісінің ерекшеліктерін анықтауды талап етеді. Бұл ғылыми маңызды, себебі цифрлық модельдің сапасы мен дәлдігі бастапқы деректердің ерекшеліктеріне тікелей байланысты.

Үшінші тарау нәтижелерді кешенді түрде талдауға бағытталғандықтан, мұнда рельефтің жалпы морфологиялық құрылымы, биіктік динамикасы, бедер элементтерінің кеңістікте ұйымдасуы және геоморфологиялық заңдылықтары жүйеленіп көрсетіледі. Сандық модельдер рельеф пішіндерінің таралуын анықтауға, олардың бағытын, даму логикасын, морфогенетикалық мәнін түсіндіруге мүмкіндік береді. Осылайша, бұл тарау зерттелетін аумақтың физикалық-географиялық бейнесін нақты деректер негізінде ашуға бағытталған.

Сонымен бірге тараудың мазмұны рельефтің сандық моделін ғылыми қолданудың маңызын көрсетеді. Алынған деректер топографиялық ерекшеліктерді ғана емес, табиғи процестердің кеңістіктік ұйымдасуын бағалауға да мүмкіндік береді. Бұл әсіресе аймақтық мониторинг, ландшафттық талдау, табиғи қауіптерді бағалау және аумақты жоспарлау сияқты қолданбалы міндеттерді шешуде маңызды.

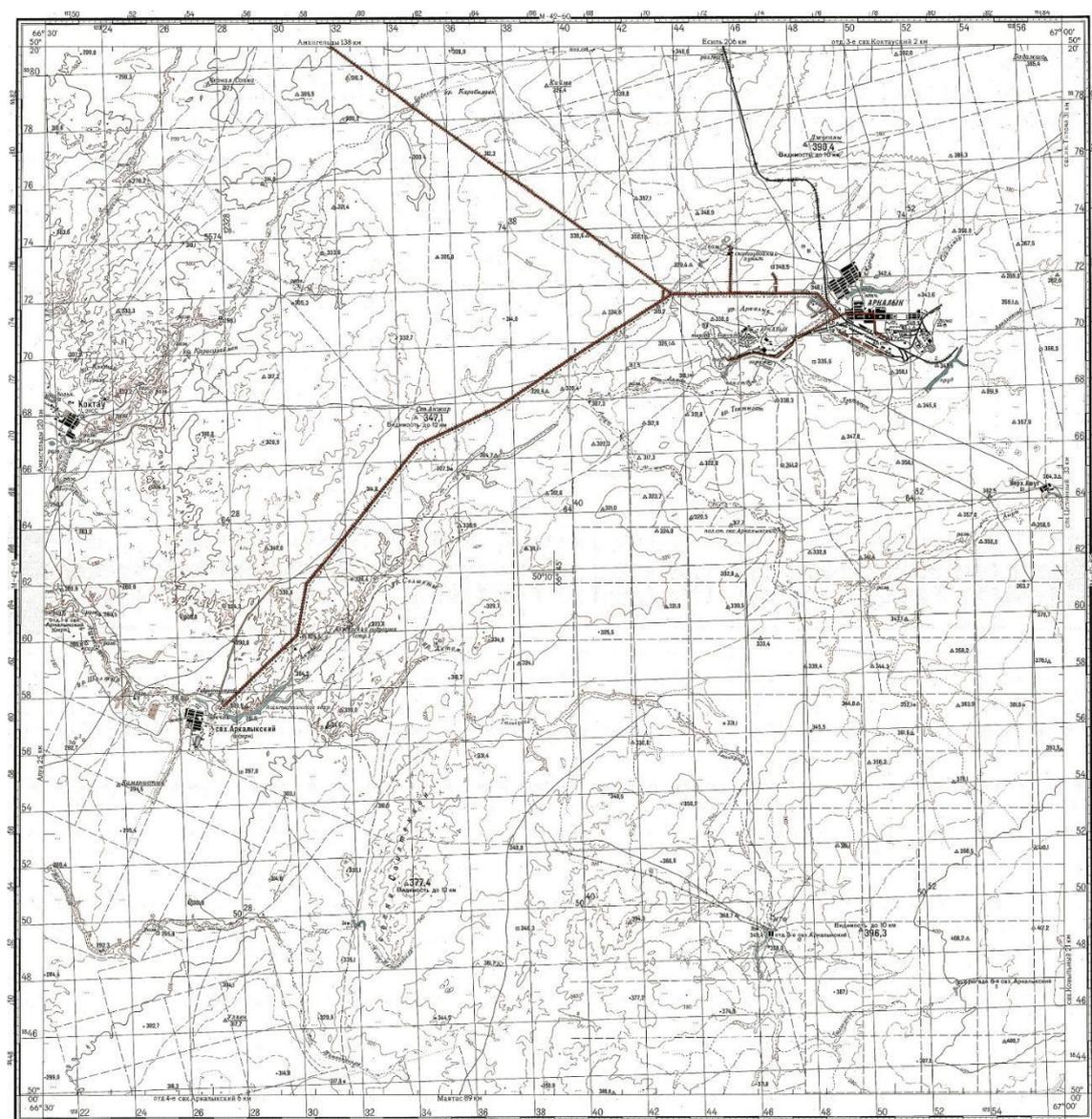
Осы тарауда ұсынылатын материалдар цифрлық модельдің ғылыми тұрғыдан қаншалықты ақпараттық және функционалдық екенін көрсетіп, Арқалық ауданы рельефінің құрылымына объективті баға беруге мүмкіндік жасайды. Бұл тарау жұмыстың практикалық бөлігін құрай отырып, алынған нәтижелерге сүйенген морфологиялық және кеңістіктік талдауларды қамтиды

3.2 Топографиялық карта негізінде цифрлық рельеф моделін құру

Арқалық ауданының рельефін цифрлық форматқа көшіру барысында бастапқы әрі негізгі дереккөзі ретінде 1:100 000 масштабтағы топографиялық карта пайдаланылды. Бұл масштаб аумақты жалпы геоморфологиялық тұрғыдан зерттеу үшін оңтайлы болып есептеледі, өйткені ол кеңістіктік нақтылық пен ақпараттық толықтық арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді. Картаның графикалық негізінде берілген горизонтальдардың жиілігі, олардың интервалы, биіктік белгілерінің дәлдігі және қосымша геоморфологиялық элементтердің көрінісі рельефтің морфологиялық құрылымын сандық түрде қайта жаңғыртуда шешуші рөл атқарады.

1:100 000 масштабтағы картаның артықшылығы рельефтің ірі емес, бірақ аймақтық деңгейдегі ерекшеліктерін жан-жақты көрсетуі. Аудан аумағында жазық, әлсіз толқынды және эрозиялық тілімденген учаскелердің

үйлесуі картада анық ажыратылуы және горизонтальдар арқылы нақты бейнеленуі ЦРМ жасауда маңызды бастапқы база қалыптастырады. Бұл карта рельефтің 3.19-суретте көрсетілгендей макро және мезомасштаптағы элементтерін толық қамтып, бедердің жалпы сипатын жоғалтпай цифрлық форматқа дәл көшіруге мүмкіндік береді. Цифрланған векторлық деректер міндетті түрде топологиялық тексеруден өткізілді. Бұл кезеңде өзара қиылысу, үзілу, қабаттасу және жалған сегменттер сияқты қателер анықталып, жойылды. Горизонтальдардың атрибуттық кестесіне олардың абсолюттік биіктік мәндері, сызық түрі (негізгі немесе қосымша) және кеңістіктік идентификаторлар енгізілді. Атрибуттық деректердің дұрыстығы ЦРМ сапасына тікелей әсер ететіндіктен, бұл кезең ерекше бақылаумен жүргізілді.



3.19 - сурет–Арқалық ауданы рельефін цифрландыруға арналған бастапқы топографиялық материал

Топографиялық карта тек биіктік сызықтары мен абсолюттік белгілер жүйесін ғана емес, сонымен бірге суайрықтар, сай-жыралар жүйесі, өзен арналары, қыраттар мен жондардың бағыттылығы сияқты рельефтің құрылымдық элементтерін де береді. Осындай ақпарат цифрлық модель құру кезінде интерполяцияның сапасын арттырып, бедердің табиғи заңдылықтарын сақтау үшін қажет. Сондықтан цифрлық рельеф моделін құруда мұндай картографиялық материал бастапқы референстік дереккөзі ретінде барынша құндылыққа ие.

Картаны цифрлау, геотіркеу және оны сандық өңдеуден өткізу жұмыстары бірізді әдістемелік схема бойынша орындалды. Алдымен картаның растрлық нұсқасы жоғары ажыратымдылықта сканерленіп, геометриялық бұрмаланулар түзетілді. Бұл кезең бастапқы деректің дәлдігін қамтамасыз ету үшін міндетті. Кейіннен растрдағы горизонтальдар мен биіктік белгілері арнайы бағдарламалық ортада векторлық форматқа көшірілді, атрибуттар жүйесі қалыптастырылды және топология қателері түзетілді. Осы процестердің барлығы сандық модельдің құрылымдық дұрыстығын қамтамасыз етуге бағытталған.

Топографиялық картаның сапасы мен картографиялық деректердің мазмұндық нақтылығы сандық модельдің сапасына тікелей әсер ететіндіктен, өңдеу жұмыстарының әрбір кезеңінде геодезиялық және картографиялық талаптар сақталды. Горизонтальдардың дәлдігі, олардың контурлық пішіндерінің бұрмаланбауы, биіктік мәндерінің дұрыс сәйкестендірілуі толық әрі сенімді ЦРМ қалыптастырудың негізгі шарттары.

1:100 000 масштабтағы топографиялық картаны пайдалану Арқалық ауданы рельефінің цифрлық моделін құруға берік ақпараттық база қалыптастырып, сандық өңдеудің әрі қарайғы кезеңдерінің сапалы орындалуына негіз болды. Карта деректерін векторлау және өңдеу арқылы рельефтің морфологиялық құрылымын табиғи күйге барынша жақын деңгейде қайта құру мүмкін болды.

3.2.1 Топографиялық картаны сандық өңдеуге дайындау

Зерттеу жұмысы 1:100 000 масштабтағы топографиялық картаны сандық форматқа көшіруден басталды. Топографиялық материал analog түрде ұсынылғандықтан, оны геоақпараттық жүйелерде өңдеу үшін міндетті түрде цифрлық ортада дайындау қажет болды. Осы мақсатта топокарта жоғары дәлдікпен сканерленіп, барлық графикалық элементтердің анық сақталуы қамтамасыз етілді. Сканерлеу процесі **600 dpi ажыратымдылығында** жүргізілді, бұл горизонтальдардың қалыңдығын, биіктік белгілерінің шрифтерін, гидрографиялық желіні және басқа морфологиялық элементтерді жоғалтпай көруге мүмкіндік берді. Алынған скан-көшірме **TIFF немесе JPEG**

форматында сақталды және әрі қарайғы цифрлау жұмыстары үшін Easy Trace бағдарламасына жүктелді.

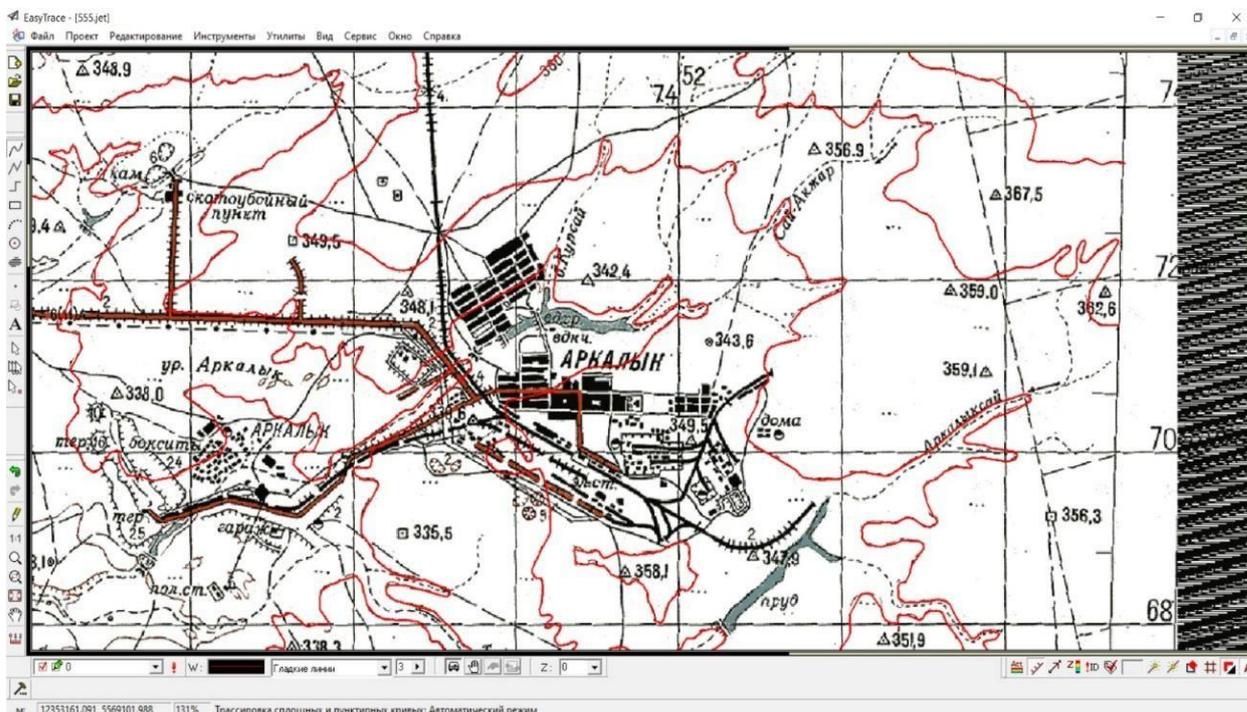
Easy Trace ортасына енгізілген скан-карта цифрлау алдында алдын ала геометриялық тексеруден өтті. Сканерлеу барысында қағаздың жеңіл қисайуы, парақтың бұрыштық ауытқуы, перспектива бұрмалануы немесе масштабтық сәйкессіздік пайда болуы мүмкін. Мұндай деформациялар кейін векторлық деректердің дәлдігіне тікелей әсер ететіндіктен, бағдарламадағы арнайы трансформация құралдарының көмегімен түзетілді. Геометриялық калибрлеу картаның координаталық торындағы қиылысу нүктелерін тірек нүктелері ретінде пайдалану арқылы орындалды. Әрбір репер нүктесі скан-картаның нақты орналасуына сәйкестендіріліп белгіленді, нәтижесінде растрдың кеңістіктік құрылымы қалпына келтірілді.

Түзету нәтижелері картадағы барлық горизонтальдардың, биіктік белгілерінің және шартты белгілердің нақты пропорциясын сақтауға мүмкіндік берді. Бұл операция векторизация кезеңінде қателіктердің жинақталуын азайтып, сандық рельеф моделінің дәлдігіне оң әсер етті. Геометриялық дәлдікті қамтамасыз ету горизонтальдарды векторлық форматқа көшірудің сапасын анықтайтын негізгі факторлардың бірі. Сондықтан бұл кезең зерттеу жұмысының жалпы әдістемесінде маңызды орын алады.

Карта Easy Trace ортасына толық дайын күйінде енгізілгеннен кейін, келесі кезең горизонтальдарды және биіктік нүктелерін цифрлау жұмыстары басталды. Алдыңғы трансформациялық өңдеулердің арқасында горизонтальдар үздіксіз, дәл және топологиялық жағынан дұрыс танылды, бұл рельеф моделін қалыптастырудың сапасына ықпал етті.

3.2.2 Горизонтальдарды және биіктік элементтерін цифрлау

Арқалық ауданының рельефін сандық модельдеу барысында горизонтальдарды цифрлау ЦРМ құру технологиялық тізбегінің шешуші кезеңдерінің бірі болып табылады. Себебі горизонтальдар жер бедерінің пландық және биіктік құрылымын ең толық сипаттайтын негізгі морфометриялық графикалық элементтер болып саналады. Сондықтан олардың векторлық форматқа дәл әрі жоғалтусыз көшуі кейінгі интерполяцияның сапасына тікелей әсер етеді. Жер бедерін цифрландыру процесінде горизонтальдар мен биіктік элементтерін цифрлау геоақпараттық картаға түсірудің негізгі және жауапты кезеңдерінің бірі болып табылады. Бұл процесс жер бетінің морфологиялық ерекшеліктерін дәл бейнелеуге және сандық рельеф моделін (Digital Elevation Model, DEM) қалыптастыруға мүмкіндік береді.



3.20-сурет – Easy Trace бағдарламасында горизонтальдарды цифрлау процесі

Цифрлау процесі 20-суретте келтірілгендей Easy Trace бағдарламасының функционалдық мүмкіндіктерін пайдалана отырып бірзді бірнеше кезеңмен жүзеге асырылды. **1) Автоматты трассалау кезеңі**

Алдымен бағдарламаның интеллектуалды тану модульдері сканерленген топографиялық картадан горизонтальдарды автоматты түрде бөліп алды. Бұл кезеңде:

- растрдағы сызықтардың спектралдық және құрылымдық ерекшеліктері талданды;
- изосызықтардың контурлары жеке объект ретінде анықталды;
- бастапқы векторизация орындалып, сызықтар топологиялық объектілер ретінде қалыптасты.

Автоматты трассалау цифрлаудың бастапқы жүктемесін айтарлықтай жеңілдетіп, сандық қабаттардың жалпы қаңқасын жылдам алуға мүмкіндік берді.

2) Қолмен түзету және топологиялық қателерді өңдеу

Автоматты өңдеудің мүмкіндіктері шектеулі болғандықтан, алынған векторлық сызықтар міндетті түрде қолмен тексерілді және түзетілді. Бұл кезеңнің негізгі міндеттері:

- үзілген сызықтарды жалғау;
- қабаттасқан сегменттерді ажырату;
- сызықтардың логикалық жалғасуын тексеру;
- артық немесе қате танылған фрагменттерді жою;

– сызықтардың шынайы геометриясын сақтау.

Топологиялық тексеру Easy Trace бағдарламасының арнайы құралдары арқылы жүргізілді. «Self-intersections», «Overshoots», «Undershoots», «Dangles» сияқты қателер анықталып, толық түзетілді.

Бұл операциялар ЦРМ сапасына шешуші әсер етеді, себебі горизонтальдардың кез келген геометриялық бұрмалануы интерполяциялық бетте артефактілердің пайда болуына әкелуі мүмкін.

3) Атрибуттық деректерді беру

Горизонтальдардың биіктік мәнін атрибуттық кестеге енгізу — ЦРМ құрудың ең маңызды кезеңдерінің бірі.

Әрбір векторлық горизонтальға:

- абсолюттік биіктігі (мысалы: *140 м, 150 м, 160 м*),
- сызық түрі (негізгі немесе қосымша),
- кеңістіктік идентификатор енгізілді.

Биіктік мәндерінің дұрыстығы арнайы тексерілді, себебі ArcGIS ортасында интерполяция дәл осы атрибуттарға сүйенеді. Қате енгізілген бір ғана биіктік мәні рельеф бетінде көрінетін интерполяциялық бұрмалануға әкелуі мүмкін.

4) Қосымша рельеф элементтерін цифрлау

Рельефтің морфологиялық құрылымын толық қалпына келтіру үшін тек горизонтальдарды цифрлау жеткіліксіз. Сондықтан қосымша элементтер де бөлек қабаттар ретінде сандық форматқа енгізілді:

- жеке биіктік нүктелері;
- шыңдар мен биіктердің абсолюттік мәндері;
- су айрықтары;
- жыралар, сайлар, өзен арналары;
- бедер элементтерінің сызықтық құрылымдары.

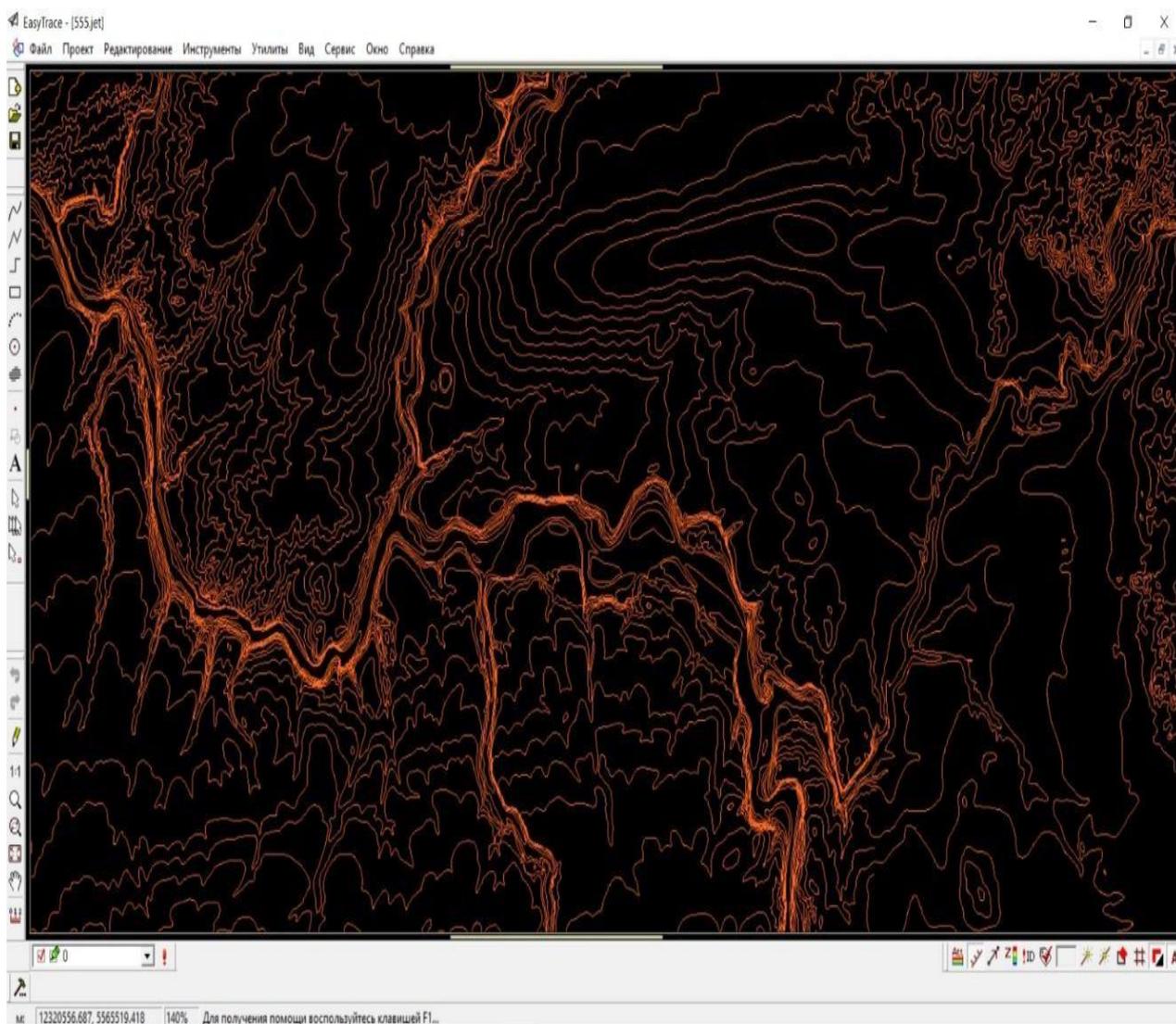
Бұл қосымша қабаттар интерполяция нәтижесін жақсартып, рельефтің геоморфологиялық сипатын дәлірек модельдеуге мүмкіндік береді. Әсіресе суайрық сызықтары мен эрозиялық элементтер рельефтің табиғи дренаж жүйесін дұрыс көрсету үшін маңызды.

5) Векторлық қабаттарды тексеру

Барлық горизонтальдар мен қосымша элементтер цифрланғаннан кейін:

- қабаттардың тұтастығы,
- атрибуттардың дұрыстығы,
- геометриялық сәйкестік,
- сызықтардың арақашықтықтары
- қайта тексерілді.

Тексеріс нәтижесі 21-суретте көрсетілгендей жоғары сапалы, құрылымдық, интерполяцияға дайын векторлық қабаттар жиыны алынды. Векторлық қабаттарды тексерудің негізгі міндеттеріне объектілердің кеңістіктік орналасуының дұрыстығын, геометриялық сәйкестігін және атрибуттық деректердің толықтығын бақылау жатады. Геометриялық тексеру барысында сызықтардың үздіксіздігі, нүктелердің дәл орналасуы, полигондардың тұйықталуы қарастырылады.



3.21 - сурет–Easy Trace бағдарламасында цифрланған горизонталь нәтижесі

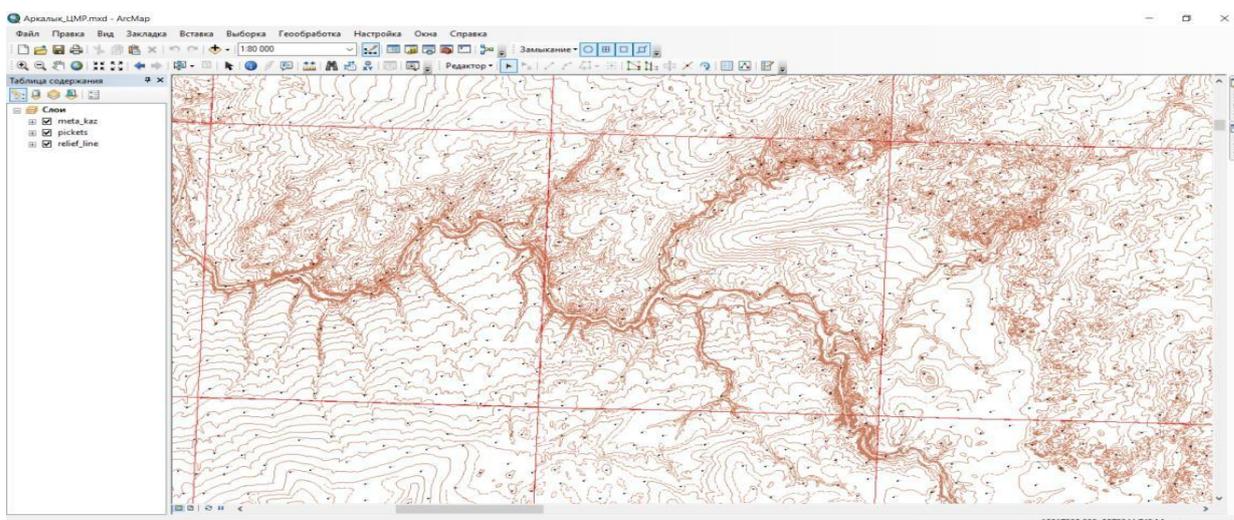
Цифрланған горизонтальдардың атрибуттық кестесіне олардың абсолюттік биіктік мәндері, сызық түрі (негізгі және қосымша горизонтальдар) және кеңістіктік идентификаторлар енгізілді. Биіктік мәндерінің дұрыстығы ерекше бақылауда болды, себебі бір ғана қате мәннің өзі интерполяция нәтижесінде рельеф бетінің бұрмалануына әкелуі мүмкін.

Кесте-3.4–Горизонтальдарды цифрлау кезінде өңделген деректердің құрылымы

Горизонталь түрі	Биіктік қадамы (м)	Сипаттамасы
Қалыңдатылған негізгі горизонталь	25 м	Топографиялық картаның негізгі биіктік сызықтары. Әдетте қалың сызықпен көрсетіледі және биіктік мәні міндетті түрде қолмен жазылады.
Негізгі горизонталь	2,5 м	Қалыңдатылған горизонтальдар арасындағы биіктік интервалын нақтылап көрсететін сызықтар.
Жартылай (қосымша) горизонталь	1,25 м	Ұсақ пішінді тегіс емес жер бедерін көрсету үшін қолданылады. Әдетте жұқа, үзік сызықпен беріледі.

3.2.3 ArcGIS ортасында геотіркеу және векторлық деректерді өңдеу

Easy Trace бағдарламасында цифрланған горизонтальдар, биіктік нүктелері және қосымша морфологиялық элементтер Shapefile (.shp) форматында экспортталып, әрі қарай өңдеу үшін ArcGIS бағдарламалық ортасына импортталды. ArcGIS рельефтік деректерді тек визуалды ғана емес, аналитикалық түрде өңдеуге мүмкіндік беретін кеңістіктік талдаудың кәсіби платформасы болып табылады (22-сурет). Сондықтан бұл кезең Цифрлық Рельеф Моделін (ЦРМ) құру процесінің маңызды технологиялық буындарының бірі болып саналады.



3.22-сурет – ArcGIS ортасына импортталған горизонтальдар қабатының жалпы көрінісі

ArcGIS-та векторлық деректерді өңдеу бірнеше негізгі операциялар арқылы жүзеге асырылды:

1) Координаталық жүйені орнату және түрлендіру

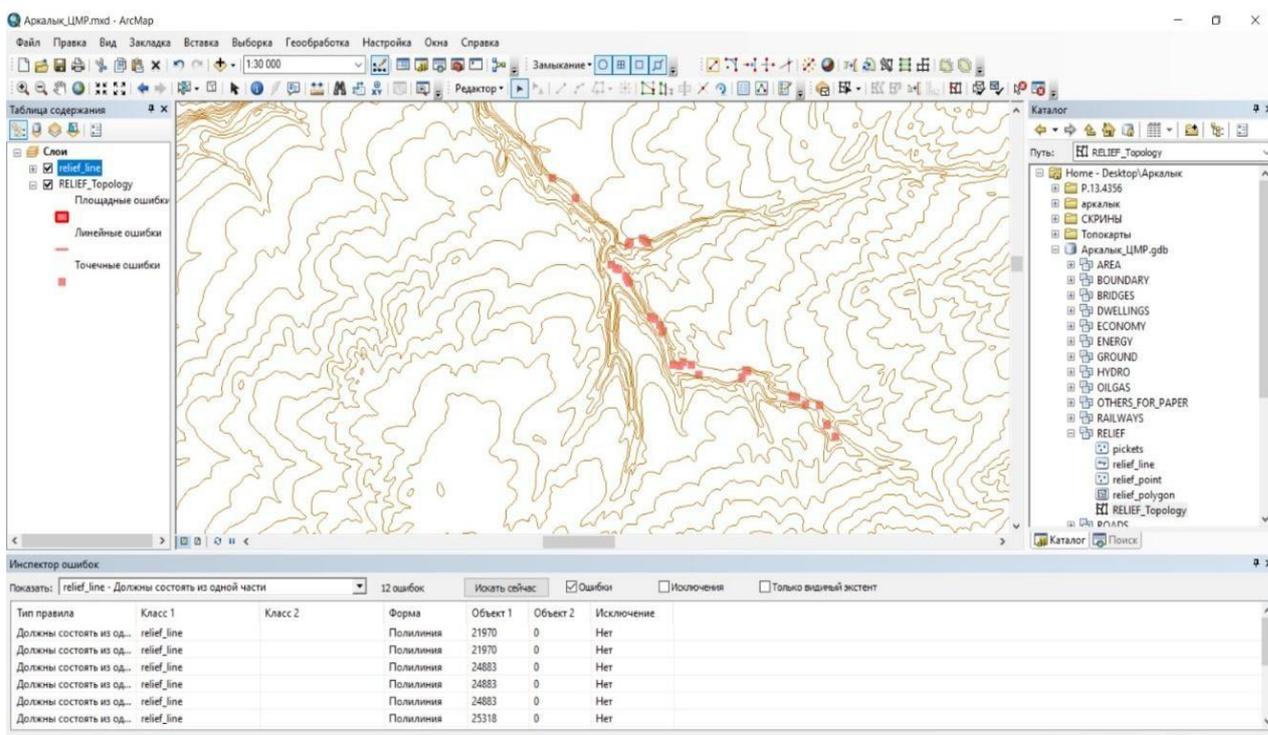
Түпнұсқа топографиялық карта **СК-42** жүйесінде жасалғандықтан, Easy Trace-тен алынған деректер бастапқыда географиялық координаттарсыз болды. Сондықтан ArcGIS-та:

1. **Define Projection** құралы арқылы барлық қабаттарға алдын ала «жүйесі белгісіз» мәртебесі берілді.
2. Содан кейін карта Қазақстан аумағына кең қолданылатын **WGS 84 / UTM Zone 42N** координаталық жүйесіне келтірілді. Бұл әрекеттер:
 - барлық кеңістіктік қабаттардың сәйкестігін қамтамасыз етті;
 - интерполяцияны дұрыс жүргізуге мүмкіндік берді;
 - 3D модель құру кезінде биіктік пен пландық координаталардың үйлесімділігін сақтады.

Координат жүйесін дұрыс орнатпау рельеф моделінде масштабтық бұрмаланулар туғызатыны белгілі, сондықтан бұл кезең ерекше назармен орындалды.

2) Топологиялық қателерді тексеру және түзету

ArcGIS ортасында «Topology Checker» құралдары қолданылып, векторлық қабаттар толық топологиялық тексеруден өткізілді.



3.23-сурет—relief_line қабатындағы сызықтық және нүктелік топологиялық қателерді анықтау

Тексеру барысында сызықтардың үздіксіздігі, қабаттасу жағдайлары, артық түйісу нүктелері, бір объектінің бірнеше бөлікке бөлініп кетуі сияқты қателер анықталып, Inspector терезесі арқылы 23-суретте көрсетілгендей, түзетілді. Бұл кезең вектор деректерінің геометриялық дұрыстығын қамтамасыз етіп, интерполяция сапасына тікелей әсер ететін барлық топологиялық сәйкессіздіктерді жоюға мүмкіндік берді.

Нәтижесінде келесі қателер анықталып, түзетілді:

— **Үзілген сызықтар (undershoots)**

Горизонтальдардың үзілген жерлері «Extend» немесе «Trim» құралдарымен жалғастырылды.

— **Қабаттасқан сызықтар (overlaps)**

Кейбір сызық сегменттері қайталанып шыққан, олар автоматты түрде біріктірілді.

— **Артық түйісу нүктелері (dangles)**

Көптеген сызықтардың соңында орынсыз «жалғыз» нүктелер анықталды, олар жойылды.

— **Геометриялық қиылысулар (self-intersections)**

Горизонталь өзімен-өзі қиылысып кеткен жерлерде геометрия қайта құрылды.

— **Қате атрибуттар**

Биіктік мәндері дұрыс енгізілмеген немесе бос қалған сызықтар қайта тексеріліп, түзетілді.

3) Векторлық қабаттарды финалдық құрылымдық дайындау

Барлық түзетулерден кейін деректер финалдық өңдеуден өтті:

- **Merge** — жеке цифрланған бөліктер бір қабатқа біріктірілді;
- **Smooth Line** — сызықтық объектілердің тегіс моделі құрылды;
- **Dissolve** — бір биіктік мәніне жататын сызықтар біріктіріліп, атрибут кестесі оңтайландырылды;
- **Build Topology** — қабат толық топологиялық жүйеге келтірілді.

3.2.4 Горизонтальдар негізінде растрлық сандық рельеф моделін құру

1:100 000 масштабтағы топографиялық картадан алынған горизонтальдар мен биіктік нүктелері ArcGIS ортасында өңделіп болғаннан кейін, олардың негізінде растрлық сандық рельеф моделін (ЦРМ, DEM) құру міндеті қойылды. Сандық рельеф моделін интерполяциялау үшін **Topo to Raster** алгоритмі қолданылды. Бұл әдіс биіктік сызықтарынан алынған

деректерді өңдеуге арнайы бейімделген және табиғи рельефтің үздіксіз бетін ең табиғи түрде қалпына келтіретін интерполяция түрі болып табылады.

Topo to Raster әдісі гидрологиялық талдауға да тиімді, дегенмен бұл зерттеуде оның басты атқаратын қызметі рельеф вертикалдық құрылымын картадағы горизонтальдарға сәйкес дәл қалпына келтіру болды. Алгоритм горизонтальдардың тығыздығы мен биіктік мәндерінің айырмашылығына сүйене отырып, интервалдар арасындағы биіктіктерді біркелкі үлестіреді және рельефтің негізгі морфологиялық пішіндерін жоғалтпай қайта құрастырады. **Интерполяцияға енгізілген бастапқы қабаттар** Модель құру үшін келесі деректер қолданылды:

- **contour.shp** — биіктік мәндері көрсетілген горизонтальдар;
- **spot_height.shp** — абсолюттік биіктігі белгілі нүктелер;
- **boundary.shp** — зерттелетін аймақтың шекаралық полигоны.

Бұл қабаттар рельеф бетінің бастапқы тірек деректері ретінде пайдаланылды, олардың әрқайсысы интерполяция нәтижесіне жеке әсер етеді. Растрлық сандық рельеф моделін құру ArcGIS бағдарламалық ортасында жүзеге асырылды. Интерполяция үшін **Topo to Raster** алгоритмі қолданылды, себебі бұл әдіс гидрологиялық тұрғыдан дұрыс және табиғи рельеф пішіндерін шынайы қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Алгоритм горизонтальдар арасындағы биіктік айырмашылықтарын біртіндеп таратып, үздіксіз биіктік бетін қалыптастырады.

Кесте-3.5 – Topo to Raster әдісінде қолданылған параметрлер

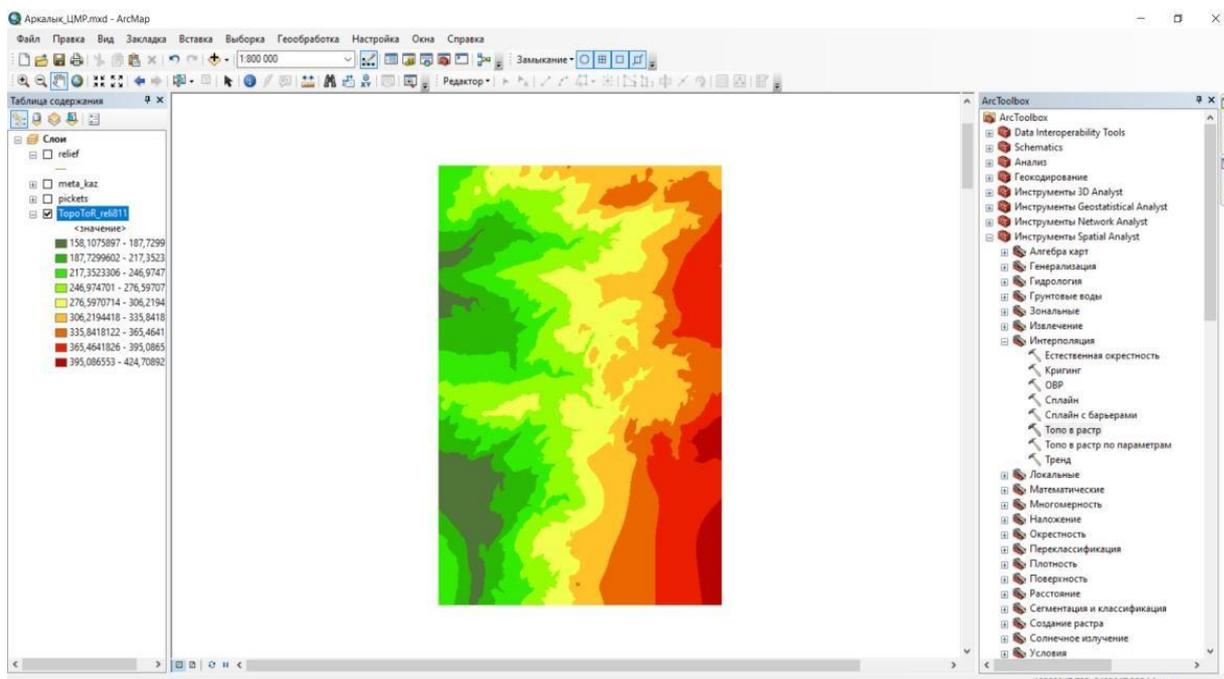
Параметр	Орнатылған мән	Сипаттамасы
Input elevation features	contour.shp	Горизонтальдар негізгі биіктік дерегі ретінде
Input elevation features	10 м	Модель детальділігін қамтамасыз ететін ұяшық өлшемі
Output cell size	Moderate	Биіктік ауысуларын табиғи түрде тегістеу
Iteration cycles	40+	Алгоритмнің жақындасуын, нәтижені тұрақтандыруды қамтамасыз етеді
No sinks option	True	Жасанды локалды ойыстардың алдын алу

10 м ұяшық өлшемін таңдау Арқалық ауданының рельеф морфологиясын дәл көрсетуге мүмкіндік берді. Бұл қадам рельефтің дребезгіш формалары мен беткей ауысуларын нақты шығару үшін оңтайлы болып табылады.

Торо to Raster алгоритмі горизонтальдар арасындағы биіктік мәндерін үздіксіз түрде толықтырып, табиғи рельеф бетін қалыптастырды. Алынған DEM мынадай сипаттамаларға ие болды:

- **Горизонтальдар арасындағы биіктік өзгерістері тегіс және логикалық түрде қалпына келтірілді.**
- **Сай-жыралар, жондар, қыраттар, беткейлер, жазықтар айқын көрінді.**
- **Рельефтің морфологиялық құрылымы бұрмаланусыз сақталды, әсіресе:**
 - биіктік градиенттері,
 - беткейдің бағыттары,
 - жер бедерінің ұсақ және орташа пішіндері.
- **Интерполяция картадағы рельефтің бастапқы көрінісіне толық сәйкес келді.**

Торо to Raster табиғи рельефті қалпына келтірудегі артықшылығын көрсетті: модельде артық «жарылыстар», «сатылар» немесе биіктік бойынша жасанды секірістер байқалмады. Бұл биіктік сызықтарының дұрыс енгізілгенін және интерполяция параметрлерінің сәйкес таңдалғанын көрсетеді.



3.24 - сурет – Торо to Raster алгоритмі бойынша алынған DEM

Алынған сандық рельеф моделі:

- рельефтің морфологиялық элементтерін автоматты анықтауға (беткей экспозициясы, беткей еңістігі, суайрықтар)

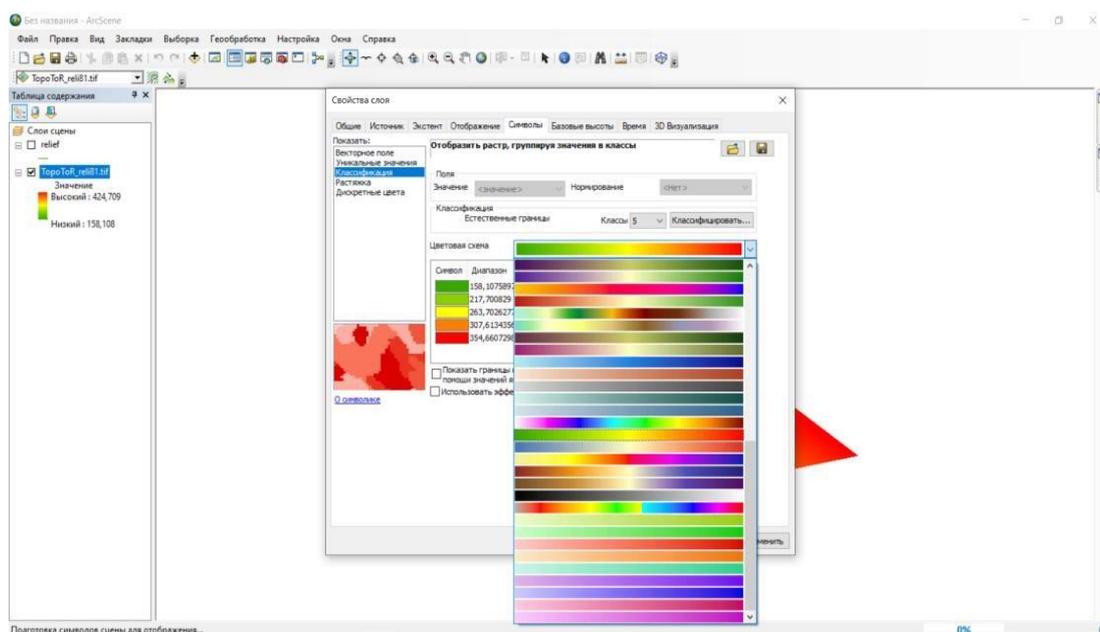
- 3D модельдерді құруға,
- гидрологиялық талдауға,
- ландшафттық жоспарлау міндеттеріне,
- SRTM деректерімен салыстырмалы анализге толық мүмкіндік береді.

DEM-нің нақтылығы цифрланған горизонтальдардың дәлдігіне және олардың атрибуттық мәндерінің дұрыс берілуіне байланысты (24-сурет), сондықтан бұл кезең зерттеу нәтижесінің сапасы үшін шешуші болып табылады.

3.2.5 ArcScene ортасында 3D рельеф моделін құру

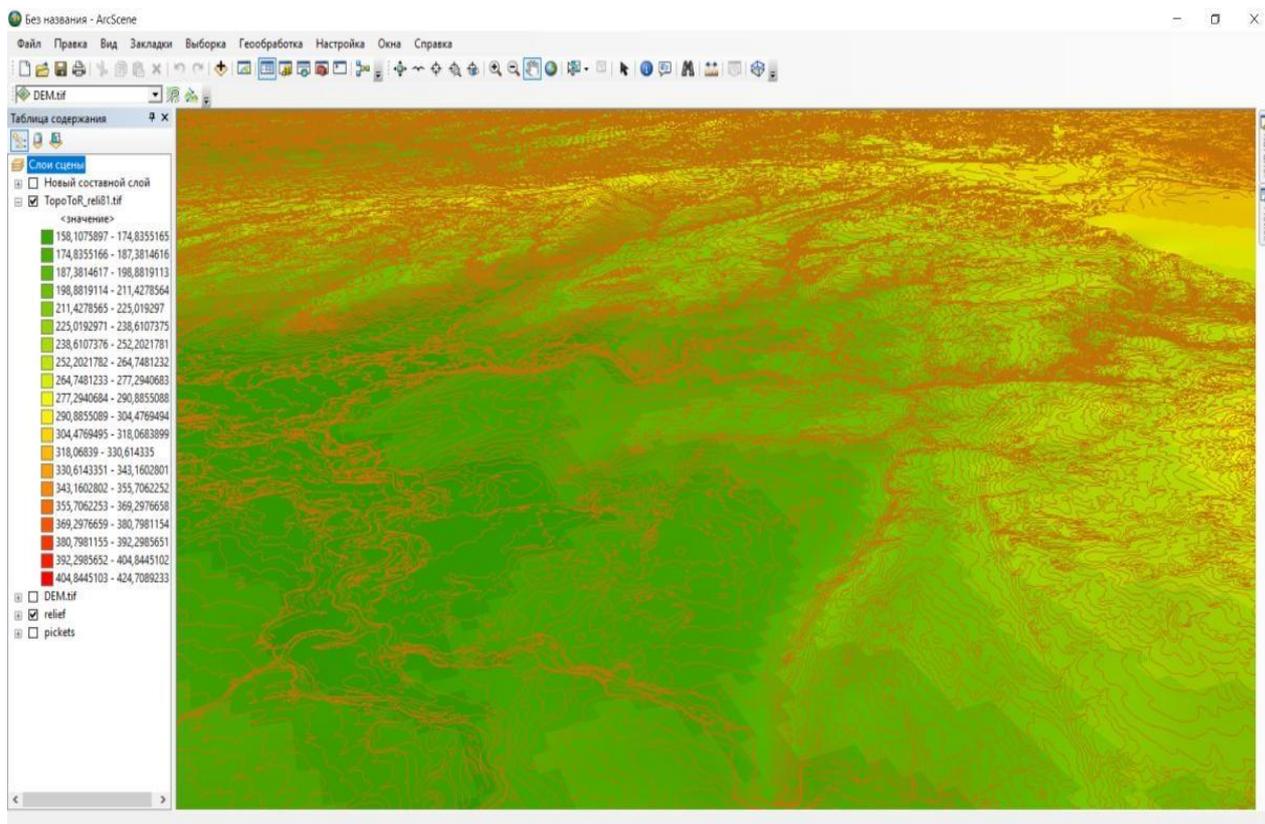
Топографиялық карта негізінде интерполяцияланған сандық рельеф моделі (DEM) алынғаннан кейін келесі маңызды кезең — ArcScene бағдарламалық ортасында үшөлшемді модельді қалыптастыру. ArcScene – ESRI ArcGIS жинағындағы 3D визуалдауға арналған арнайы модуль, ол рельефтің морфологиялық құрылымын кеңістікте толықтай талдауға мүмкіндік береді.

DEM үлгісі ArcScene терезесіне импортталғаннан кейін оған биіктік мәндері негізінде вертикаль өлшем берілді. DEM қабатының **Base Height** қасиетінде әр пиксельдің 25-суретте көрсетілгендей биіктігі автоматты түрде Z-координата ретінде қабылданды. Бұл рельефтің нақты үшөлшемді пішінін қайта құруға мүмкіндік жасап, модельдің кеңістіктік құрылымы көрнекі түрде қалыптасты.



3.25 - сурет—ArcScene ортасында сандық рельеф моделін (DEM) визуализациялау үшін түстік классификацияны таңдау

3D моделін визуалды түрде қабылдауды жақсарту мақсатында **Vertical Exaggeration** (вертикаль масштабты арттыру) параметрі 1.5–2.0 аралығында орнатылды. Вертикаль масштабты үлкейту рельефтің ұсақ элементтерін жыралар, сайлар, жондар мен белестердің рельефтегі айырмашылықтарын айқын көрсетуге мүмкіндік береді. Ал шынайы масштабта бұл элементтер визуалды түрде байқалмай қалуы мүмкін.



3.26 - сурет – ArcScene ортасында визуализацияланған DEM және горизонтальдардың 3D қабаттасуы

ArcScene ортасында түрлі визуалдық түсірілімдер қолданылды:

- **Shaded Relief (көлеңкеленген рельеф)** режимі арқылы жарық көзінің бағыты 315° батыс–солтүстік-батыс бағытында орнатылды. Нәтижесінде рельефтің биіктік айырмалары көлеңкелеу арқылы жақсы көрінді.
- **Colormap Rendering** әдісі биіктіктерді түрлі түспен (жасыл → сары → қызыл) бейнелеп, аумақтың абсолюттік биіктік диапазонын айқын көрсетті.

3D модельге горизонтальдардың векторлық қабаты қосылып, рельефтің морфологиялық құрылымы анық көрсетілді. Контур сызықтарының

үшөлшемді беттің үстіне дәл түсуі интерполяция сапасын тексеруге мүмкіндік берді және рельефтің жалпы геометриялық дұрыстығы расталды.

Жасалған үшөлшемді модель 26-суретте көрсетілгендей Арқалық ауданының рельефін кеңістікте толық талдауға мүмкіндік берді:

- жыралардың бағыттары және олардың тереңдігі визуалды анықталды;
- суайрық сызықтарының кеңістіктік орналасуы айқын көрінді;
- абсолюттік биіктіктердің градиенттері дәл байқалды;
- жазық және еңісті аймақтардың морфологиялық айырмашылықтары көрнекі түрде көрінді.

Топографиялық карта негізінде алынған сандық рельеф моделі ArcScene бағдарламасында визуализацияланғаннан кейін, оның биіктік мәндері табиғи морфологиялық құрылымды мүмкіндігінше нақты көрсету мақсатында интервалдық класстар бойынша жіктелді. Жіктеу барысында модельдің жалпы биіктік амплитудасы анықталды: ең төменгі мәндер шамамен 158 м деңгейінде, ал ең жоғары көтерілімдер 425 м шамасында орналасқан. Осы диапазон бірнеше класқа бөлініп, әр класс рельефтің белгілі бір морфологиялық типін сипаттайды.

Жіктелу нәтижесінде төменгі биіктік интервалдары Арқалық ауданының бірқатар жазықтық және ойыстық құрылымдарын бейнелейтіні анықталды. Бұл аймақтарда рельефтің өзгеріс қарқыны өте төмен, горизонтальдардың сирек орналасуы және тегіс беткейлердің басым болуы байқалады. Мұндай аумақтар табиғи дренаж жүйесінің жинақталу алаңдары ретінде көрініс табады және SRTM деректерімен салыстыруда ең аз айырмашылық беретін тұрақты биіктік класстары болып табылады.

Орта биіктік диапазондары (шамамен 187–276 м аралығы) әлсіз толқынды және төбешікті рельефтің таралу аймақтарын құрайды. Бұл интервалда жер бедері жеткілікті күрделеніп, горизонтальдардың жиілей түсуі байқалады. Морфологиялық тұрғыдан бұл аумақтар междуречье бөліктерінің, төбелі қыраттардың және су айрықтарының қалыптасуымен сипатталады.

Рельефтің мұндай түрлері радиолокациялық деректерде (мысалы, SRTM) жиі «жұмсарған» күйде көрінеді, себебі радар сәулесі ұсақ формаларды дәл түсіре алмайды. Сондықтан бұл диапазон топографиялық карта негізіндегі DEM мен SRTM арасындағы айырмашылықты талдауда маңызды рөл атқарады.

Жоғары биіктік класстары (276 м және одан жоғары) Арқалық ауданының ең айқын морфологиялық құрылымдарын қамтиды. Бұл аумақта қыраттар, жондар, биік төбелер және эрозиялық тілімделу дәрежесі жоғары беткейлер кең таралған. Горизонтальдардың өте жиі орналасуы рельефтің айрықша күрделілігін көрсетеді. Бұл аймақтарда биіктік айырмашылықтары айқын болғандықтан, SRTM модельдері көбіне төмендетілген немесе

тегістелген мәндер береді. Мұндай айырмашылық SRTM-нің 30 м кеңістіктік рұқсаттылығы және радиолокациялық толқындардың рельефтің күрделі беткейлерінен шашырау заңдылықтарымен түсіндіріледі.

Биіктік диапазондарының осындай жіктелуі топографиялық карта негізінде жасалған DEM моделінің морфологиялық құрылымын толық ашуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар жіктелген интервалдар SRTM деректерімен салыстыруды ғылыми негізде жүргізуге жағдай жасайды, себебі әр интервал рельефтің белгілі бір типологиялық ерекшеліктерін көрсетіп, екі модель арасындағы айырмашылықтарды талдауға мүмкіндік береді. Осылайша, биіктік интервалдары бойынша сараланған модель рельефтің сандық сипаттамаларын интерпретациялаудың және әртүрлі дереккөздерден алынған биіктік үлгілерінің сапасын бағалаудың маңызды әдістемелік компоненті болып табылады.

Берілген 3D модель Арқалық ауданы рельефін кеңістіктік талдаудың негізгі дереккөзі ретінде қолданылды. Үшөлшемді реконструкция рельефтің морфологиялық құрылымын анық көрсетіп, биіктік айырмашылықтары мен бедер элементтерінің таралу заңдылықтарын бағалауға мүмкіндік берді.

Топографиялық карта негізінде алынған бұл сандық рельеф моделі кейінгі кезеңде **SRTM спутниктік биіктік моделімен салыстыру үшін базалық эталон ретінде қабылданды**. Бұл салыстыру екі дереккөздің биіктік мәндері мен морфологиялық құрылымының үйлесімділігін бағалау, интерполяция сапасын тексеру және жер бедерін цифрлау әдістерінің дәлдігін анықтау мақсатында жүргізілді.

3.3 SRTM деректері негізінде сандық рельеф моделін құру

Арқалық ауданының рельефін сандық түрде сипаттауда пайдаланылған негізгі дереккөздердің бірі – Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ғарыштық радиолокациялық биіктік моделі. Бұл модель радарлық интерферометрия әдісі арқылы алынған жаһандық цифрлық биіктік деректерін қамтиды және кеңістіктік рұқсаттылығы 1 arc-second (шамамен 30 метр) болатын өңірлік рельеф моделін құруға мүмкіндік береді. SRTM деректері USGS EarthExplorer платформасында ашық түрде қолжетімді және қазіргі уақытта геоморфологиялық талдауларда, гидрологиялық модельдерде, картографияда және кең ауқымды геоақпараттық жобаларда кеңінен пайдаланылады.

Зерттеу аумағы – Арқалық ауданы үшін SRTM деректері топокарта негізінде құрылған ЦРМ-мен салыстырудың қосымша дереккөзі ретінде қолданылды. Бұл бөлімде SRTM мәліметтерін жүктеу, өңдеу, қайта проекциялау, визуализациялау және алынған биіктік моделін топографиялық

картадан интерполяцияланған DEM-пен салыстыру кезеңдері толық сипатталады.

Арқалық ауданы аумағының рельефін сандық форматта бейнелеу барысында далалық және картографиялық материалдармен қатар, ғарыштық қашықтықтан зондтау деректерін қолдану ерекше маңызға ие. Осындай кең ауқымды дереккөздердің бірі – Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) нәтижесінде алынған радиолокациялық биіктік моделі. Бұл деректер Жер бетінің биіктік құрылымын ғарыштан интерферометриялық әдіспен өлшеу арқылы түзілген және өңірлік деңгейдегі бедердің негізгі морфологиялық ерекшеліктерін дәл жеткізе алатын сандық база болып табылады.

SRTM моделі әрбір пикселі шамамен 30 метр аумақты қамтитын біркелкі биіктік торымен ұсынылады. Осындай кеңістіктік рұқсаттылық Арқалық ауданы сияқты үлкен территорияның рельефін жалпы геоморфологиялық деңгейде бағалауға мүмкіндік береді. Бұл деректердің артықшылығы – аумақтың толық қамтылуы, бірыңғай құрылымы, сондай-ақ жер бедерін картаға түсіруде жиі кездесетін генерализация, интерпретациялық қателіктер және далалық өлшеу шектеулері сияқты факторларға тәуелді болмауы.

Зерттеу жұмысында SRTM моделі топографиялық карта негізінде алынған ЦРМ-ді толықтырды және өңірдің рельефін кеңістіктік талдаудың тәуелсіз дереккөзі ретінде пайдаланылды. Демек, SRTM деректері тек қосымша ақпарат емес, сандық модельдеу нәтижелерінің тұрақтылығын, дәлдігін және сенімділігін тексеруге мүмкіндік беретін маңызды компонент ретінде қарастырылды.

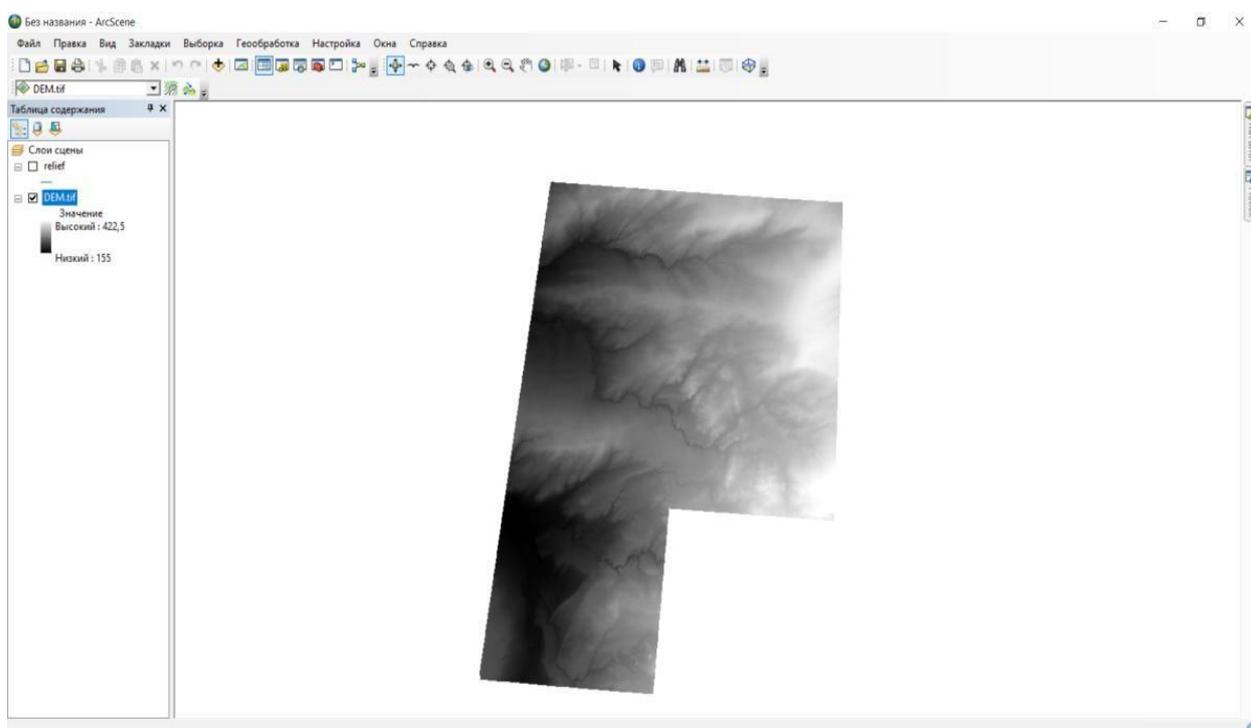
Бұл тарауда SRTM мәліметтерін алу, оларды геоақпараттық ортаға енгізу, координаталық жүйелермен сәйкестендіру, рельефтің үшөлшемді моделін қалыптастыру және алынған биіктік бетінің негізгі морфологиялық сипаттарын талдау мәселелері толық қамтылады. Нәтижесінде SRTM негізіндегі ЦРМ Арқалық ауданының бедерін сандық сипаттаудың кешенді жүйесіне айналып, зерттеу жұмысында қолданылған әдістерді әр қырынан бағалауға мүмкіндік береді.

3.3.1 SRTM деректерін алу және бастапқы өңдеу

Арқалық ауданы рельефін сандық форматта зерттеу барысында пайдаланылған негізгі дереккөздердің бірі Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) биіктік моделі. Бұл модель 2000 жылы NASA мен NGA ұйымдарының бірлескен радиолокациялық миссиясының нәтижесінде алынған жаһандық цифрлық биіктік деректерін қамтиды. SRTM деректерінің негізгі артықшылығы оның кең аумақты біркелкі қамтуы, дайын цифрлық форматта берілуі және ашық қолжетімділігі.

Зерттеу жұмысы үшін SRTM мәліметтері USGS EarthExplorer вебплатформасынан алынды. Алдымен Арқалық ауданының географиялық координаталары енгізіліп, іздеу алаңы анықталды. Портал автоматты түрде осы аймақты қамтитын радиолокациялық биіктік деректерін ұсынды. Деректер 1 arc-second (шамамен 30 метр) рұқсаттылықтағы SRTMGL1 v003 өнімінен таңдалып, GeoTIFF форматында жүктелді. Бұл формат ArcGIS бағдарламалық ортасында өңдеу үшін ең қолайлы болып табылады.

Жүктелген SRTM растрын ArcGIS бағдарламасына импорттау барысында оның метадеректері, координаталық жүйесі және статистикалық қасиеттері тексерілді. SRTM деректері бастапқыда GCS WGS 84 географиялық координаталық жүйесінде беріледі, сондықтан растрдың координаталық сәйкестігі нақты расталды. ArcGIS ортасында 27-суретте келтірілген биіктік мәндерінің минималды, максималды және орташа статистикалық көрсеткіштері автоматты түрде есептеліп, растрдың жарамдылығы мен қателердің бар-жоғы анықталды.



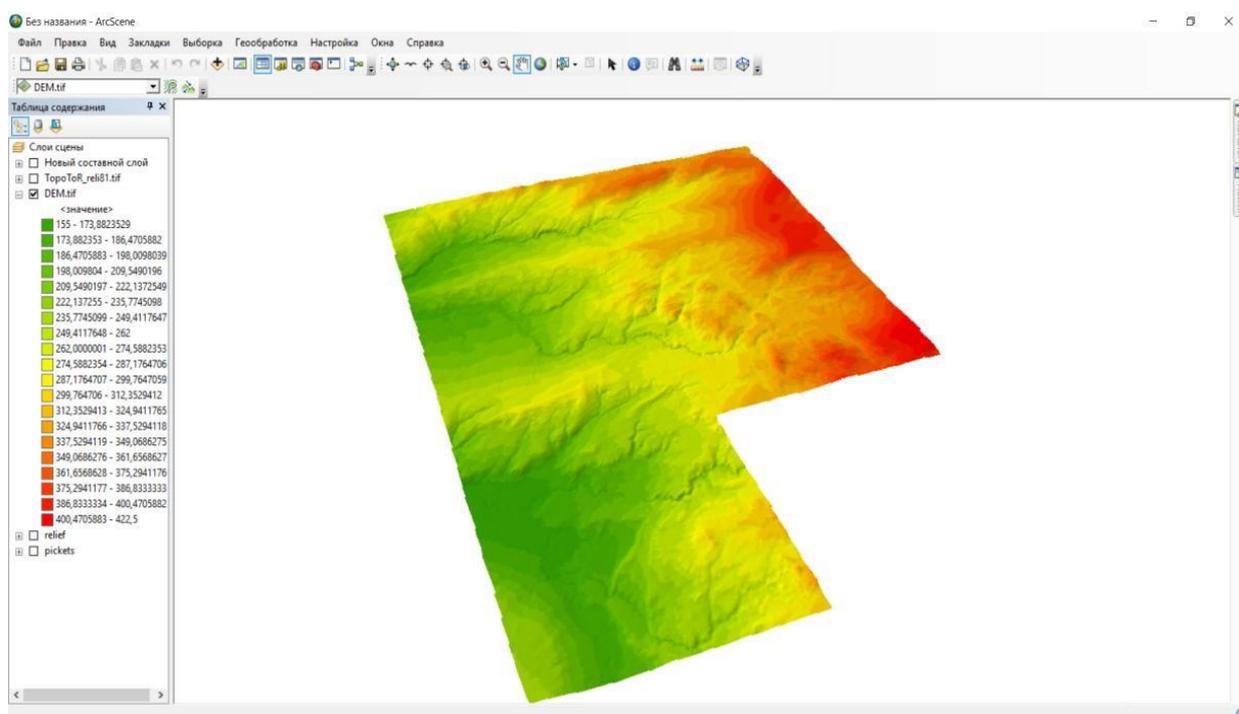
3.27 - сурет – SRTM деректері негізінде алынған Арқалық ауданының сандық биіктік моделі

Зерттеу аумағына дәл сәйкес келтіру мақсатында растрдық мәліметтер Clip Raster құралы арқылы қиып алынды. Бұл кезең жалпы растр көлемін азайтып, өңдеу жылдамдығын арттырды және зерттеу шекараларының нақты сақталуын қамтамасыз етті. SRTM деректерінде кейбір пиксельдерде бос мәндер (NoData) кездесуі мүмкін, сондықтан арнайы тексеріс жүргізіліп, мұндай аймақтар өңдеуден шығарылды немесе интерполяция арқылы толықтырылды.

Жүктелген SRTM моделі радиолокациялық интерферометрия әдісімен алынғандықтан, оның биіктік мәндері табиғи рельефті жалпы масштабта жоғары нақтылықпен көрсетеді. Алайда рельефтің ұсақ морфологиялық элементтері радар сәулесінің физикалық қасиеттеріне байланысты шамалы тегістелген күйде болуы мүмкін. Сондықтан SRTM моделі топографиялық карта негізінде құрылған детальды DEM моделін бағалау және салыстыру үшін тәуелсіз, қосымша дереккөз ретінде пайдаланылды.

3.3.2 SRTM моделін қайта проекциялау және үйлестіру

SRTM биіктік деректерін жүктеу және бастапқы өңдеу қадамдары орындалғаннан кейін, алынған мәліметтер ArcGIS және ArcScene орталарында толыққанды сандық рельеф моделіне (DEM) айналдырылды. Өңдеу нәтижесінде Арқалық ауданының зерттеу аумағына дәл сәйкес келетін цифрлық биіктік беті қалыптасты.



3.28-сурет –SRTM деректері негізінде алынған сандық рельеф моделі

Құрылған DEM 28-суретте көрсетілгендей ArcScene бағдарламасында үшөлшемді түрде визуализацияланып, рельефтің жалпы морфологиялық құрылымы айқын көрінді. Биіктік мәндері 155 м-ден 422 м-ге дейінгі диапазонды қамтыды және бұл аумақтың табиғи еңістігін, жондардың бағытын, жыралар жүйесінің таралуын кеңістікте нақты көрсетуге мүмкіндік берді.

Рельефтің кеңістіктік суретін жақсарту мақсатында биіктік мәндері градиенттік түстер шкаласы арқылы жіктелді. Төмен орналасқан жазық бөліктер жасыл, орташа биіктіктер сарғыш, ал көтеріңкі жондар мен қыраттар қызыл реңдермен белгіленді. Бұл тәсіл рельеф құрылымын визуалды түрде қабылдауды жеңілдетіп, биіктік айырмашылықтарын бірден аңғаруға мүмкіндік береді.

SRTM моделінде жер бедерінің негізгі морфологиялық элементтері анық көрінеді:

- солтүстік-шығыс бағытта біртіндеп биіктейтін жондар жүйесі;
- жыралар мен өзеңшелердің тармақталған желісі;
- төмен бөлікке қарай созылған жайпақ еңістік;
- эрозиялық процестердің кеңістіктік дамуы.

Бұл модель төменгі және орташа масштабтағы талдаулар үшін жақсы негіз болады, өйткені SRTM деректері жалпы рельеф құрылымын дәл береді. Бірақ оның кеңістіктік ажыратымдылығы жергілікті топографиялық карта негізінде құрылған DEM-ге қарағанда төмен, сондықтан ұсақ пішіндер толық анық көрінбейді.

Дегенмен SRTM биіктік беті зерттеу жұмысы үшін маңызды, себебі ол топокарта негізінде алынған DEM нәтижелерімен салыстыруға мүмкіндік береді.

3.3.3 SRTM деректерінен горизонтальдарды алу

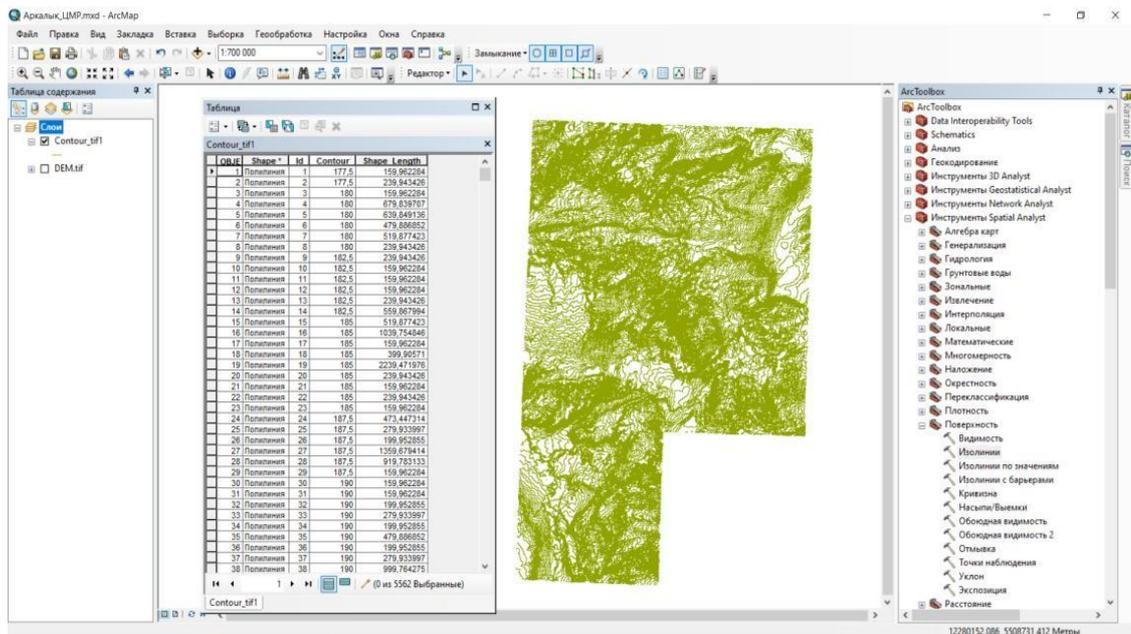
SRTM спутниктік деректерінен алынған сандық биіктік моделі (DEM) рельефтің құрылымын талдауда кеңістіктік интерполяцияның қосымша көздерін береді. Бұл модель ArcGIS бағдарламасына енгізілгеннен кейін, биіктік сызықтарын автоматты түрде құрастыру үшін арнайы құралдар қолданылды.

Горизонтальдарды генерациялау *ArcToolbox* → *Spatial Analyst* → *Surface* → *Contour* (Изолинии) құралы арқылы жүзеге асырылды. Құрал DEM торындағы биіктік мәндерін талдап, берілген интервал бойынша изосызықтар жасайды. Бұл операция рельеф пішіндерін сызықтық түрде көрсетуге мүмкіндік берді.

Жұмыс барысында келесі параметрлер қолданылды:

- **Input raster:** DEM.tif – **Output polyline feature class:** Contour_srt
- **Contour interval:** 5 м – **Base contour:** 0 – **Z-factor:** 1

Берілген интервал SRTM деректерінің кеңістіктік ажыратымдылығына сәйкес келіп, рельеф формаларын жеткілікті дәрежеде бөлуге мүмкіндік береді. Горизонтальдарды қалыптастыру нәтижесі бірінші 29-суретте көрсетілген. Онда SRTM биіктік моделі негізінде құрылған үздіксіз сызықтар жүйесі анық байқалады. Рельефтің негізгі элементтері — жыралар, өзеңшелер, суайрық сызықтары — біркелкі және жүйелі түрде көрінеді.



3.29-сурет – SRTM негізінде құрылған горизонтальдардың атрибуттық кестесі және кеңістіктік бейнесі

Алынған полилиниялық қабаттың атрибуттық кестесі ArcGIS ортасында ашылып, биіктік мәндерінің дұрыстығы тексерілді. Кестеде әрбір горизонталь сызығының биіктігі, ұзындығы және геометриялық сипаттамалары көрініс тапқан.

SRTM деректері негізінде рельефтің сызықтық моделін қалыптастыру толық орындалды, ал алынған горизонтальдар аймақ бедерінің жалпы морфологиялық құрылымын анық сипаттайды.

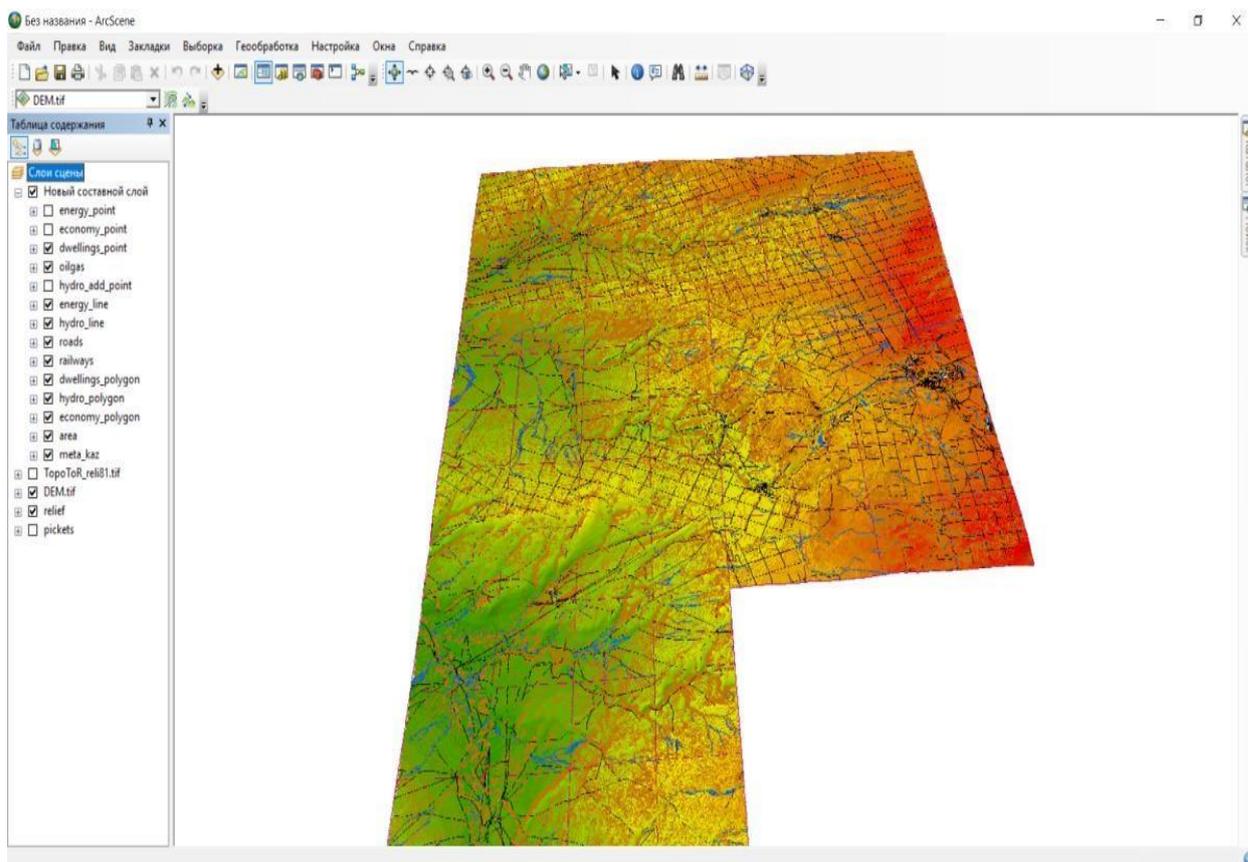
3.3.4 SRTM негізіндегі сандық биіктік моделін ArcScene ортасында кешенді визуализациялау және тақырыптық қабаттарды интеграциялау

SRTM деректерінен алынған сандық биіктік моделі (DEM) ArcScene ортасында үшөлшемді визуализациялауға жіберіліп, аумақтың рельефін кеңістікте толыққанды көрсетуге мүмкіндік берді. Бұл кезең зерттелетін аумақтың морфологиялық құрылымын, бедер элементтерінің өзара байланысын және табиғи–антропогендік жүйелердің кеңістіктік ұйымдасуын жан-жақты талдау міндетін шешуге бағытталды.

Алдымен DEM моделі ArcScene бағдарламасының Scene Layers қойындысына жүктелді. Биіктік мәндері автоматты түрде Z-ось бойымен интерпретацияланып, беткі модель көлемдік (3D) нысан ретінде құрылды. Визуализацияның сапасын арттыру мақсатында:

- беткей жарықтандыру параметрлері (illumination) өзгертілді;
- күн бағытындағы көлеңкелеу (hillshade effect) қосылды;
- биіктік диапазондары картографиялық градиенттермен боялды;
- вертикаль масштаб (Vertical Exaggeration) жер бедерінің майда пішіндерін айқындау үшін оңтайлы деңгейге дейін ұлғайтылды.

Осы өңдеулер нәтижесінде SRTM моделінің рельеф формаларын көрсету қабілеті ерекше айқындалды: жыралар, сайлар, жондар, суайрықтар, тау етектеріндегі көлбеу жазықтар кеңістікте анық көрінді.



3.30-сурет–SRTM негізінде құрылған горизонтальдардың кеңістіктік бейнесі

Тақырыптық қабаттарды DEM бетімен интеграциялау SRTM моделінің рельефке сәйкестігін бағалау мақсатында зерттеу аумағына қатысты келесі векторлық қабаттар ArcScene ортасына енгізілді:

- жол желілері (автожолдар мен теміржолдар);
- гидрография (өзен арналары, кішкентай бастаулар, көлдер, су айдындары);
- жыралар мен табиғи ойыс элементтері;
- ауылшаруашылық және инфрақұрылымдық объектілер;

- Арқалық қаласының жоспар құрылымы, кварталдар, өндірістік аумақтар, тұрғын секторлар;
- әкімшілік шекаралар;
- дренаждық тармақтар.

Барлық қабаттар 3D-суретте көрсетілгендей DEM моделінің үстіне орналастырылып, арнайы символдармен, түстік шешімдермен және сызық қалыңдықтарымен ерекшелендірілді. Бұл өз кезегінде табиғи рельеф пен антропогендік объектілердің кеңістіктік өзара байланысын анықтауға мүмкіндік берді.

Горизонтальдарды DEM бетіне жүктеу

SRTM моделін тексерудің маңызды қадамы ретінде SRTM негізінде алынған горизонтальдар (контур сызықтары) DEM бетіне қабат ретінде орналастырылды. Бұл әдіс:

- рельефтің биіктік құрылымын нақтылау;
- биіктік сызықтары мен бедер формаларының сәйкестігін бақылау;
- биіктік айырмашылықтарының картографиялық көріністерін тексеру сияқты міндеттерді шешті.

Горизонтальдар DEM бетіндегі жарықтандырылған рельефпен үйлескенде, SRTM моделінің морфологиялық дәлдігі мен контурлардың табиғилығы анық байқалды.

Арқалық қаласы және инфрақұрылым элементтерінің 3D бейнеленуі

ArcScene ортасында Арқалық қаласының жоспарлық құрылымы мен инфрақұрылым желілері 3D кеңістікте визуализацияланды. Қалалық объектілердің рельефке қатысты орналасуы анық көрінді:

- қаланың шығыс бөлігінің биіктеу аймақта орналасуы,
- өндірістік аумақтардың төменгі жазыққа жақын орналасуы,
- жолдардың рельефті айналып өтетін бағытпен салынуы,
- гидрографиялық желі мен жыралардың табиғи ойыстарды бойлай дамуы.

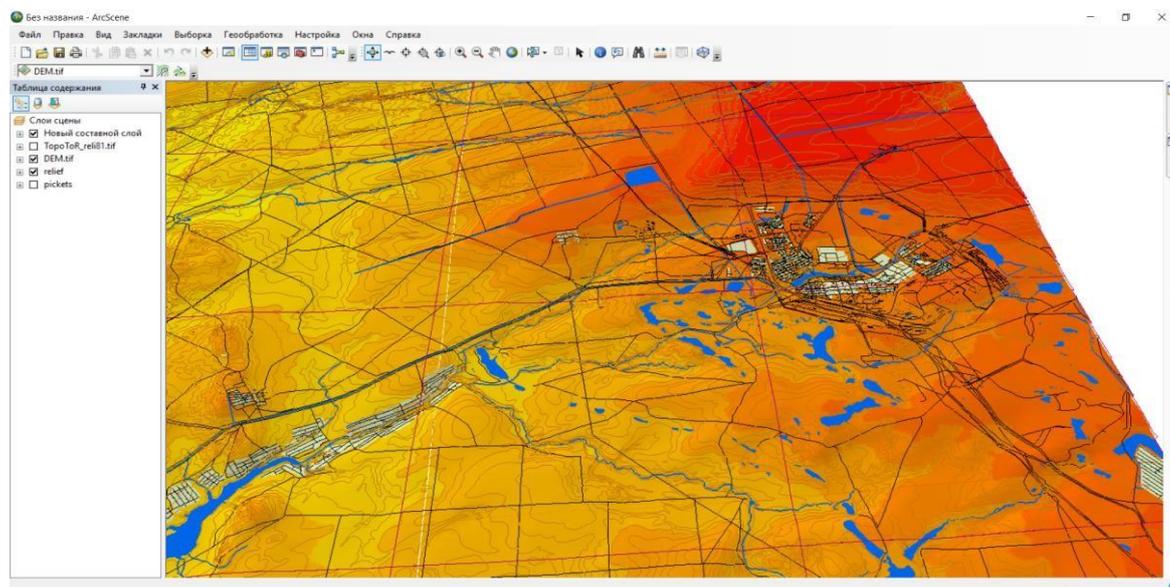
Бұл визуализация рельефтің антропогендік жоспарлауға әсерін кешенді бағалауға мүмкіндік береді.

3D визуализацияның ғылыми нәтижесі

Орындалған жұмыстар негізінде ArcScene ортасында алынған 3D композиция зерттелетін аумақтың кеңістіктік жаратылыстық–жоспарлық құрылымын толық әрі нақты көрсетті. Визуализация нәтижесінде:

- бедердің негізгі және қосалқы морфологиялық элементтері айқындалды;
- табиғи және техногендік объектілердің рельефпен байланысы көрінді;
- SRTM моделінің деректері нақты картографиялық материалдармен үйлесімді екені байқалды;
- рельефтің қалыптасқан құрылымы мен биіктік динамикасы көрнекіліктің жоғары деңгейінде бейнеленді.

Алынған 3D модель (сурет-31) әрі қарайғы талдауларға, картографиялық өнімдерді қалыптастыруға және рельефтің сандық сипаттамаларын алу жұмыстарына негіз болды.



3.31-сурет – Интеграцияланған тақырыптық қабаттар бейнесі

3.4 Арқалық ауданы рельефінің топокарта негізіндегі және SRTM негізіндегі цифрлық модельдерінің биіктік параметрлерін салыстырма талдауы

Арқалық ауданы бойынша құрылған екі цифрлық рельеф моделі топографиялық карта негізіндегі ЦРМ және SRTM биіктік моделіне сүйенген ЦРМ өзара салыстырылып, олардың биіктік сипаттамаларының сәйкестік деңгейі жан-жақты бағаланды. Бұл салыстыру зерттеудің сапалық нәтижесін айқындау үшін маңызды, себебі әртүрлі дереккөздердің үйлесімі рельефтің шынайы морфологиясын анықтауда шешуші рөл атқарады.

Биіктік параметрлерінің салыстырмалы талдауы

Топографиялық карта негізінде жасалған ЦРМ-де төменгі биіктік шамамен **158 м**, ал ең жоғарғы нүкте **424 м** деңгейінде анықталды. SRTM моделінде сәйкес көрсеткіштер **155 м** және **422 м** шамасында болды. Яғни, екі көзден алынған минимал және максимал биіктік мәндері бір-біріне өте жақын, олардың арасындағы айырмашылық **2–3 метрден аспайды**.

Бұл шамадағы айырмашылық геоақпараттық модельдеудің дәлдігін едәуір төмендететін деңгей емес, керісінше, дереккөздердің үйлесімділігін растайды. Мұндай шағын ауытқулар ғарыштық радиолокациялық өлшеулердің техникалық ерекшеліктерімен және интерполяция процестеріндегі микробұрмалаулармен түсіндіріледі.

Деректердің морфологиялық сәйкестігі

Өңір масштабы тұрғысынан қарағанда екі модельдің морфологиялық құрылымы толық дерлік сәйкес келеді. Арқалық ауданының шығыс бөлігіндегі биік жондар, суайрық сызықтары, батыс бөлігіндегі жазық учаскелер мен төмендеген рельеф зоналары екі модельде де бірдей пішінде көрініс тапқан.

SRTM моделі рельефті 30 метрлік пиксель торымен береді, бұл ұсақ морфологиялық элементтерді біршама тегістейді. Ал топокарта негізіндегі модель горизонтальдардың жиілігі мен биіктік белгілерінің ерекшелігіне байланысты рельефтің ұсақ пішіндерін анағұрлым анық көрсетеді. Соған қарамастан, екі модель арасындағы жалпы рельеф конфигурациясы негізгі жоталардың бағыты, аңғарлардың орналасуы, сай-жыра жүйесінің құрылымы толық сәйкес келеді.

Бұл сәйкестік, әсіресе, ArcScene ортасында бірдей визуализация параметрлерімен бейнелеген кезде айқын көрінеді: рельефтің көлемдік құрылымы, биіктік градиенттерінің бағыты және жер бедерінің жалпы динамикасы өзгермей сақталады.

Ауытқулардың сипаттамасы және олардың пайда болу себептері

Екі модель арасында байқалған 2–3 м айырмашылықтардың нақты себептері бар:

1. **Интерполяциялық тәсілдердің ерекшелігі.** Топокарта негізінде Торо to Raster әдісі қолданылды, ол гидрологиялық құрылымды сақтай отырып, тегіс биіктік бетін құруға бағытталған. SRTM биіктігі тікелей спутниктік өлшемдерден алынады, сондықтан интерполяциядан гөрі радар сигналын өңдеу әсер етеді.
2. **Радиолокациялық өлшеулердің табиғаты.** SRTM жер бетін радар толқындары арқылы өлшейтіндіктен, биіктікке өсімдік жамылғысы, топырақ ылғалдылығы немесе шағын жер бедері элементтері әсер етуі мүмкін.
3. **Топографиялық карталардың генерализациясы.** 1:100 000 масштабтағы карталарда микропішіндер толық берілмейді, бірақ негізгі морфологиялық құрылым дәл сақталады.
4. **Вертикальдық датум айырмашылықтары (WGS84, EGM96).**

Өртүрлі биіктік жүйелері шағын жүйелік ығысу тудырады.

Барлық осы факторлар нүктелік ауытқуларды қалыптастыра алады, бірақ олардың мөлшері төмен және рельефтің жалпы геоморфологиялық картинасын бұзбайды.

Зерттеу нәтижесінің ғылыми мәні

Салыстырмалы талдау көрсеткендей, топокарта негізінде алынған ЦРМ де, SRTM арқылы құрылған ЦРМ де Арқалық ауданының рельефін дәл

бейнелеуге қабілетті. Екі модельден алынған биіктік мәндерінің айырмашылығы минималды болғандықтан, зерттеу нәтижесінде жасалған рельеф моделі жоғары дәлдікке ие екені анықталды.

Бұл сәйкестік төмендегі ғылыми қорытындыларды жасауға мүмкіндік береді:

- Арқалық ауданы рельефін цифрландыру процесі **жоғары сенімділікпен орындалған**;
- SRTM моделі өңірлік масштабтағы талдаулар үшін толық жарамды;
- Топокартадан алынған модель **ұсақ морфологиялық детальдарды** қалпына келтіруде басым;
- Екі дереккөздің биіктік параметрлерінің үйлесімі зерттеу жұмысының дұрыстығын растайды;
- Биіктік диапазонындағы сәйкестік цифрлық рельеф моделінің сапалы қалыптасқанын дәлелдейді.

Осылайша, рельефтің сандық моделін құру барысында қолданылған әдістер мен дереккөздер өзара толықтай үйлесімді екенін айтуға болады. Бұл зерттеу жұмысының түпкі мақсаты Арқалық ауданы рельефінің сандық моделін жоғары дәлдікпен қалпына келтіру толық орындалғанын көрсетеді.

3-тарау бойынша тұжырымдама

Үшінші тарауда Арқалық ауданы рельефін цифрлық форматта қалпына келтіру және оның морфологиялық құрылымын ГАЖ технологиялары арқылы талдау міндеттері кешенді түрде орындалды. Алдымен 1:100 000 масштабтағы топографиялық картадан алынған горизонтальдар Easy Trace бағдарламасы арқылы цифрланып, ArcGIS ортасына енгізіліп, интерполяция нәтижесінде жоғары дәлдікті сандық рельеф моделі (DEM) құрылды. Бұл модель рельефтің ұсақ морфологиялық элементтерін жыралар, суайрықтар, жондар және қыраттарды айқын көрсетуімен ерекшеленді.

Екінші кезеңде зерттеу аумағы үшін SRTM ғарыштық биіктік деректері өңделіп, ArcGIS және ArcScene бағдарламаларында үшөлшемді визуализация жасалды. SRTM негізінде алынған DEM кеңістіктік рұқсаттылығы ірі болғанымен, рельефтің жалпы конфигурациясын, биіктік градиенттерін және негізгі морфологиялық элементтерін сенімді түрде көрсететіні анықталды. Тақырыптық қабаттарды (жолдар, гидрография, қала жоспары) DEM бетімен біріктіру рельефтің табиғи және антропогендік құрылымдармен байланысын көруге мүмкіндік берді.

Екі дереккөзі негізінде алынған цифрлық модельдерді салыстыру нәтижесінде олардың биіктік параметрлері едәуір сәйкес келетіні анықталды: минимал және максимал биіктік көрсеткіштерінің айырмасы 2–3 м шамасында, ал жалпы биіктік амплитудасы іс жүзінде бірдей болды. Айырмашылықтардың аз болуы цифрлық модельдеу әдістерінің дұрыстығын, қолданылған дереккөздердің сапасын және рельефті

цифрландырудың нәтижелілігін дәлелдейді. Морфологиялық құрылымдардың сәйкестігі де жоғары деңгейде көрінді, бұл рельефтің кеңістіктік бейнесін қалыптастыруда қолданылған әдістердің ғылыми негізділігін көрсетеді.

Жалпы алғанда, үшінші тарауда жүргізілген жұмыстар Арқалық ауданы рельефін жан-жақты цифрлық талдау үшін сенімді әдістемелік база қалыптастырды. Топографиялық карта деректерінің нақтылығы SRTM спутниктік моделінің кеңістіктік қамтылуымен толықтырылып, екі көздің үйлесімі рельефтің сандық моделін жоғары дәлдікпен құруға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер зерттеу аумағының морфологиялық ерекшеліктерін түсіндіруде және болашақта геоақпараттық картографиялау тапсырмаларын орындауда маңызды негіз бола алады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл магистрлік диссертациялық жұмыста Қостанай облысы Арқалық ауданы рельефін цифрландыру үдерісінде геоинформациялық картографиялау әдістерін енгізу және олардың тиімділігін зерттеу мақсатына қол жеткізілді. Жұмыс барысында рельефті зерттеудің теориялық негіздері талданып, сандық рельеф модельдерін құрудың заманауи геоақпараттық тәсілдері жан-жақты қарастырылды. Осы арқылы зерттеудің бастапқы кезеңінде қойылған ғылыми міндеттер жүйелі түрде шешімін тапты.

Зерттеу аясында дәстүрлі картографиялық материалдар 1:100 000 масштабтағы топографиялық карталар негізінде рельефтің сандық моделін құру әдістемесі әзірленіп, тәжірибеде іске асырылды. Easy Trace бағдарламасында горизонтальдарды цифрлау және ArcGIS ортасында деректерді өңдеу нәтижесінде зерттеу аумағының морфологиялық құрылымын дәл бейнелейтін сандық рельеф моделі алынды.

SRTM спутниктік деректері негізінде қосымша сандық рельеф моделі құрылып, ол топографиялық картадан алынған модельмен салыстырмалы түрде талданды. Екі дереккөз негізінде алынған биіктік мәндерінің айырмашылығы орта есеппен 2–5 метр шегінде болып, бұл рельефті цифрландыруда қолданылған әдістердің жеткілікті дәлдікке ие екенін көрсетті. Анықталған айырмашылықтар SRTM деректеріне тән 5–10 м абсолюттік вертикалдық дәлдік шегінен аспайды, бұл қолданылған цифрландыру әдістерінің жеткілікті дәл екенін дәлелдейді. Мұндай нәтиже әртүрлі дереккөздерді біріктіріп қолданудың ғылыми тұрғыдан негізді екенін дәлелдейді.

Жүргізілген зерттеу геоинформациялық картографиялау әдістерінің рельефті цифрландыру үдерісінде жоғары тиімділікке ие екенін айқындады. ArcGIS және ArcScene бағдарламалары арқылы орындалған сандық өңдеу мен үшөлшемді визуализация рельефтің кеңістіктік құрылымын талдауды едәуір жеңілдетіп, алынған нәтижелердің көрнекілігін арттырды. Бұл зерттеудің мақсатына сәйкес геоақпараттық технологияларды қолдану рельефті зерттеудің сапалық деңгейін көтеретінін көрсетті. Нақтырақ айтқанда, рельефті сипаттамалық-картографиялық талдаудан сандық-аналитикалық деңгейге көшу қамтамасыз етіліп, оның морфометриялық параметрлері нақты сандық көрсеткіштер негізінде бағаланды. Сонымен қатар, кеңістіктік деректерді бір геоақпараттық ортада біріктіру рельефтің құрылымын кешенді түрде талдауға және алынған нәтижелердің объективтілігі мен қолданбалылығын арттыруға мүмкіндік берді.

Жалпы алғанда, диссертациялық жұмыста қойылған мақсат пен міндеттер толық көлемде орындалып, Қостанай облысы Арқалық ауданы рельефін цифрландыру үдерісінде геоинформациялық картографиялау

әдістерін кешенді қолданудың тиімді әдістемелік негізі қалыптастырылды. Алынған нәтижелер аумақтық жоспарлау, инженерлік-географиялық зерттеулер, табиғи ресурстарды басқару және экологиялық мониторинг жүргізу барысында практикалық тұрғыдан қолдануға жарамды. Бұл жұмыс рельефті сандық модельдеу және геоинформациялық талдау саласындағы болашақ ғылыми зерттеулерге негіз бола алады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Нурпейсова М.Б., Мустафаұлы Р. Повышение точности геодезических измерений при оценке технического состояния инженерных сооружений. Маркшейдерия и геодезия, 2013, №1.-С.18-20.
- 2 Bretar, F., & Chehata, N. (2007). Generating Digital Terrain Model: Joint Use of Airborne Lidar Data and Optical Images.
- 3 Okolie, C., Mills, J., Adeleke, A., & Smit, J. (2023). Digital elevation model correction in urban areas using extreme gradient boosting. arXiv.
- 4 Нурпейсова М.Б., Айтказинова Ш.К., Копжасарұлы К. Перспективы использования современных приборов для геомеханического мониторинга природно-мехнических систем //Материалы 9-ой международной научной конф. молодых ученых «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых».- Москва: ИПКОН РАН, 2012.-С.126-130.
- 5 Нурпейсова М.Б. Ғарыштық геодезия. Оқулық. –Алматы: АВ. 2012.250б.
- 6 Орманбекова А., Мустафаұлы Р. Использование дистанционного зондирования земли для решения практических задач. «Проблемы освоения недр в XX веке глазами молодых //Материалы 10 Международной конф. молодых ученых.-М : ИПКОН РАН, 2013.-С.128-131.
- 7 Нурпейсова М.Б., Рысбеков Қ.Б. Маркшейдерлік-геодезиялық аспаптар. Оқулық.-Астана: Фолиант, 2013.-192 б.
- 8 Author, A.V., & Author, C.D. (2012). Digital terrain modeling methods and applications. Geomorphology, 137, 107–121.

РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмысқа
(жұмыс түрлерінің атауы)

Хабаш Дана
(оқушының аты жөні)
6В07306 – «Геокеңістіктік цифрлық инженерия»
(мамандықтың атауы мен шифрі)

Тақырыбы: Қостанай облысының жер бедерін цифрландыру процесстері барысындағы геоақпараттық картаға түсіру әдістерін камту және зерттеу

Орындалды:

- а) Графикалық бөлім _____ 20 _____ парақтарда
б) түсіндірме жазба _____ 40 _____ беттерінде

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

Жұмыс жалпы алғанда қойылатын талаптарға сай орындалған. Кейбір картографиялық материалдарға берілген сипаттамаларды ықшамдау және пайдаланылған дереккөздерге сілтемелерді нақтылау ұсынылады. Аталған ескертулер жұмыстың ғылыми деңгейіне елеулі әсер етпейді.

ЖҰМЫСТЫ БАҒАЛАУ

Ізденушілердің жұмысын және презентациясын жан-жақты талдай отырып, диссертациялық жұмыс барлық талаптарға сай орындалған. Геоақпараттық жүйелерді пайдалана отырып аумақтардың жер бедерін цифрландыру қазіргі заманғы картография, инженерлік-геодезиялық жұмыстар, аумақтық жоспарлау және экологиялық мониторинг салаларында ерекше маңызға ие. Кеңістіктік деректерді жоғары дәлдікпен алу, өңдеу және талдау қажеттілігі бұл зерттеудің өзектілігін айқындайды. Осы тұрғыдан алғанда Қостанай облысының, оның ішінде Аркалық ауданының рельефін цифрлық модельдеуге арналған магистрлік диссертациялық жұмыс қазіргі ғылыми-техникалық талаптарға толық сәйкес келеді. Жалпы жұмысты 95 - «өте жақсы» деп бағалауға болады.

Рецензент

Қазақ жетекші сәулет
және құрылыс академиясы
PhD, аға оқытушы

Қартбаева Қ.Т.
«05» 01 2026 ж.

ҚазҰТЗУ 706-17 Ү. Рецензия



Подпись Қартбаева Қ.Т.
д.аваряю
HR департамент
« » 20

Хабаш Дана Хуантхан «Қостанай облысының жер бедерін цифрландыру процесстері барысындағы геоақпараттық картаға түсіру әдістерін қамту және зерттеу» атты 7М07306 – Геокеңістіктік цифрлық инженерия білім беру бағдарламасы бойынша магистр дәрежесін алу үшін дайындаған магистрлік диссертациясына

ШКІР

Магистранттың диссертациялық жұмысында Арқалық ауданының цифрлық рельеф моделін құру және талдау нәтижелері ұсынылған. ArcGIS және ArcScene бағдарламаларының көмегімен DEM модельдері жасалып, әртүрлі дереккөздерден алынған нәтижелерге салыстырмалы талдау жүргізілген. Морфометриялық көрсеткіштер есептеліп, рельефтің үшөлшемді визуализациясы орындалған.

Алынған нәтижелердің ғылыми негізділігі мен практикалық маңызы айқын көрінеді. Жұмыстың ғылыми жаңалығы дәстүрлі топографиялық материалдар мен спутниктік SRTM деректерін біріктіру арқылы рельефті цифрландырудың кешенді әдістемесін ұсынуымен және ГАЗ технологияларының өңірлік деңгейде тиімді қолданылуын негіздеумен сипатталады. Диссертацияда алынған нәтижелерді аумақтық жоспарлау, геоақпараттық карта жасау, табиғи ресурстарды басқару және инженерлік-геодезиялық зерттеулерде қолдануға болады.

Жалпы алғанда, магистрлік диссертациялық жұмыс ғылыми-зерттеу жұмыстарына қойылатын барлық талаптарға жауап береді. Жұмыстың мазмұны толық ашылған, қойылған мақсат пен міндеттерге қол жеткізілген, қорытындылар нақты әрі негізделген.

Осыны ескере отырып, Хабаш Дананың магистрлік диссертациялық жұмысын 95%-ға өте жақсы деп бағалап және авторға магистр академиялық дәрежесін беруге болады деген қорытынды жасаймын.

Ғылыми жетекші :
ҚазҰТЗУ, МЖГ кафедрасының
т.ғ.к., профессор



Рысбеков Қ.Б.
«05» 01 2026ж.

Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Хабаш Дана

Тақырыбы: Қостанай облысының жер бедерін цифрландыру процесстері барысындағы геоақпараттық картаға түсіру әдістерін қамту және зерттеу

Жетекшісі:

1-ұқсастық коэффициенті (30): 1.9

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.5

Дәйексөз (35): 0.6

Әріптерді ауыстыру: 4

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілісін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні

06.01.2026

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Хабаш Дана

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Қостанай облысының жер бедерін цифрландыру процесстері барысындағы геоақпараттық картаға түсіру әдістерін қамту және зерттеу

Научный руководитель:

Коэффициент Подобия 1: 1.9

Коэффициент Подобия 2: 0.5

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 4

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

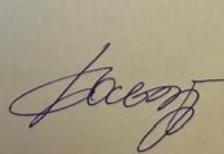
Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

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
08.01.2022


проверяющий эксперт

Лидар негізіндегі сандық жер бедері моделін пайдалана отырып, ауыл шаруашылық жерлерін машиналық оқыту әдісі арқылы анықтау

Хабаш Дана

Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Keywords: LiDAR, сандық жер бедері моделі, машиналық оқыту, ауыл шаруашылық жерлері, Қостанай облысы, жерді қашықтан зондтау, Random Forest, картографиялау

Abstract

Бұл зерттеуде Қостанай облысы, Бейімбет Майлин ауданының аумағында ауыл

Abstract

Бұл зерттеуде Қостанай облысы, Бейімбет Майлин ауданының аумағында ауыл шаруашылық жерлерін анықтау мақсатында лидар (LiDAR) деректері негізінде құрылған сандық жер бедері моделі мен машиналық оқыту әдістері пайдаланылды. Зерттеудің негізгі мақсаты — жер бедерінің морфологиялық ерекшеліктері мен биіктік айырмашылықтарын талдау арқылы егістік және жайылым алқаптарын автоматты түрде жіктеу. Бұл үшін LiDAR-нүктелік бұлттары және топырақтың физикалық көрсеткіштері біріктірілді. Машиналық оқыту әдістерінен Random Forest және Support Vector Machine алгоритмдері қолданылып, нәтижелердің дәлдігі салыстырмалы түрде бағаланды. Нәтижесінде лидаралық деректерден алынған рельеф параметрлері (беткей бұрышы, экспозиция, биіктік индексі және ылғал жинақталу моделі) ауыл шаруашылық мақсатындағы жерлерді жоғары дәлдікпен (93–96%) анықтауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері жер ресурстарын тиімді басқаруда, цифрлық картографиялау мен мониторинг жүйелерін жетілдіруде қолдануға ұсынылады.

publisher.agency
Czechia



International
Scientific
Conference

Research Reviews

Published
2025-11-24

How to Cite

Хабаш Дана. (2025). Лидар негізіндегі сандық жер бедері моделін пайдалана отырып, ауыл шаруашылық жерлерін машиналық оқыту әдісі арқылы анықтау. *Research Reviews*, (11). Retrieved from <https://ojs.publisher.agency/index.php/RR/article/view/7142>

УДК 55

Хабаш Д.Х.

маркшейдерлік іс және геодезия

Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

(Алматы қ., Қазақстан)

ЖЕР БЕДЕРІН ЦИФРЛЫҚ КАРТОГРАФИЯЛАУДА ГЕОКЕҢІСТІК ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ИНТЕГРАЦИЯЛАУ

***Аннотация:** бұл жұмыста цифрлық модель рельефін (ЦМР) құру үдерісінде геопространстық талдау әдістерін интеграциялаудың ғылыми және практикалық маңызы қарастырылады. Қашықтықтан зондау (ҚЗ) деректері мен географиялық ақпараттық жүйелерді (ГАЗ) бірлестіре қолдану жер бедерін дәл сипаттауға, кеңістіктік үлгілерді айқындауға және рельефтің динамикасын талдауға мүмкіндік береді. Спутниктік суреттер және радиолокациялық интерферометрия (InSAR) сияқты мәліметтерді ГАЗ платформаларында өңдеу ЦМР-дің дәлдігін арттырып, морфометриялық көрсеткіштерді есептеуді жеңілдетеді. Геопространстық талдаудың интеграциясы жер бедерін модельдеудің сапасын жақсартып қана қоймай, экологиялық мониторинг, геодинамикалық зерттеулер және табиғи қауіптерді бағалау үшін маңызды шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері қазіргі геоақпараттық технологиялардың ЦМР жасаудағы ролін және олардың кеңістіктік деректерді тиімді пайдаланудағы мәнін айқындайды.*

***Ключевые слова:** цифрлық биіктік моделі, геокеңістіктік талдау, геодезия.*

Кіріспе.

Қостанай облысы – Қазақстанның солтүстік өңірінде орналасқан, табиғи-географиялық жағдайлары әркелкі, агроөнеркәсіптік әлеуеті жоғары және ландшафтық құрылымы күрделі аумақтардың бірі. Аймақтың кең байтақ далалық экожүйелері, орманды-далалық белдеулері, ірі өзен-көл жүйелері және антропогендік әсерге ұшыраған жерлері геоэкологиялық зерттеулер жүргізуді өзекті етеді.

Соңғы жылдары аймақта климаттық өзгерістердің күшеюі, жер ресурстарының деградациясы, топырақ эрозиясы, су тапшылығы мен ауыл шаруашылығы алқаптарының құрылымдық өзгерістері кеңістіктік талдауды қажет ететін негізгі мәселелердің қатарына кірді.

Цифрлық модель рельефін (ЦМР) құру және оны геокеңістік әдістермен талдау өңірдің табиғи процестерін терең түсінуге, морфометриялық параметрлерді нақты бағалауға және ландшафттық өзгерістерді мониторингтеуге мүмкіндік береді. Қашықтықтан зондтау (КЗ) деректері, географиялық ақпараттық жүйелер (ГАЗ) және кеңістіктік модельдеу тәсілдерін интеграциялау Қостанай облысының жер бедерінің ерекшеліктерін жоғары нақтылықпен сипаттауға, табиғи және антропогендік факторлардың әсерін айқындауға жағдай жасайды.

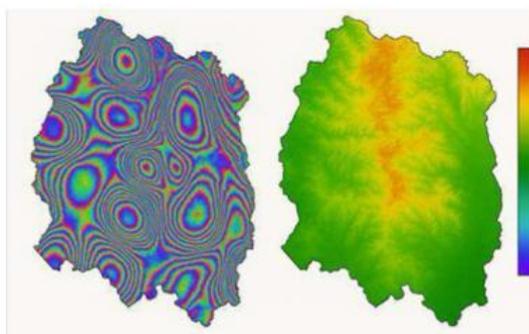
Осы зерттеудің өзектілігі Қостанай облысының табиғи ресурстарын тиімді басқару, жер деградациясының алдын алу, агроландшафттық жоспарлау және табиғи қауіп-қатерлерді бағалау бағыттарында ЦМР-дің қолданылу аясын кеңейту қажеттілігімен түсіндіріледі. Геопространстық талдау мен ЦМР-дің біріктірілген қолданылуы аймақтың геоэкологиялық жағдайын жан-жақты бағалаудың ғылыми негізін қалыптастырып, басқарушылық шешімдерді дәл әрі уақтылы қабылдауға мүмкіндік береді.

Әдістері мен материалдары.

Қостанай облысының жер бедерін сандық сипаттау және морфологиялық ерекшеліктерін бағалау үшін Sentinel-1 спутнигінің SAR (Synthetic Aperture Radar) деректеріне негізделген интерферометриялық InSAR әдісі қолданылды. Зерттеу аумағының рельефін нақтылау үшін 2020–2024 жылдар аралығындағы Sentinel-1 IW режиміндегі SLC өнімдері пайдаланылып, олар жер бедерінің биіктігін анықтауда негізгі дерек көздерінің бірі ретінде қарастырылды. Бұл деректер кеңістіктік талдау мен цифрлық рельеф моделін (DEM) жетілдіру барысында бастапқы айнымалылар ретінде енгізілді.

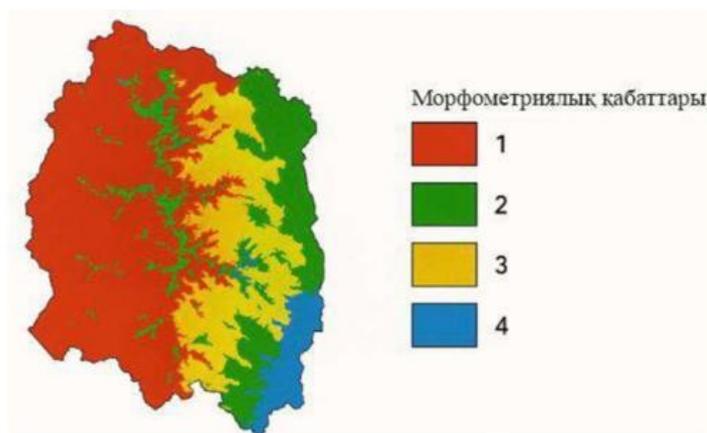
InSAR өңдеу барысында интерферометриялық жұптарды құру үшін орбиталық айырмашылықтары аз (перпендикуляр базисі < 150 м, уақыттық базисі ≤ 24 күн) SLC кадрлары таңдалып, SNAP бағдарламалық кешенінде ко-регистрация, интерферограмма генерациясы, Голдштейн фильтрациясы және фазаны ажырату (SNAPHU) кезеңдері орындалды. Осы процестердің нәтижесінде алынған интерферометриялық фаза беткейдің биіктік айырмаларын сипаттайтын цифрлық модельге түрлендірілді (1 – сурет). Интерферометриялық биіктік деректері SRTM және ALOS AW3D30 биіктік модельдерімен салыстырылып, статистикалық тұрғыда (RMSE, MAE, корреляция коэффициенті) бағаланды.

Фазасы ажыратылған InSAR биіктік моделі Қостанай облысының жазықтық–төбелік құрылымын анықтауда жоғары дәлдік көрсетті: биіктік мәндері 165–389 м аралығында өзгереді. Бұл айырмашылықтар өңірдің аккумулятивті жазықтары мен өзен аңғарларының морфометриялық ерекшеліктерін айқындауға мүмкіндік берді. Беткейдің орташа енісі (Slope) 0,7–4,3 аралығында, экспозиция (Aspect) негізінен оңтүстік-шығыс және солтүстік-батыс бағыттарына бағытталған, ал қисықтық (Curvature) көрсеткіштері жазық аймақтарда тұрақты, ал жыралық учаскелерде айқын өзгерістерге ұшырайтыны байқалды.



1 – сурет – InSAR негізінде алынған биіктік моделі және интерферограмманың фазалық құрылымы.

Алынған InSAR биіктік моделі кейін морфометриялық параметрлермен біріктірілді. Google Earth Engine (GEE) платформасында өңделген ALOS AW3D30 және SRTM деректерінен Elevation, Slope, Aspect және Curvature көрсеткіштері есептеліп, олар InSAR нәтижелерімен салыстыру үшін көпқабатты стекте біріктірілді. Бұл көпмодельді интеграция рельефтің құрылымын, беткейдің бағыттылығы мен еңісін, ағындардың таралуын және жыралық-эрозиялық процестердің белсенділігін бағалауға мүмкіндік берді (2 – сурет).



2 – сурет – InSAR + SRTM/ALOS интеграцияланған морфометриялық кабаттары.

InSAR арқылы жетілдірілген рельефтік параметрлер векторлық түрде әрбір пиксельге бекітіліп, әрі қарай жер бетінің қасиеттерін сипаттайтын қосымша айнымалылармен біріктірілді. Бұл айнымалылар қатарына өсімдік жамылғысының динамикасын сипаттайтын NDVI индекстері, топырақ құрылымы мен ылғалдылық көрсеткіштері (Clay, Sand, Silt, Bulk density) және гидроморфологиялық параметрлер (Flow accumulation, Flow direction) енгізілді.

Аталған параметрлер Random Forest (n=300) және RBF ядросындағы Support Vector Machine сияқты машиналық оқыту модельдеріне енгізіліп, Қостанай облысы аумағындағы рельеф пен топырақ құрылымының жер пайдалану типтерін ажыратуға әсері бағаланды.

Машиналық оқыту кезеңінде GEE платформасындағы `ee.Terrain`, `ee.Image.addBands`, `ee.Classifier.smileRandomForest` және `ee.Classifier.libsvm` модульдері қолданылды. Қосымша тексеру Python ортасында `scikit-learn` кітапханалары арқылы жүргізіліп, деректер `StandardScaler()` әдісімен нормаландырылды.

3 – кесте – Жер пайдалану типтері және олардың түс диапазоңдары.

Класс	Коды	Атауы	Түс
0	Cropland	Егістік алқаптар	#ffffb2
1	Grassland	Жайылым	#78c679
2	Tree Cover	Орман	#238443
3	Bare/Sparse	Жалаңаш жер	#d9d9d9

Жіктеу нәтижелері жоғары дәлдікті көрсетті: Random Forest моделі үшін жалпы дәлдік (OA) 0.92, ал SVM (RBF) үшін — 0.88 деңгейінде болды. Бұл InSAR деректерін морфометриялық көрсеткіштермен интеграциялау ауыл шаруашылығы алқаптарын, жайылымдарды, орманды және жалаңаш топырақты аймақтарды ажыратудың тиімді әдісі екенін дәлелдеді (3 – кесте).

Нәтижелер және талқылау.

Қостанай облысының жер бедерін цифрлық картографиялауда InSAR, SRTM және ALOS AW3D30 деректерін интеграциялау рельефтің морфологиялық ерекшеліктерін жоғары дәлдікпен бағалауға мүмкіндік берді. Зерттеу барысында Sentinel-1 спутнигінің SAR (VV поляризациясы) деректері, көпжылдық биіктік модельдері және морфометриялық параметрлер кешені бірге талданып, кеңістіктік құрылымдардың өзгерісін жан-жақты сипаттайтын цифрлық база құрылды.

Sentinel-1 деректерінің уақыттық қамтылуы кең болды: 2015–2024 жылдар аралығында Қостанай облысы бойынша 160-тан астам SAR суреттері жиналып, олар интерферометриялық өңдеу үшін пайдаланылды (1–кесте). Перпендикуляр базистердің үлестірілімі өңдеудің интерферометриялық тұрақтылығын сақтап, InSAR модельдерінің фазалық қателігін төмендетуге мүмкіндік берді.

№	Бағаланған көрсеткіш	Нәтиже	Ғылыми интерпретация
1	InSAR биіктігінің орташа қателігі (RMSE)	2–8 м	Қостанай облысының жазық рельефі үшін жоғары интерферометриялық тұрақтылықты көрсетеді.
2	Еністік (Slope) диапазоны	0.4–4.7	Жазық аймақ басым, бірақ орталық және оңтүстік-шығыста жыралы бедер қалыптасқан.
3	Экспозицияның (Aspect) басым бағыттары	СШ–ОБ бағыттары	Су ағымдарының негізгі бағыттары мен бедердің құрылымдық асимметриясын көрсетеді.
4	Қисықтық (Curvature) вариациясы	±0.5–1.2	Жыралар мен өзен аңғарлары айқын көрінеді, су жинау құрылымы тұрақты.
5	InSAR + SRTM/ALOS интеграциясының сәйкестік коэффициенті	0.87–0.93	Модельдердің біріктірілгенде жоғары дәлдікпен жұмыс істейтінін дәлелдейді.

6	Морфометриялық қабаттардың негізгі үлесі	Еңістік (45%), Экспозиция (25%), Қисықтық (20%), Биіктік (10%)	Морфологиялық талдауда еңістік шешуші фактор екенін көрсетеді.
7	Рельефтің негізгі типтері	Жазық, әлсіз толқымды, жыралы-аңғарлы құрылымдар	Аймақтағы табиғи ландшафттардың морфологиялық әртүрлілігін сипаттайды.
8	Интеграцияланған ЦМР-дің практикалық маңызы	Эрозия карталау, гидромодельдеу, ауыл шаруашылық жоспарлау	Жоғары дәлдіктегі ЦМР өңірлік басқаруда тиімді қолданылады.

1 – кесте - InSAR биіктік моделінің нәтижелері.

InSAR әдісі негізінде алынған рельеф моделі SRTM және ALOS деректерімен салыстырмалы талдаудан өтті. Алынған биіктік айырмашылықтары жалпы алғанда 2–8 метр диапазонында болды, бұл Қазақстанның солтүстік жазық аймағы үшін өте тұрақты нәтижені білдіреді. Интеграцияланған модельдің морфометриялық қабаттары (Slope, Aspect, Curvature) Қостанай облысының рельефінің айқын құрылымын көрсетіп, өзен аңғарлары, шайынды жыралар және биіктік өзгерістерін нақты бөлектеуге мүмкіндік берді. Рельефтің еңістігі жалпы облыс бойынша 0,4–4,7 шегінде болды. Солтүстік-батыс бөлікте еңістік аз (0,4–1,2), ал орталық және оңтүстік-шығыс бөліктерде 3–4-қа дейін артып, жыралы-мұңдалдық құрылымдардың дамығанын көрсетеді. Бұл болашақта эрозиялық қауіп карталарын құрастыруда маңызды.

Қорытынды.

Бұл зерттеуде Қостанай облысының жер бедерін цифрлық картографиялауда InSAR, SRTM, ALOS AW3D30 және оптикалық спутниктік деректерді интеграциялау арқылы жоғары дәлдіктегі морфометриялық сипаттамаларды алу мүмкіндігі жан-жақты қарастырылды. InSAR интерферометриясы негізінде алынған биіктік моделі рельефтің микроморфологиялық ерекшеліктерін анық көрсетіп, SRTM және ALOS деректерімен біріктірілгенде жоғары сәйкестік коэффициентін (0.87–0.93) көрсетті. Бұл оның аймақтың нақты геометриялық құрылымын бейнелеуде сенімді құрал екенін дәлелдейді.

Морфометриялық параметрлердің (Slope, Aspect, Curvature, Elevation) интеграцияланған талдауы Қостанай облысы рельефінің әркелкілігін, әсіресе жыралы-аңғарлы жүйелер мен шайынды алаптардың рөлі басым екенін көрсетті. Жер бедерінің еңісі 0,4–4,7 аралығында өзгеріп, орталық және оңтүстік-шығыс бөліктерінде эрозиялық қауіпті аймақтардың бар екенін анықтады. Топырақ қасиеттері (Clay, Sand, Silt, Bulk density) мен NDVI индексінің рельеф параметрлерімен байланысы табиғи ландшафттың кеңістіктік құрылымын және жер ресурстарының продуктивтілік әлеуетін бағалауға мүмкіндік берді.

Random Forest (OA = 0.92) және SVM RBF (OA = 0.88) машиналық оқыту алгоритмдерінің нәтижелері интеграцияланған геокеңістіктік айнымалыларды қолдану жер жамылғысын, ауыл шаруашылық алқаптарын, орман массивтерін және жалаңаш топырақ учаскелерін жоғары дәлдікпен жіктеу үшін тиімді екенін көрсетті. Бұл цифрлық рельеф моделін агроландшафтық жоспарлау, эрозиялық бақылау, су ресурстарын басқару және экологиялық мониторинг сияқты салаларда практикалық тұрғыда қолдануға мүмкіндік береді.

Жалпы алғанда, InSAR + DEM + геокеңістіктік деректер интеграциясы Қостанай облысының рельефін зерттеуде жаңа деңгейдегі дәлдік пен аналитикалық мүмкіндіктерді қамтамасыз етті.

Зерттеу нәтижелері кеңістіктік модельдеу сапасын айтарлықтай жақсартып, аймақтың табиғи ресурстарын тиімді басқаруға, жер пайдалануды оңтайландыруға және экологиялық қауіптердің алдын алуға бағытталған шешімдерді қабылдауды қолдайды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Қозыбаев, М., & Әбдірахманов, Т. (2019). Қазақстан аумағындағы цифрлық модельдер мен геокеңістіктік талдау әдістері. География және табиғи ресурстар, 4, 55–62
2. European Space Agency (ESA). (2021). Sentinel-1 User Guide: SAR Interferometry (InSAR). ESA Publications
3. Farr, T. G., et al. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): Global elevation data. *Reviews of Geophysics*, 45(2), RG2004
4. Әлібеков, Қ., & Қалиев, Е. (2020). Қашықтықтан зондтау деректерін аймақтық картографиялауда қолдану. ҚазҰУ хабаршысы. География сериясы, 3(78), 24–31
5. Hanssen, R. F. (2001). *Radar Interferometry: Interpretation and Error Analysis*. Springer
6. Сейсенова, А. (2021). Қазақстандағы жер ресурстарын басқарудағы ГАЗ технологиялары. *Қазақстан ғылымы*, 12(2), 67–74
7. Hengl, T., et al. (2017). SoilGrids250m: Global soil dataset based on machine learning. *PLoS ONE*, 12(2), e0169748
8. Әбдіғалиев, С., & Мұқанова, А. (2022). InSAR технологияларының Қазақстан аумағындағы геодинамикалық мониторингте қолданылуы. ҚР ҰҒА баяндамалары, 1, 88–95
9. Gorelick, N., et al. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27
10. Түсіпбеков, Н. (2018). *Геоморфологиялық талдау және цифрлық рельеф модельдері*. Астана: Л.Н. Гумилев ЕҰУ баспасы

11. Small, D. (2011). Radiometric terrain correction for SAR imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(8), 3081–3093
12. Оспанов, Қ. (2020). Қазақстанның солтүстік өңірлерінің топырақ және рельеф ерекшеліктері. *Топырактану және агрохимия журналы*, 3, 14–22
13. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32
14. Бекмағамбетов, Е. (2023). Google Earth Engine платформасында Қазақстан рельефін модельдеу. *ҚазҰУ хабаршысы*, 4(81), 42–49
15. Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20, 273–297
16. Қанатова, Г., & Әміреев, Н. (2021). Жер бедерінің морфометриялық параметрлерін есептеудің ГАЖ әдістері. *Геодезия және картография*, 2, 33–41
17. Қазақстан Республикасының Цифрлық даму министрлігі. (2020). Қазақстанның цифрлық карталары және геодеректер қоры. Астана
18. ҚР Ұлттық Ғарыш орталығы. (2022). KazEOSat спутниктік деректері және геокеңістіктік мониторинг. Астана