

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра Автоматизованих систем
моніторингу навколишнього
середовища

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: Застосування тривимірного ГІС моделювання при побудові
радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу Карпатського
регіону

Виконав студент 2 курсу групи МК-62
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
Шелест Борис Юрійович
Науковий керівник: к. т. н., доц.
Перелигін Борис Вікторович

Консультант: _____
Рецензент: к. геогр. н.
Лужбін Анатолій Михайлович

ОДЕСА 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та аспірантської підготовки

Кафедра Автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматизованих
систем моніторингу навколишнього середовища

Перелигін Б.В.

“ 29 ” жовтня 2018 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

ШЕЛЕСТ БОРИС ЮРІЙОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Застосування тривимірного ГІС моделювання при побудові радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу Карпатського регіону

керівник роботи: Перелигін Борис Вікторович, к.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджений наказом вищого навчального закладу від „05” жовтня 2018 року №271 „С”

2. Строк подання студентом роботи: 10. 12. 2018 р.

3. Вихідні дані до роботи: _____

на основі використання існуючих геоінформаційних систем висвітлити можливість побудови радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу Карпатського регіону

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): _____

1. Аналіз змісту гідрометеорологічного радіолокаційного моніторингу
2. Обґрунтування структури радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу
3. Лінеаментний аналіз Карпатського регіону
4. Комплексний аналіз рельєфу і лінеаментів Карпатського регіону з метою побудови радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу
5. Управління проектом

5. Перелік графічного матеріалу: _____

1. Презентація роботи

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: „29” жовтня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапів	
			у %	оцінок бальною шкалою
1	Одержання завдання на виконання магістерської роботи	29.10.2018		
2	Пошук та підбір літератури та інших джерел інформації	31.10.2018		
3	Проведення аналізу предметної області і написання першого розділу пояснювальної записки до магістерської роботи	05.11.2018		
4	Проведення аналізу предметної області і написання другого розділу пояснювальної записки до магістерської роботи	08.11.2018		
5	Проведення аналізу предметної області і написання третього розділу пояснювальної записки до магістерської роботи	14.11.2018		
6	Проведення аналізу предметної області і написання четвертого розділу пояснювальної записки до магістерської роботи	19.11.2018		
7	Рубіжна атестація	9-24.11.2018		
8	Проведення аналізу предметної області і написання п'ятого розділу пояснювальної записки до магістерської роботи	30.11.2018		
9	Виготовлення презентації	03.12.2018		
10	Друкування пояснювальної записки	04.12.2018		
11	Одержання висновку керівника магістерської роботи	07.12.2018		
12	Проходження нормативного контролю	07.12.2018		
13	Переплетіння пояснювальної записки	07.12.2018		
14	Здача роботи на кафедру та одержання висновку кафедри про допуск магістерської роботи до захисту	10.12.2018		
15	Перевірка на плагіат	13.12.2018		
16	Одержання рецензії	20.12.2018		
17	Здача готової магістерської роботи і документів секретарю АК	20.12.2018		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			

Студент Шелест Б.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи Перелигін Б.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Представлена робота Шелеста Бориса Юрійовича, на тему «Застосування тривимірного ГІС моделювання при побудові радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу Карпатського регіону».

Актуальність магістерської роботи полягає в використанні геоінформаційних програмних систем для побудови радіолокаційного поля в гірській місцевості. Це вирішить питання спостереження за погодними явищами, та завчасного попередження про виникнення часто повторюваних небезпечних гідрометеорологічних явищ, які завдають великих економічних збитків і людських жертв.

Мета дослідження: дослідження застосування тривимірного ГІС моделювання для аналізу рельєфу Карпатського регіону та підбору оптимальних місць розташування метеорологічних радіолокаторів для створення радіолокаційного поля.

Для досягнення зазначеної мети необхідне вирішення наступних завдань:

- дослідження Карпатського регіону;
- дослідження особливостей моніторингу та складнощів розташування радіолокаторів в гірській місцевості;
- дослідження геоінформаційних програмних систем;
- побудова радіолокаційного поля з урахуванням особливостей гірської місцевості;

Використання результатів роботи дасть змогу зрозуміти особливості гірських районів та недоліків геоінформаційних програмних систем при побудові радіолокаційного поля.

Магістерська робота викладена на 131 сторінках, включає 110 рисунків, 4 таблиці, 34 літературних джерел.

Ключові слова: моніторинг, метеорологічний радіолокатор, Карпати, лінеаментний аналіз, рельєф, гори.

SUMMARY

The work of Boris Y. Shelest is presented on the topic "Application of three-dimensional GIS simulation in the development of a radar system of hydrometeorological monitoring in the Carpathian region".

The urgency of the master's work is to use geoinformation software systems for building a radar field in mountainous terrain. This will solve the problem of observing weather phenomena, and early warning of the occurrence of often repeated dangerous meteorological phenomena that cause great economic losses and human casualties.

The purpose of the study: the study of the application of three-dimensional GIS simulation for the analysis of the terrain of the Carpathian region and the selection of optimal locations of the meteorological radar for the creation of a radar field.

To achieve this goal, the following tasks need to be addressed:

- research of the Carpathian region;
- studying the features of monitoring and the complexity of location of radars in mountainous terrain;
- research of geoinformation software systems;
- construction of the radar field taking into account the features of the mountainous terrain;

Using the results of work will help to understand the features of mountain areas and the disadvantages of geoinformation software systems in the construction of radar field.

Master's thesis is presented on 131 pages, includes 110 drawings, 4 tables, 34 literary sources.

Keywords: monitoring, meteorological radar, Carpathians, linear analysis, terrain, the mountains.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ВМІСТУ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЙНОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ	9
1.1 Зміст гідрометеорологічного моніторингу.....	9
1.1.1 Автоматичні метеорологічні станції.....	13
1.1.2 Метеорологічні спостереження і величини	16
1.2 Радіолокаційний гідрометеорологічний моніторинг.....	17
1.3 Організація гідрометеорологічного моніторингу.....	21
1.3.1 Типовий метеорологічний радіолокатор	25
1.3.2 Доплерівський метеорологічний радіолокатор	27
2 ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ	30
2.1 Зона спостереження	30
2.1.1 Оцінки опадів	32
2.1.2 Розповсюдження і розсіювання радіолокаційних сигналів.....	34
2.1.3 Розсіювання хмарами і опадами.....	37
2.2 Покриття зони спостереження радіолокаційним полем	38
2.3 Варіанти побудови радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу в рівнинних районах.....	46
3 ЛІНЕАМЕНТНИЙ АНАЛІЗ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ	50
3.1 Особливості побудови радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу в гірських районах.....	50
3.2 Складові лінеаментного аналізу	53
3.3 Лінеаментний аналіз Карпатського регіону	55
3.3.1 Структура Карпатського регіону.....	55
3.3.2 Виділення лінеаментів в геоінформаційній системі Geomatica ..	61
3.3.2 Виділення лінеаментів в геоінформаційній системі ArcGis.....	71
4 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РЕЛЬЄФА І ЛІНЕАМЕНТІВ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНА З МЕТОЮ ПОБУДОВИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ	75
4.1 Недоліки лінеаментного аналізу існуючих ГІС при побудові радіолокаційної системи.....	75
4.1.1 Недоліки виявлення лінійних об'єктів в ГІС Geomatica.....	75

4.1.2 Недоліки виявлення лінійних об'єктів в ГІС ArcGis	78
4.2 Спільний аналіз рельєфу і лінеаментів для вибору місця розміщення метеорологічних радіолокаційних станцій.....	80
4.2.1 Створення 3D-моделі рельєфу Карпатського регіону.....	80
4.2.2 Виділення водотоків	84
4.2.3 Створення контуру поверхні Карпатського регіону	95
4.2.5 Виділення висот	99
4.2.6 Аналіз отриманих результатів	101
5 УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТОМ.....	108
5.1 Планування проекту	108
5.2 Управління ризиками проекту.....	111
5.3 Оцінка трудомісткості і швидкості розробки системи	112
5.4 Організаційне забезпечення проекту	116
ВИСНОВКИ.....	119
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	120
Додаток А Графічна частина магістерської роботи.....	123

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

BUFR - Binary Universal Form for the Representation of meteorological data - код метеорологічних даних

АМСС – автоматизованою метеорологічною системою спостереження

АНСС – автоматизованою наземною системою спостереження

АРМС – Автоматичні радіометеорологічних станції

АСПД – Автоматизована система передачі даних

ВМО – Всесвітня метеорологічна організація

ГІС – геоінформаційна система

ДСА – діаграма спрямованості антени

ЕПР – ефективною площею розсіювання

ЄРП – Єдине радіолокаційне поле

ГМЦР – Гідрометеорологічний центр радіолокації

ІКО – індикатор кругового огляду

КПЛ – комплекс пасивної локації

МРЛС – метеорологічна радіолокаційна станція

МРЛ – метеорологічний радіолокатор

РЛ – радіолокатор

РЛІ – радіолокаційна інформація

РЛП – радіолокаційне поле

РЛС – радіолокаційна станція

СШО – системи штормоповіщення

ВСТУП

Зростання числа природних і техногенних катастроф, особливо в гірській місцевості, в останні роки свідчить про необхідність розвитку систем радіолокаційного моніторингу таких регіонів. Використання такого роду систем дозволяє безперервно спостерігати за атмосферою Землі, передбачати погодні явища, для завчасного виявлення небезпечних метеорологічних явищ та прийняття ефективних рішень в разі виникнення надзвичайної ситуації.

Важливість радіолокаційного гідрометеорологічного моніторингу в екосистемах гірських районів обумовлена як правило, часто повторюваними небезпечними гідрометеорологічними явищами, які завдають великих економічних збитків і найголовніше – забирають життя людей (паводки на річках, лавини і зсуви). Всі ці процеси є наслідком погодних явищ, в першу чергу виникаючих через рясні опади. Таким чином, оперативні спостереження за атмосферою є необхідними складовими моніторингу довкілля.

Для моніторингу гірської місцевості потрібно встановлювати безлічі метеорологічних радіолокаторів, з урахуванням особливості регіону. Тобто створювати радіолокаційне поле, яке повинно складатися з частково або повністю автоматизованих метеорологічних радіолокаторів. Всі метеорологічні радіолокатори повинні синхронно працювати за єдиною програмою спостереження і надавати безперервно поточну інформацію про метеорологічні явища.

Тема магістерської роботи – «Застосування тривимірного ГІС моделювання при побудові радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу Карпатського регіону». Дана робота передбачає дослідження рельєфу Карпатського регіону, підбору місць розташування метеорологічних радіолокаторів для створення єдиної радіолокаційної мережі Карпатського регіону.

Дослідницька частина цієї роботи – дослідження геоінформаційних систем для автоматичного лінеаментного аналізу (виділенню лінійних об'єктів, а саме хребтів гір) Карпатського регіону.

1 АНАЛІЗ ВМІСТУ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЙНОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ

Гідрометеорологічними спостереженнями називають кількісні вимірювання метеорологічних величин, а також реєстрацію атмосферних явищ. Гідрометеорологічні спостереження діляться на контактні і дистанційні.

Контактні вимірювання засновані на фізичному контакті приймальної частини приладу безпосередньо з повітряним середовищем. До них відноситься весь комплекс вимірювань на метеорологічних станціях, а також аерологічне, літакове і ракетне зондування атмосфери.

Дистанційні спостереження засновані на методах пасивної і активної локації. Пасивна локація являє собою вимір електромагнітного випромінювання, що виходить від об'єкта. До методів пасивної локації відносять все різноманіття супутникових вимірювань.

При активній локації прилад (локатор) сам випускає електромагнітні або звукові хвилі, фіксуючи відбитий від об'єкта електромагнітний (звуковий) сигнал. До методів активної локації відносяться радіолокаційні, лідарні (лазерні), содарні (звукові) спостереження. Інтенсивність випромінювання (в разі пасивної локації) або електромагнітного (акустичного) еха (в разі активної локації) за спеціально розробленими фізичним методикам перекладається в кількісні величини, що характеризують стан об'єкта. Так, за даними супутникових радіометрів встановлюється температура і вологовміст атмосферного повітря, температура верхньої межі хмарності, водність хмар, температура земної поверхні, морське збудження хвиль, альbedo земної поверхні і хмар і т. д. За даними радіолокаторів відновлюють вертикальну потужність хмар і їх водність, інтенсивність опадів, що випадають, а за результатами лідарного і содарного зондування – вертикальні профілі температури, характеристик вологості, концентрацій аерозолів і інше[1].

1.1 Зміст гідрометеорологічного моніторингу

Метеорологічна станція – це установа для здійснення метеорологічних спостережень в місці, що задовольняє вимогам що до рельєфу та інших природних особливостей району, а також близькості будівель, промислових і транспортних об'єктів.

Метеорологічна станція повинна розташовуватися в місці, найбільш типовому для району, в якому планується проводити метеорологічні спостереження. Вона складається з метеорологічних майданчиків, де розташовані основні прилади для метеорологічних спостережень, з барометрами і барографами. Метеорологічна станція обладнується стандартною для даної мережі апаратурою, за допомогою якої здійснюється спостереження в встановлені строки та в певній послідовності.

Атмосфера – найрухоміша оболонка земної кулі. Тому процеси, що визначають зміни погоди в конкретному місці, розвиваються на великих просторах. Крім того, результати метеорологічних спостережень є початковими і граничними умовами для математичних моделей глобальної атмосфери, на основі яких в останні 20-30 років в світових метеоцентрах складаються прогнози погоди. Всі ці обставини змушують розміщувати метеорологічні і аерологічні станції на величезних територіях і по можливості на рівній відстані один від одного. В ідеалі всесвітня метеорологічна мережа повинна являти собою ряд станцій, рівновіддалених одна від одної не більше ніж на 100 км – це приблизно 32 500 точок спостережень по всій земній кулі. В реальності міжнародна мережа ВМО налічує близько 10 тисяч метеорологічних і аерологічних станцій[1].

Всі гідрометеорологічні станції, класифікуються в залежності від проведених на них спостережень. Виділяють метеорологічні, аерологічні, берегові гідрометеорологічні, суднові (дрейфують) гідрометеорологічні, відомчі та гідрологічні станції.

Метеорологічні станції – проводять спостереження за повною програмою і обробляють їх дані, передають їх по каналах зв'язку до місцевих управлінь гідрометслужби у встановлені терміни. Часто крім повної програми метеорологічних спостережень, виконується аерологічної зондування.

Наукова метеорологічна обсерваторія або станція, організована для наукової роботи, зазвичай виконує унікальні вимірювання, набір яких залежить від завдань, поставлених перед обсерваторією (станцією). Це можуть бути дистанційні спостереження (лідарні, радарні, радіометричні й т.

д.), хімічні (аналіз проб газів і аерозолів), комплекс гляціологічних робіт і т. д.

На аерологічних станціях, крім основної програми місцеспостереження, два рази на добу (в 0:00 і о 12:00 за єдиним координованим часом) обов'язково проводять запуск радіозонда, який виконує вимірювання температури повітря, температури точки роси, тиску, швидкості і напрямку вітру на стандартних ізобаричних поверхнях. Ці дані необхідні як для чисельного, так і для синоптичного аналізу і прогнозу погоди, тому вони завжди передаються в регіональні та центральні управління гідрометеослужби і знаходяться в міжнародному обміні в рамках ВМО[2].

Берегові станції розташовані на морських узбережжях. Крім метеорологічних спостережень, на них проводяться деякі океанологічні вимірювання, завжди вимірюється температура і рівень води, а також якісно оцінюється стан морської поверхні і бальність стану хвиль.

На станціях-обсерваторіях проводяться хвильові і батиметричні спостереження.

Дрейфуючі станції – це суднові станції, станції, що дрейфують в морських водах, і станції, що дрейфують на морських кригах. Їх об'єднує одне – постійна зміна місцезнаходження, і з позицій кліматології, спостереження на них безглузді. Однак в якості додаткового джерела даних для аналізу і прогнозу погоди, а також для науково-дослідних завдань вони дуже цінні.

Суднові станції розташовуються на бортах науково-дослідних, транспортних або військових суднах. Повнота вимірювань залежить від завдань, поставлених перед дослідниками. Як правило, спостереження ведуться за скороченою програмою. Однак, якщо мова йде про великий науково-дослідницький експеримент, навіть на судах можливий повний перелік спостережень, включаючи аерологічні. Велика проблема суднових спостережень – їх репрезентативність. Умови суднових спостережень не задовольняють тим вимогам, які сформульовані ВМО.

Так звані гідрометеорологічні буї, як правило, вимірюють температуру, характеристики вологості і вітру, а також атмосферний тиск і опади.

Станції, що дрейфують на морських льодах, виконують зазвичай всі можливі метеорологічні і океанологічні спостереження, оскільки цілі гідрометеорологічних спостережень в льодових районах, як правило, наукові.

Морські станції – це постійні буї. Їх стали використовувати в останні роки. Однак існує проблема репрезентативності одержуваних з їх допомогою метеорологічних даних через вплив морських бризів і стану хвиль.

На агрометеорологічних станціях проводиться повний обсяг метеорологічних спостережень, при цьому особлива увага приділяється оцінці компонентів теплового балансу, спостереження за термічним режимом ґрунту і снігового покриву. Крім того, додається спостереження за цілим рядом кількісних показників, що відображають життєві цикли рослин, головним чином сільськогосподарських культур. Це такі, як початок і кінець вегетаційного періоду, початок і завершення цвітіння, кушіння, і безліч інших показників.

До складу гідрометслужби також входять гідрологічні станції, на яких проводяться, головним чином, гідрометричні вимірювання на річках, водосховищах, озерах, болотах, а також моніторинг лавинної обстановки в гірських регіонах.

Найважливішою проблемою будь якої метеорологічної мережі є її просторова неоднорідність[2].

Метеорологічні (і відповідні екологічні та геофізичні) спостереження проводяться в силу цілого ряду причин. Дані таких спостережень використовуються для підготовки в режимі реального часу метеорологічних аналізів, прогнозів і попереджень про несприятливі погодні умови, для дослідження клімату, в поточній діяльності галузей економіки, які залежать від погоди (наприклад, забезпечення польотів повітряних суден з місцевих аеродромів, будівельних робіт на суші і на морі), для цілей гідрології та сільськогосподарської метеорології і для проведення наукових досліджень в області метеорології і кліматології.

Репрезентативність даних спостережень – це той ступінь точності, з якою вони описують значення змінної величини, необхідної для конкретної мети. У зв'язку з цим – це не зафіксована якість будь-яких даних спостережень, а результати спільної оцінки приладів, інтервалу вимірювань і розміщення приладів в порівнянні з вимогами певного конкретного застосування.

Наприклад, дані синоптичних спостережень повинні бути, як правило, репрезентативними для району розміром до 100 км навколо станції, однак для дрібномасштабних або місцевих застосувань розглянутий район може мати розмір відповідної території в 10 км або менше.

Забезпечення потреб в результатах спостережень досягається шляхом використання вимірювань в точці або систем дистанційного зондування (включаючи космічні системи) відповідно зі здатністю різних сенсорних систем проводити вимірювання необхідних величин. Глобальна система спостережень, розроблена так, що задовольняє ці потреби, складається з наземної і космічної підсистем.

У наземну підсистему входить безліч станцій (пунктів спостережень) різного типу, в залежності від конкретного застосування (наприклад, наземна синоптична станція, аерологічна станція, кліматологічна станція і т.д.).

Космічна підсистема включає ряд космічних апаратів, які здійснюють зондування з космосу, і пов'язаний з ними наземний комплекс для управління, контролю та отримання даних[2].

1.1.1 Автоматичні метеорологічні станції

Автоматична метеорологічна станція (АМС) визначається як «метеорологічна станція, на якій виконуються спостереження і їх дані передаються автоматично».

Більшість метеорологічних величин, необхідних для синоптичних, кліматологічних і аеронавігаційних цілей, можуть бути виміряні за допомогою автоматичного приладового забезпечення. У міру розширення можливостей автоматичних систем постійно збільшується співвідношення між повністю автоматизованими метеорологічними станціями і метеорологічними станціями, що обслуговуються спостерігачами (з автоматичним приладовим забезпеченням або без нього).

На АМС приладові вимірювання зчитуються або приймаються центральним блоком збору даних. Дані, зібрані з автономних вимірювальних пристроїв, можуть оброблятися безпосередньо на АМС або в іншому місці, наприклад на центральному процесорі мережі.

Автоматичні метеорологічні станції можуть бути сконструйовані відповідно до комплексної концепції різних вимірювальних пристроїв в поєднанні з блоками для збору і обробки даних. Подібна комбінована система приладів, інтерфейсів і блоків для обробки і передачі даних зазвичай іменується автоматизованою метеорологічною системою спостереження (АМСС) або автоматизованою наземною системою спостереження (АНСС).

Автоматичні метеорологічні станції використовуються для підвищення кількості та надійності даних наземних спостережень.

Вони досягають це за рахунок:

- збільшення щільності існуючої мережі шляхом отримання даних з нових місць і з місць, які є важкодоступними і несприятливими для роботи спостерігачів;
- забезпечення даними обслуговуючих станцій, понад звичайні години роботи;
- підвищення надійності вимірювань за допомогою використання складної технології і нових цифрових методів вимірювань;
- забезпечення однорідності мереж шляхом стандартизації методів вимірювань;
- задоволення нових потреб і вимог в сучасних спостереженнях;
- зменшення помилок персоналу;
- зниження оперативних витрат завдяки зменшенню числа спостерігачів;
- проведення вимірювань та подання інформації з високою частотою або постійністю[3].

Автоматичні метеорологічні станції використовуються, щоб задовольняти різні потреби, починаючи від простого доповнення, до комплекту засобів спостережень на обслуговуваних станціях і закінчуючи заміною спостерігачів на повністю автоматизованих станціях. АМС можна класифікувати на кілька функціональних груп:

- оперативна АМС. Станція, яка забезпечує користувачів даними метеорологічних спостережень в оперативному режимі, як правило, в заздалегідь запрограмовані терміни, а також в критичних умовах або за запитом ззовні. Типове оперативне використання – це забезпечення синоптичними даними і моніторингу небезпечних явищ, таких, як урагани, а також рівнів річок або припливів.

- неоперативна АМС. Станція, яка нарівні з можливим відображенням поточних даних реєструє дані на внутрішні або зовнішні пристрої зберігання даних. Для передачі накопичених даних віддаленому користувачеві потрібно втручання спостерігача. До типових станцій цієї групи відносяться кліматологічні станції і станції, які є допоміжними в роботі спостерігача.

Обидва типи станцій можна за вибором оснастити засобами для ручного введення або редагування даних візуальних або об'єктивних спостережень, які ще не можна повністю автоматизувати, таких, як поточна і пройдешня погода, або спостережень, які пов'язані з великими витратами,

такі, як висота нижньої межі хмар і видимість. Таку станцію можна назвати частково автоматизованою або напіваавтоматичною.

АМС зазвичай є частиною мережі метеорологічних станцій, при цьому кожна станція за допомогою різних засобів передає свої оброблені дані в центральну систему обробки даних мережі. Оскільки завдання, що виконуються цією центральною системою, тісно пов'язані і часто доповнюють завдання АМС, тому потрібно дуже добре координувати функціональні і технічні вимоги як до центральної системи, так і до АМС. Оптимальне територіальне розміщення і розташування датчиків станцій мають неабиякий вплив на досягнення очікуваних результатів від АМС і тому повинні бути вивчені перед встановленням станцій. АМС може складатися з інтегрованою АМСС (і системи збору даних) або комплекту автономних вимірювальних пристроїв, підключених до блоку для збору і передачі даних.

Дедалі більше взаємодія між суспільством і атмосферою призводить до зміни і зростання потреб, таких, як необхідність більшого числа станцій і більшого числа вимірюваних змінних, передача їх через все більш короткі тимчасові інтервали, нові формати і кращі характеристики[3].

Метеорологічні вимоги до датчиків, що застосовуються в АМС, не сильно відрізняються від вимог, що пред'являються до датчиків на неавтоматизованих станціях спостережень. Оскільки вимірювання на більшості АМС контролюються з далеких відстаней, ці датчики повинні бути надійними в експлуатації, досить невибагливими в плані технічного обслуговування і повинні характеризуватися відсутністю будь-яких характерних похибок або невизначеності в технології виконання вимірювань відповідних змінних. Як правило, підходять всі датчики з електричним виходом.

Залежно від їх вихідних характеристик датчики можна класифікувати як аналогові, цифрові та «інтелектуальні».

Аналогові датчики – сигнал на виході датчика зазвичай представляється у вигляді напруги, струму, заряду, опору або ємності. Завдяки стандартизації сигналу ці базові сигнали перетворюються в сигнали напруги.

Цифрові датчики – це датчики з виводами цифрових сигналів, при цьому інформація зберігається у вигляді біта або групи бітів, а також датчики з імпульсним або частотним виходом.

«Інтелектуальні» датчики / перетворювачі – це датчики, що містять мікропроцесор, який здійснює збір основних даних і функції обробки, і забезпечує отримання на виході результатів вимірювань у вигляді повідомлень в цифровій формі[4].

1.1.2 Метеорологічні спостереження і величини

До метеорологічних величин відносяться атмосферний тиск, температура повітря і характеристики вологості (парціальний тиск, масова частка водяної пари, ставлення суміші), швидкість і напрям вітру, кількість опадів, потоки тепла і променевої енергії, кількість хмар і висота їх нижньої межі, метеорологічна дальність видимості, товщина ожеледних або змішаних відкладень і паморозі. До них також відносять величини, які безпосередньо не відображають властивості атмосфери або атмосферних процесів, але тісно пов'язані з ними. Це температура поверхні ґрунту, висота снігового покриву і тривалість його залягання, тривалість сонячного сяйва. Крім необхідного списку метеорологічних кількісних величин існує ще обов'язковий перелік атмосферних явищ, це тип хмарності, атмосферні явища (туман, заметіль, гроза, град, шквал, смерч, мряка, роса, паморозь, ожеледь, туман, пилова буря), оптичні явища (гало, веселка, вінець, сонячні стовпи і ін.). Кожен з цих елементів виражається не кількісно, а якісно. За принципом «є явище» або «нема явища». Деякі з елементів перерахованого списку також класифікуються за простою шкалою інтенсивності (слабке явище, поміrne, сильне). Це відноситься до туману, граду, мряки, паморозі, ожеледиці, грозі, хуртовини і пиловій бурі.

Перераховані вище метеорологічні спостереження здійснюються на наземних метеорологічних станціях і називаються наземними метеорологічними спостереженнями. Крім них існують аерологічні спостереження, які представляють собою вимірювання основних метеорологічних величин (тиску, температури, вологості, швидкості і напрямку вітру) у вільній атмосфері на певних, строго фіксованих вертикальних рівнях (ізобаричних поверхнях). Ці спостереження необхідні для складання прогнозу погоди як синоптичними, так і чисельними методами, а також для обслуговування авіації. Спостереження за станом високих шарів атмосфери (вище 40 км над рівнем моря) – називається аерологічним. До них в першу чергу відноситься ракетне зондування атмосфери.

Метеорологічні станції організовуються таким чином, щоб репрезентативні вимірювання (або спостереження) можливо було проводити відповідно до типу даної станції. Так на станції, що входить в синоптичну мережу, повинні проводитися спостереження які задовольняють потреби даних, в синоптичному масштабі, в той час як на авіаційній метеорологічній станції спостереження повинні проводитися спостереження, що дають опис конкретних умов для місцевого пункту (аеродрому). У тих випадках, коли станції використовуються для кількох цілей, наприклад для цілей авіації, синоптичних і кліматологічних цілей, то найбільш сувора вимога буде диктувати точне положення місця спостережень та відповідних засобів вимірювальної техніки[4].

1.2 Радіолокаційний гідрометеорологічний моніторинг

Радіолокаційний гідрометеорологічний моніторинг – метод вивчення атмосфери, що використовують метеорологічні радіолокатори (МРЛ). Призначені для отримання інформації про хмарність, опади і пов'язаних з ними небезпечні явища погоди. МРЛ широко застосовуються в службах понадкороткострокового прогнозу погоди в будь-який час доби.

Автоматичні радіометеорологічних станції (АРМС) встановлюються в важкодоступних або необжитих районах (високогір'ях, арктичних островах, льодах, що дрейфують) (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Метеорологічна радіолокаційна станція

До складу АРМС входять:

- комплект метеорологічних, а при потребі і гідрологічних, датчиків;
- центральний пристрій, який здійснює обробку інформації, що надходить від датчиків, зберігання результатів до їх передачі, формування коду;
- радіостанція, апаратура, джерело живлення – вітрогенератор з акумулятором.

Спостереження за допомогою метеорологічних радіолокаторів дозволяють встановити місцезнаходження і простежити за зонами атмосферних опадів, зокрема, пов'язаними з фронтальними хмарностями, сніговими зливами, грозами, купчастодощовими хмарами і тропічними штормами. Ця інформація використовується для раннього попередження про небезпечні метеорологічні явища[5].

Метою радіолокаційної мережі в складі гідрометеорологічної мережі є єдине радіолокаційне метеорологічне поле над територією, за рахунок об'єднання інформації від окремих радіолокаторів для отримання інформації про хмарність, атмосферних опадах і пов'язані з ними явища погоди в режимі реального часу в цілодобовому режимі для геофізичного моніторингу обстановки, метеозабезпечення аеронавігації, штормосповіщення, а також в

інтересах широкого кола споживачів в різних галузях економіки і державного управління.

Радіолокаційна мережа складається з наступного:

- з позицій МРЛ розміщених по території;
- центру збору інформації радіолокації мережі МРЛ;
- системи передачі даних, моніторингу та управління мережі метеорологічного радіолокатора МРЛ;
- єдиної мережі передачі даних в яку об'єднані всі радіолокатори в регіоні;
- на кожному МРЛ відбувається: отримання інформації про радіолокаційних характеристиках атмосфери, включаючи ідентифікацію метеорологічних явищ, характеристики опадів, що випадають, швидкості переміщення зон опадів і хмарності, в режимі реального часу в цілодобовому режимі.

Гідрометеорологічний центр радіолокації(ГМЦР) являє собою кінцевий пункт куди стікається вся добута інформація для систематизації з усіх метеорологічних та радіолокаційних станцій певного регіону, або комплексу регіонів в цілому, де:

- відбувається обробка зібраних даних і побудова радіолокаційних продуктів за єдиним радіолокаційним полем (об'єднаних продуктів);
- проходить архівування первинної радіолокаційної інформації МРЛ з метою довготривалого зберігання і повторної обробки;
- відбувається поширення об'єднаних продуктів мережі МРЛ споживачам через мережу передачі даних МРЛ та мережу Інтернет;
- відбувається забезпечення оперативних спостережень необхідною додатковою інформацією, моніторинг технічного стану МРЛ на позиціях, віддалене управління режимами роботи і оновлення програмного забезпечення вторинної обробки інформації на МРЛ мережі;
- проходить методичне керівництво радіолокаційними спостереженнями, включаючи контроль якості спостережень, розвиток єдиного програмного забезпечення, оперативний моніторинг роботи МРЛ в складі мережі, проведення інспекцій МРЛ, навчання технічного персоналу обслуговування МРЛ, навчання фахівців-метеорологів використання інформації МРЛ;
- проходить обмін радіолокаційної інформацією з суміжними державами і зарубіжними партнерами для розширення єдиного радіолокаційного поля;

– проводять наукові дослідження в області радіолокаційного зондування атмосфери[6].

Метеорологічна радіолокаційна інформація мережі МРЛ використовується:

- для підготовки понадкороткострокових прогнозів погоди, в прогностичних гідрометеорологічних центрах;
- для ініціалізації і верифікації чисельних моделей погоди;
- для підготовки гідрологічних прогнозів з використанням даних радіолокаційних вимірювань атмосферних опадів;
- для метеозабезпечення авіації;
- в органах державного і муніципального управління, на державних і приватних підприємствах різних галузей економіки (Міністерство Надзвичайних Справ, енергетики, будівництва, транспорту, сільського та лісового господарства);
- для використання оперативної інформації про хмарність і опади;
- для управління активними діями на гідрометеорологічні процеси і оцінки їх ефективності;
- інформація МРЛ передається державам-партнерам в рамках виконання міждержавних угод.

Обробка інформації метеорологічних радіолокаторів організована на двох рівнях:

- на радіолокаційній позиції, дані кожного МРЛ обробляються на своїй позиції, отримані радіолокаційні продукти передаються в різних форматах одночасно локальним споживачам;
- повний набір (первинних) даних радіолокаційних спостережень з усіх МРЛ мережі передається в єдиний центр обробки даних мережі Гідрометеорологічний центр радіолокації, для архівування і побудови «об'єднаних» карт вторинних радіолокаційних продуктів в рамках «єдиного радіолокаційного поля». Обробка «об'єднаних» даних в рамках єдиного радіолокаційного поля дозволяє отримати радіолокаційні продукти третього рівня, недоступних при обробці даних одного радіолокатора, прогностична цінність яких багаторазово зростає.

Спостереження в мережі МРЛ проводиться за єдиним регламентом і з використанням єдиної програми вторинної обробки радіолокаційних даних.

Радіолокаційні спостереження знаходять широке застосування для наступного:

- виявлення, спостереження і попередження про небезпечні явища погоди;
- стеження за метеорологічними системами синоптичного мезомасштаба;
- оцінки миттєвої інтенсивності і сум опадів.

Радіолокаційні характеристики будь-якого автономного радіолокатора не можуть бути ідеальними для всіх видів спостережень. Критерії вибору системи радіолокації зазвичай оптимізуються для використання в декількох областях, але також можуть виділятися і спеціальні, які найкращим чином відповідають конкретному, найбільш важливому застосуванню. Вибір довжини хвилі, ширини променя, тривалості імпульсу і частоти повторення імпульсів (ЧПІ) визначаються поставленими цілями. Тому перед визначенням конфігурації радіолокатора користувачам слід приділити особливу увагу виду застосування і кліматичним умовам[7].

1.3 Організація гідрометеорологічного моніторингу

До складу мережі МРЛ входить безліч метеорологічних радіолокаторів. До складу мережі МРЛ можуть включатися діючі і споруджувані метеорологічні радіолокатори інших типів, що функціонують за єдиним регламентом, що забезпечують отримання подібного спектра радіолокаційних продуктів і передавальні первинні дані в єдиний центр збору.

В якості додаткових джерел радіолокаційної інформації про хмарність і опади в мережі МРЛ може використовуватися інформація від метеоканалів аеронавігаційних радіолокаторів, радіолокаторів мережі воєнізованої служби з активного впливу на метеорологічні та інші геофізичні процеси, малих метеорологічних радіолокаторів.

Для забезпечення комплексного характеру метеорологічних вимірювань до складу радіолокаційних позицій МРЛ можуть включатися додаткові системи метеорологічних спостережень: грозопеленгатор, метеорологічні станції, що використовують системи електропостачання, зв'язку, охоронної та пожежної сигналізації.

Радіолокатор – єдиний існуючий наземний засіб моніторингу небезпечних явищ погоди на великій території. Інтенсивність ехосигналу, його площа і характерні особливості можуть бути використані для

визначення зон з небезпечними явищами погоди, включаючи грози з можливим випаданням граду і вітрами руйнівної сили (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Метеорологічний радіолокатор

Доплерівські радіолокатори, які можуть визначати і вимірювати параметри сильного вітру, пов'язані з фронтами, пориви вітрів, спадні мікроривори і торнадо, відкривають нові можливості. Номінальна дальність охоплення становить близько 200 км, що є достатнім для місцевого короткострокового прогнозу і видачі попереджень. Для розширення зони охоплення використовуються мережі радіолокаторів. Радіолокаційні попередження вимагають ефективної інтерпретації, виконані знаючим і добре підготовленим персоналом[7].

Радіолокатори можуть забезпечити практично безперервний моніторинг погоди, пов'язаної зі штормовими збуреннями синоптичного масштабу і мезомасштаба, на великій території (наприклад, при радіусі 220 км – площа огляду становить 125 000 км²), на рівнинній місцевості.

Через відображення від наземних предметів на малій дальності, а також через кривизну Землі, максимальна практична дальність метеорологічних спостережень становить близько 200 км. На великих водних просторах інші засоби спостереження, часто, або відсутні, або не реалізовані. За допомогою

мережі радіолокаторів можна розширити зону контрольованої території при тій же економічній ефективності.

Радіолокатори забезпечують достовірне виявлення зон опадів. Більш вузькі промені забезпечують кращу роздільну здатність вимірюваних характеристик і ефективність на більшій дальності дії. В регіонах, де часто спостерігаються рясні і великі за площею випадання – опади, для коректного вимірювання опадів потрібно довжина хвилі радіолокатора 10 см. В інших районах, таких як середні широти, радіолокатори з довжиною хвилі 5 см можуть бути досить ефективними при набагато менших витратах. Хвилі довжиною 3 см занадто сильно послаблюються в опадах і мало ефективні, за винятком ситуацій з дуже слабким дощем або снігом.

При виборі місць для розміщення позицій МРЛ необхідно враховувати не тільки вимоги щодо забезпечення максимальної зони огляду, але також і віддаленість радіолокаційної позиції від населених пунктів, доріг, мереж електропостачання та зв'язку. Для підвищення якості і прискорення процедури вибору позицій повинен бути розроблений підхід до вибору позицій з використанням спеціалізованого програмного забезпечення для розрахунку зони радіолокаційного огляду, з урахуванням умов нормальної рефракції радіовипромінювання в атмосфері і розрахунку блокування радіолокаційного огляду за даними цифрових карт рельєфу місцевості з високим просторовим дозволом[8].

Мережа МРЛ складається з:

- позицій МРЛ, на кожній з яких встановлено радіолокатор МРЛ, підключений в єдину мережу. Можливе включення в мережу МРЛ сучасних метеорологічних радіолокаторів інших виробників;
- центру збору та обробки даних мережі МРЛ, розташованого в ГМЦР;
- мережі передачі даних, моніторингу та управління.

Доплерівські радіолокатори дозволяють визначати різницю фаз між переданим і прийнятим імпульсом. Ця різниця є міра середньої доплерівської швидкості частинок – відбиваності, середньозваженої по радіальним компонентам швидкостей переміщення гідрометеорів в імпульсному обсязі. Ширина доплерівського спектра є мірою просторової мінливості швидкостей і приблизно оцінює зрушення вітру і турбулентність. Доплерівські радіолокатори відкривають нові можливості в області метеорологічних радіолокаційних спостережень, і більшість сучасних систем мають таку функціональну можливість.

Головним завданням фахівців радіолокаційної позиції є проведення спостережень у відповідність до затвердженого регламенту. Інформація МРЛ передається в ГМЦР через мережу для забезпечення створення єдиного радіолокаційного поля.

Інформація МРЛ також передається локальним споживачам: АМСЦ, диспетчерським авіаційним центрам, ЦГМС. Організація-власник МРЛ має право укласти господарські договори на надання радіолокаційної інформації свого МРЛ зацікавленим споживачам. Підключення нових користувачів до мережі МРЛ проводиться тільки з відома і під контролем ГМЦР.

Система передачі даних, моніторингу та управління МРЛ здійснює:

- передачу первинної радіолокаційної інформації від всіх МРЛ в центр збору в ГМЦР;
- передачу радіолокаційних продуктів МРЛ локальним споживачам;
- передачу радіолокаційних продуктів МРЛ в мережу АСПД для поширення споживачам,
- передачу додаткової інформації з центру збору в ГМЦР всім МРЛ для забезпечення їх функціонування;
- передачу службової інформації від всіх МРЛ в центр збору в ГМЦР для забезпечення автоматизованого моніторингу стану апаратно-програмних засобів МРЛ,
- забезпечення віддаленого доступу з ГМЦР на кожен позицію МРЛ для управління режимами радіолокаційних спостережень, зміни спеціалізованого програмного забезпечення, отримання додаткової інформації про функціонування апаратно-програмних засобів МРЛ.

Оперативне керівництво мережею МРЛ здійснюється з єдиного центру – Гідрометеорологічного центру радіолокації. Так як радіолокаційні позиції мережі МРЛ розташовані на великій території і інформаційні продукти радіолокаційних спостережень готуються за даними всіх МРЛ, що входять в мережу, в режимі реального часу, з циклом оновлення 10 хвилин, забезпечення високої якості спостережень можливо тільки при оперативному керівництві мережею з єдиного центру[8].

До завдань центру також входить збір, ведення архіву, контроль якості спостережень, взаємодія з позиціями МРЛ в разі виникнення аварій, підготовка і видача споживачам радіолокаційних продуктів другого (по окремим МРЛ) і третього («об'єднані» карти по ЄРП) рівня.

Вторинна обробка радіолокаційних даних МРЛ проводиться:

- на віддаленому керуючому обчислювальному комплексі на кожній позиції МРЛ;
- в центрі збору даних в ГМЦР.

Вторинні продукти, побудовані на позиції, передаються локальним споживачам для відображення на абонентських пунктах.

Вторинні продукти в коді BUFR, побудовані на позиції, передаються в мережу АСПД для передачі споживачам радіолокаційної інформації.

Первинні радіолокаційні дані (об'ємні файли) передаються по мережі від кожної позиції в ГМЦР для обробки та архівування[9].

1.3.1 Типовий метеорологічний радіолокатор

Основний метеорологічний радіолокатор складається з наступних елементів:

- передавача для випромінювання радіохвиль певної потужності в мікрохвильовому діапазоні;
- антени для фокусування випромінюваних мікрохвиль в вузький промінь і прийому відбитої потужності;
- приймача для виявлення, посилення і перетворення мікрохвильового сигналу в низькочастотний сигнал;
- процесора для вилучення корисної інформації з отриманого сигналу;
- системи відображення інформації в доступній формі.

Іншими елементами, які збільшують можливості радіолокатора, є:

- процесор для отримання додаткових відображень;
- система реєстрації для архівації даних з метою їх використання для навчання, дослідження і систематизації.

Метеорологічний радіолокатор може бути некогерентним, так як, фаза послідовних імпульсів є випадковою і невідомою[9].

Практично всі сучасні системи використовують комп'ютери для управління радіолокатором, цифрової обробки сигналу, реєстрації, відображення і архівації радіолокаційної продукції.

Потужність зворотного розсіювання типових радіолокаторів має порядок від 1-8 до 10-15 Вт, охоплюючи діапазон близько 70 дБ від найсильніших до найслабших сигналів, які можна виявити. Для адекватного охоплення цього діапазону сигналів в минулому використовувався логарифмічний приймач. Однак, сучасні оперативні та науково-дослідні радіолокатори з лінійними приймачами, що мають динамічний діапазон 90

дБ (і інші удосконалення), тільки ще впроваджуються. Для забезпечення достовірності вимірювання в процесорі має бути усереднення безлічі імпульсів, які можуть інтегруватися різними способами, зазвичай в цифровій формі, і повинні обумовлювати передавальну функцію ресивера (а саме, лінійну або логарифмічну). На практиці, звичайна система приймає надійшовший до антени сигнал, підсилює його, осереднює за багатьма імпульсами, коригує для передачі ресивера і за рівнянням радіолокаційної дальності перетворює в відбиваність Z .

Радіолокаційна відбиваність є фундаментальним параметром для інтерпретації радіолокаційних даних. Вона виводиться з моделі розсіювання Релея і теоретично визначається як сума діаметрів частинок (крапель), зведених в шосту ступінь, в опромінюваному об'ємі:

$$Z = \sum vol D^6, \quad (1.1)$$

де одиниця виміру Z – $\text{мм}^6 / \text{м}^3$.

У багатьох випадках, коли кількість частинок, їх склад і форма невідомі, визначається еквівалентна, або ефективна, відбиваність Z_e . Частинки снігу і льоду повинні описуватися еквівалентно Z_e , яка дорівнює Z , при допущенні, що всі частинки зворотного розсіювання є сферичними краплями[10].

В основному на практиці користуються одиницями логарифмічної шкали або одиницями $\text{дБ}Z$, які пов'язані співвідношенням: $\text{дБ}Z = 10 \log 10 Z_e$

Просторове дослідження атмосфери зазвичай проводиться за допомогою сканування антеною при фіксованому куту місця з подальшим його збільшенням при кожному оберті. Важливим аспектом є здатність радіолокатора розрізняти цілі.

Для фокусування хвиль в промінь конічної форми використовуються антени з параболічним відбивачем. Чим ширше відбивачі, тим вузьчі промені вони створюють, мають більш високу роздільну здатність і чутливість. Ширина діаграми спрямованості антени, тобто, кут стягнутий дугою між двома точками на промені, де потужність зменшується в два рази в порівнянні з потужністю на осі, залежить від довжини хвилі і може бути апроксимований за формулою:

$$\theta_b = \frac{70\lambda}{d}, \quad (1.2)$$

де θ_e – градуси;

d – діаметр антени, в тих же одиницях, що і λ .

Сучасні метеорологічні радіолокатори мають ширину діаграми спрямованості антени $0,5 - 1^\circ$.

Корисна дальність дії метеорологічних радіолокаторів, за винятком далекого виявлення гроз, має порядок 200 км. При цьому промінь з кутом місця, наприклад, $0,5^\circ$ на цій відстані досягає висоти 4 км над землею поверхнею. Ширина променя становить близько 1,5 км або більше.

Для надійних вимірювань опадів дальність повинна складати менше 200 км. На великих відстанях промінь проходить дуже високо, що виключає вимір опадів у поверхні землі.

Крім того з розширенням променя погіршується роздільна здатність і на вимірювання може вплинути недостатнє заповнення імпульсного обсягу. Формально існує максимальна однозначна дальність, яка визначається частотою повторення імпульсів, так як вона вимірюється протягом періоду повторення імпульсів. При стандартній ЧПІ це не є проблемою. Наприклад, при ЧПІ, що дорівнює 250 імпульсів в секунду, максимальна дальність становить 600 км. При більш високих ЧПІ, зазвичай 1000 імпульсів в секунду, що потрібно для доплерівських систем, дальність повинна бути сильно знижена, приблизно до 150 км[10].

1.3.2 Доплерівський метеорологічний радіолокатор

Розробка доплерівських метеорологічних радіолокаторів і впровадження їх в процес спостереження за погодою відкривають нові можливості в області радіолокаційних спостережень. Доплерівський радіолокатор забезпечує вимірювання швидкості метеорологічних цілей уздовж радіальної лінії, проведеної від радіолокатора в напрямку або до нього, або від нього.

Додаткова перевага доплерівської методики полягає в більшій чутливості радіолокатора, тісно пов'язаної з власними шумами до цілей з низькою відбиваністю, при такій чутливості можна розрізнити поле швидкості метеоцілей на тлі власних шумів радіолокатора Z .

При звичайних швидкостях метеорологічних цілей зрушення частоти є відносно малим в порівнянні з частотою радіолокатора і його дуже важко виміряти. Більш просте завдання полягає в тому, щоб запам'ятати фазу випромінюючого імпульсу, порівняти її з фазою прийнятого імпульсу і потім

визначити зміни фази між послідовними імпульсами. Потім інтенсивність зміни фази в часі безпосередньо співвідноситься зі зрушенням частоти, який, в свою чергу, прямо пов'язаний зі швидкістю цілі – це і є доплерівський ефект. Якщо фаза змінюється більш ніж на $\pm 180^\circ$, оцінка швидкості стає неоднозначною. Найвища однозначна швидкість, яка може бути виміряна доплерівським радіолокатором – це швидкість, з якою цілі, між послідовними імпульсами переміщається на відстань, більшу, ніж чверть довжини хвилі. При більш високих швидкостях, для отримання істинного значення швидкості, під час обробки сигналів потрібна додаткова операція[10].

Максимальна однозначна доплерівська швидкість залежить від довжини хвилі радіолокатора (λ) і ЧПІ та може бути виражена таким чином:

$$V_{max} = \pm \frac{PRF \lambda}{4}. \quad (1.3)$$

Максимальну однозначну дальність можна визначити за виразом:

$$r_{max} = \pm \frac{c}{PRF 2}. \quad (1.4)$$

Таким чином $V_{max} r_{max}$ зв'язані рівнянням:

$$V_{max} r_{max} = \pm \frac{\lambda}{8}. \quad (1.5)$$

Ці співвідношення показують обмеження, що накладаються вибором довжини хвилі і ЧПІ. Для збільшення однозначної швидкості бажана висока ЧПІ, низька ЧПІ бажана для збільшення дальності дії радіолокатора. До тих пір поки не буде доступна більш досконала технологія отримання однозначної інформації поза цих обмежень. Це співвідношення також показує, що більш довгі хвилі мають більш високі межі. У чисельному вираженні для типового радіолокатора S-діапазону з ЧПІ, що дорівнює 1000 Гц, $V_{max} = \pm 25 \text{ м / с}$, в той час як для радіолокатора X-діапазону $V_{max} = \pm 8 \text{ м / с}$.

Оскільки зсув частоти прийнятого імпульсу вимірюється за допомогою порівняння фаз випроміненого і прийнятого імпульсів, необхідно знати фазу

випромінюваних імпульсів. У некогерентному радіолокаторі початкова фаза послідовних імпульсів є випадковою і невідомою, так що таку систему можна застосувати для доплерівських вимірювань.

Деякі доплерівські радіолокатори є повністю когерентними, в їх передавачах використовуються дуже стабільні джерела частоти, в яких фаза визначена і відома, від імпульсу до імпульсу. Напівкогерентні радіолокаційні системи, в яких фаза послідовних імпульсів є випадковою, але відомою, дешевші і мають більше поширення. У повністю когерентних радіолокаторах для вихідних підсилювачів високої потужності зазвичай використовуються клістри, а частоти їх приймачів стабілізуються тим же джерелом, що і у передавачів. Такий підхід в значній мірі знижує фазові нестабільності, які виявляються в напівкогерентних системах, що веде до більш повного усунення відображень від наземних предметів і кращому розпізнаванню слабких атмосферних явищ в безхмарній атмосфері, які можуть бути непомітні в інших випадках[11].

Мікрохвильовим передавачем для некогерентного і напівкогерентного радіолокаторів зазвичай служить магнетрон, з урахуванням його відносної простоти і більш низької вартості разом з прийнятними для регулярних спостережень експлуатаційними характеристиками. Додаткова перевага магнетрона полягає в зменшенні доплерівської чутливості до другого і третього ехосигналів (ехосигнали, що надходять на антену радіолокатора з відстаней, що перевищують максимальну однозначну дальність) через їх випадковість фаз, хоча такий же ефект можна отримати і в когерентних системах за допомогою введення відомих псевдовипадкових порушень фази в приймач і передавач.

Некогерентні радіолокатори можна відносно легко перетворити в напівкогерентні доплерівські системи. Перетворення має також включати установку більш стабільного магнетрона коаксіального типу.

За допомогою доплерівської радіолокаційної системи отримують дані як про відбиваності, так і про швидкість. Ціль зазвичай складається з великого числа гідрометеорів (краплі дощу, снігові пластівці, крижані крупинки, град), всіляких форм і розмірів, що рухаються з різними швидкостями внаслідок їх безладного руху всередині об'єму і через їх різних швидкостей падіння. Тому поле швидкості являє собою спектр швидкостей, тобто, доплерівський спектр. Внесок від наземної цілі зосереджений на нулі і набагато вже в порівнянні з відбиттям від метеооб'єкту (рис. 1.3).

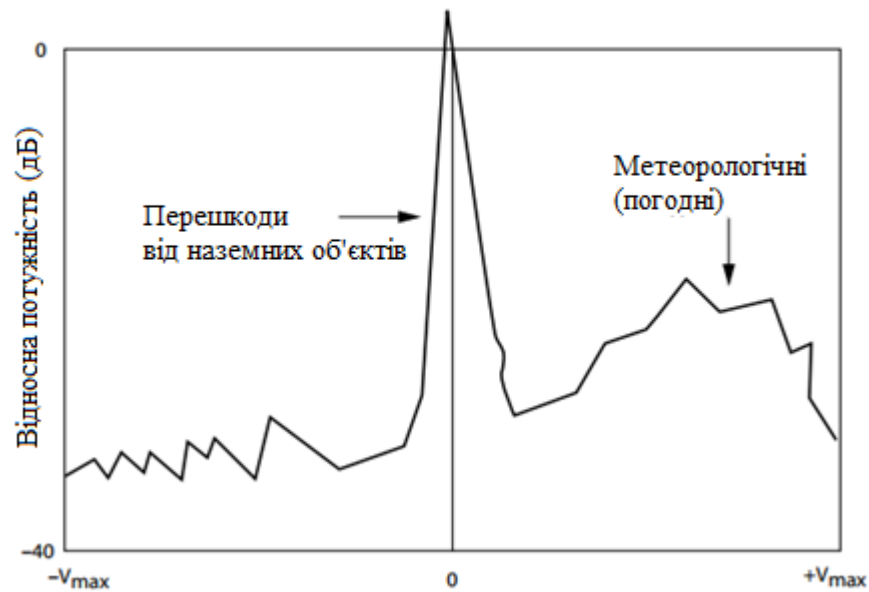


Рисунок 1.3 – Доплерівський спектр відбиття від метеорологічного об'єкта і від наземної цілі

Для обробки доплерівських параметрів використовуються дві системи різної складності. У більш простій системі обробки пари імпульсів (ОП) відбувається порівняння послідовних імпульсів у часі для отримання середньої швидкості і ширини спектра. У другій, більш складній системі, використовується процесор, який реалізує швидке перетворення Фур'є (ШПФ) для отримання повного спектра швидкостей в кожному опромінюваному об'ємі. Система ОП працює швидше, в ній виробляється менше обчислювальних операцій, вона більш надійна при низьких співвідношеннях сигнал-шум, але її характеристики, що стосуються усунення перешкод, гірше, ніж у систем БПФ. У сучасних системах робляться спроби використовувати найкращий з двох підходів усуваючи перешкоди з використанням методів ШПФ і додатково використовуючи ОП для визначення радіальної швидкості та ширини спектра[11].

2 ОБГРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИГУ

2.1 Зона спостереження

Сучасний оперативний метеорологічний радіолокатор здійснює зондування атмосфери вузьким променем, який формується параболічної антеною з діаграмою спрямованості шириною 1° . Зондування проводиться імпульсним методом, точне вимірювання тимчасової затримки відбитого метеоцілями радіосигналів дозволяє виміряти дистанцію до них, а вимір характеристик відбитого сигналу (потужності, фази, коефіцієнта кроскореляції) дозволяє визначити їх метеорологічні характеристики.

Принцип оперативних метеорологічних радіолокаційних спостережень полягає в проведенні в кожному радіолокаційному огляді послідовності азимутальних кругових сканувань верхньої півсфери під кількома кутами місця антени таким чином, що в результаті кожного огляду збирається радіолокаційна інформація про хмарність і опади на декількох конічних перетинах. Подальша комп'ютерна обробка дозволяє побудувати по набору первинних радіолокаційних даних «об'ємному файлу», який містить дані радіолокаційних вимірювань на конічні перетини в сферичній системі координат, тривимірну модель хмарної атмосфери в зоні радіолокаційного огляду: до 250 км по дальності від МРЛ і до 20 км по висоті від поверхні Землі. Чим частіше за кутом місця буде проведено сканування (більше конічних перетинів), тим докладніше буде побудована модель. У діапазоні "С" працює більшість оперативних метеорологічних локаторів в Європі.

Кожен цикл радіолокаційних спостережень триває 10 хвилин. Оперативні радіолокаційні спостереження проводяться безперервно протягом 24 годин на добу, протягом року. Таким чином, протягом доби на кожному МРЛ має бути проведено 144 радіолокаційних спостереження і отримано 144 набору даних. Зупинка радіолокаційних спостережень окремого МРЛ інтерпретується як технічна аварія і вимагає оперативного втручання технічних фахівців даної галузі для відновлення його працездатності.

МРЛ забезпечує одночасне вимірювання шести параметрів радіоеха: відбиваності, двох доплерівських характеристик і трьох поляризаційних характеристик хмарності та опадів.

У кожному 10-хвилинному циклі спостережень на МРЛ проводиться два огляди:

- в режимі «відбиваності» з низькою частотою посилок (310-380 Гц) збирається інформація про відбиваності і поляризаційних характеристиках хмарності в радіусі 250 км від МРЛ на 24 конічні перетини в діапазоні $0-85^\circ$ по куту місця, час виконання циклу вимірювань близько 4, 5 хвилин;

– в режимі «Швидкість» з високою частотою посилок (900-1100 Гц) збирається інформація про доплерівські характеристики в радіусі 120 км від ДМРЛ на 9 конічні перетини в діапазоні 0-25 ° по куту місця.

У кожному з режимів збираються дані про всіх шість вимірювальних характеристик та формується окремий об'ємний файл, але якість доплерівських вимірювань з низькою частотою посилок є відносно низька, тому ці характеристики потребують проведення зондування з високою частотою[12].

2.1.1 Оцінки опадів

Тривалий час радіолокатори використовуються для оцінки кількості опадів, які випадають та їх інтенсивності, яка здійснюється з високою просторово-тимчасовою роздільною здатністю. Велика частина досліджень стосується рідких опадів, але при відповідних припущеннях про стан метеоцілі можна також проводити вимірювання кількості снігу, що випав.

Оцінки опадів на рівні земної поверхні, одержані за допомогою типових радіолокаційних систем, здійснюються зазвичай на площі 2 км², за послідовні 5 - 10-хвилинні інтервали, за допомогою індикатора кругового огляду при малому куті піднесення і ширині променя 1°. Було отримано, що радіолокаційні оцінки інтенсивності опадів порівнянні з локальними вимірами по опадоміру з коефіцієнтом в межах 2.

Виміри з даними осадкоміра і радіолокаційних вимірювань оцінюють параметр, який безперервно змінюється. Опадомір відбирає проби на виключно невеликій площі (100 см², 200 см²), в той час як радіолокатор визначає середнє значення за обсягом в набагато більшому масштабі. Порівнянність може бути підвищена шляхом коригування радіолокаційних оцінок осадкомірними вимірами.

Більшість метеорологічних радіолокаторів є імпульсними. Електромагнітні хвилі на обраних фіксованих частотах випромінюються спрямованою антеною в атмосферу у вигляді високочастотних імпульсів великої потужності. На рис. 2.1 показана спрямована радіолокаційна антена, яка посиляє імпульсний промінь електромагнітної енергії над викривленою земною поверхнею і опромінює частину метеорологічної цілі. Багато з фізичних обмежень, що стосуються методики спостережень, безпосередньо очевидні з цього рисунка. Наприклад, є обмеження по мінімальній висоті, на

приймач приймає будь-яку відбиту хвилю. Відбитий від цілі сигнал зазвичай називається ехосигналом.

Потужність сигналу, відбитого в напрямку радіолокаційного приймача, є функцією концентрації, розміру і фазового стану частинок хмар та опадів, які представляють собою метеорологічну ціль. Тому приймаюча потужність P_r забезпечує вимір характеристик метеорологічної цілі і пов'язана, але не однозначно, з інтенсивністю опадів. «Рівняння радіолокаційної дальності» пов'язує потужність відбитого від цілі сигналу з характеристиками радіолокатора і параметрами цілі.

Вимірювання потужності визначаються загальною потужністю зворотного розсіювання цілі в межах об'єму, опроміненого в будь-який момент часу, імпульсного об'єму (тобто, опромінюючого об'єму). Розміри імпульсного об'єму залежать від просторової протяжності радіолокаційного імпульсу (h), ширини діаграми спрямованості в вертикальній (ϕ_b) і горизонтальній (θ_b) площинах. Ширина променя і відповідно імпульсний об'єм зростають з відстанню. Оскільки енергія, яка повертається до радіолокатора, проходить подвійну відстань, довжина імпульсного об'єму становить лише половину просторової протяжності імпульсу ($h/2$) і не змінюється з відстанню.

Місця розташування імпульсного об'єму в просторі визначається положенням антени по азимуту і куту місця, а також дальністю цілі. Дальність (r) визначається часом, який потрібен для проходження імпульсу до цілі і відбиттям назад до радіолокатора.

Частинки в межах імпульсного обсягу безперервно переміщуються відносно один одного. Це проявляється в фазових ефектах розсіяного сигналу і в інтенсивності флуктуацій середньої для цілі інтенсивності. Вимірювання інтенсивності одного ехосигнала від метеорологічної цілі має невелику значимість. Необхідно проінтегрувати принаймні 25 - 30 імпульсів для отримання прийнятної оцінки середньої інтенсивності відбитого сигналу. Зазвичай це здійснюється електронним способом в схемі інтегратора. Для збільшення опромінюючого об'єму і підвищенню точності оцінки часто проводиться подальше усереднення імпульсів по дальності, азимуту і часу. Отже, просторова роздільність стає більш грубою[13].

2.1.2 Розповсюдження і розсіювання радіолокаційних сигналів

В однорідному середовищі електромагнітні хвилі поширюються по прямій з швидкістю світла. Земна атмосфера не є однорідною, і мікрохвилі на

своєму шляху піддаються заломленню, поглинанню і розсіюванню. Атмосфера зазвичай вертикально стратифікована, і промені змінюють напрямок в залежності від змін показника заломлення (або температури і вологості) з висотою. Коли хвилі на своєму шляху зустрічають опади або хмари, то частина енергії поглинається, а частина розсіюється у всіх напрямках, в тому числі і назад в напрямку радіолокатора.

Заломлення в атмосфері, величину відхилення електромагнітних хвиль можна прогнозувати, використовуючи вертикальні профілі показника заломлення, розрахованого по температурі і вологості. В нормальних атмосферних умовах хвилі поширюються по кривій, злегка відхиляючись у напрямку від земної поверхні. Траєкторія променя може відхилитися або вгору (негативна рефракція), або більше до земної поверхні (надрефракція). В обох випадках висота променя буде містити помилку, якщо використовується припущення про стандартної атмосфери.

З точки зору вимірювання опадів найбільша проблема виникає в умовах надрефракції або «хвилеводного поширення». Промінь може викривити так, що досягне земної поверхні, і що виникають при цьому ехосигнали зазвичай не враховуються. Таке явище відбувається, коли показник заломлення різко зменшується з висотою, наприклад при збільшенні температури і зменшенні вологості з висотою. Ці ехосигнали повинні враховуватися при побудові наприклад карти опадів. Явище надрефракції прийнято вважати аномальним поширенням.

Деякі ехосигнали від «ясного неба» виникають через турбулентні неоднорідності показника заломлення, що зустрічаються в зонах турбулентності, шарах посиленою нестабільності, осередках зсуву вітру або глибоких інверсіях. Обриси цих ехосигналів здебільшого розпізнавані, але не повинні прийматися в якості полів опадів[14].

Ослаблення в атмосфері. Мікрохвилі послаблюються внаслідок їх поглинання і розсіювання атмосферними газами, хмарами і опадами. Ослаблення газами. Газы послаблюють мікрохвилі в діапазонах 3 - 10 см. Поглинання атмосферними газами відбувається головним чином за рахунок молекул водяної пари і кисню. Ослаблення водяною парою прямо пропорційно тиску і абсолютної вологості і майже лінійно зростає зі зниженням температури. Концентрація кисню до висоти 20 км є відносно однорідною. Ослаблення киснем також пропорційно квадрату тиску.

Ослаблення газами незначно змінюється в залежності від кліматичних умов і пори року. Воно значно для довжин хвиль метеорологічних

радіолокаторів при великих відстанях і може скласти від 2 - 3 дБ на довгих хвилях і 3-4 дБ на коротких хвилях на відстані 200 км. У таких випадках варто вводити компенсацію, яку вельми легко можна виконати автоматично. Ослаблення може бути обчислено з урахуванням сезонів як функція дальності для траєкторій променя, використовуваних при вимірах опадів, і застосовуватися для коригування поля опадів.

Ослаблення гідрометеорів може бути результатом як поглинання, так і розсіяння. Це найзначніше джерело ослаблення. Воно залежить від форми, розмірів, кількості і складу частинок. Подолати вплив такої залежності, використовуючи будь-якої кількісний спосіб і тільки радіолокаційні спостереження, досить важко. На задовільному рівні цього ще не досягнуто для автоматизованих систем оперативних вимірювань. Однак дане явище необхідно враховувати, а його вплив зменшувати шляхом деякого суб'єктивного втручання, застосовуючи загальні практичні знання.

Ослаблення залежить від довжини хвилі. На довжинах хвиль близько 10 см ослаблення досить мале, в той час як на довжинах хвиль 3 см, воно стає досить значним. На довжині хвилі 5 см ослаблення може бути прийнятним для різних кліматичних умов, особливо в високих і середніх широтах. Для достовірних вимірювань інтенсивності опадів не рекомендуються використовувати довжини хвиль менше 5 см, за винятком застосувань на малих відстанях (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 Співвідношення для ослаблення при прямолінійному поширенні променів

Довжина хвилі (см)	Співвідношення (дБ/км)
10	$0,000\ 343\ R^{0,97}$
5	$0,00\ 18\ R^{1,05}$
3,2	$0,01\ R^{1,21}$

Прийняте ослаблення за Burrows and Attwood (1949) при прямолінійному поширенні променів при температурі 18°C , R в мм / год.

Відносно оцінок опадів за допомогою радіолокатора можна висловити кілька загальних міркувань, пов'язаних з величиною ослаблення. Ослаблення залежить від маси води в цілі, таким чином, більш сильні дощі послаблюють сигнал більше, хмари з набагато меншою масою послаблюють сигнал менше. Крижані кристали вносять значно менше послаблення в порівнянні з рідкими

частинками. Хмари викликають невелике ослаблення і зазвичай його можна не брати до уваги. Сніжинки або крижані кристали (або градини) можуть досягати набагато більшого розміру, ніж краплі дощу. Вони стають вологими в міру танення, в результаті чого сильно збільшуються їх відбиваність і послаблюючі властивості. Ця обставина може спотворити оцінки опадів[15].

2.1.3 Розсіювання хмарами і опадами

Потужність сигналу, що виявляється і оброблюваного радіолокатором (а саме, ехосигнала), є потужністю хвилі зворотного розсіювання ціллю або гідрометеорів. Ефективна площа зворотного розсіювання (σ_b) визначається як площа ізотропного відбивача, який повертає в напрямку випромінювача таку ж кількість енергії, що і фактична ціль. Ефективна площа зворотного розсіювання сферичних частинок була вперше визначена Міє (1908). Релей виявив, що якщо співвідношення діаметра частинки до довжини хвилі є рівним або менше 0,06, то для визначення ефективної площі зворотного розсіювання:

$$\sigma_2 = \frac{\pi^5 |K|^2 D^6}{\lambda^4}, \quad (2.1)$$

де $|K|^2$ – коефіцієнт заломлення, рівний 0,93 для рідкої води і 0,197 для льоду.

Вимірювання потужності радіолокатора застосовуються для розрахунку інтенсивності розсіювання ціллю з використанням рівняння (2.1) в формі:

$$z = \frac{C \bar{P}_r r^2}{|K|^2}. \quad (2.2)$$

2.1.4 Розсіювання в безхмарній атмосфері

У безхмарній атмосфері, було виявлено, що ехосигнали обумовлені головним чином відбиванням від комах або великими градієнтами показника заломлення в атмосфері. Ехосигнали мають досить низьку інтенсивність і визначаються тільки дуже чутливими радіолокаторами. Значення, еквівалентні Z_e , для явищ в безхмарній атмосфері як правило знаходяться в

діапазоні від -5 до -55 дБZ, хоча вони і не є істинними параметрами Z, при цьому фізичні процеси, які породжують ехосигнали, зовсім різні. Для вимірювання опадів такі ехосигнали є незначним «шумом». Зазвичай вони можуть бути пов'язані з деякими метеорологічними явищами, такими як морський бриз або відтік повітря із зони грози. Ехосигнали в безхмарній атмосфері також можуть бути пов'язані з дуже малими скупченнями птахів і комах. Не є рідкість потужність ехосигналів від 5 до 35 дБZ, особливо в періоди міграцій (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 Ефективні площі зворотного розсіювання для різних об'єктів

Об'єкт	σ_b (m ²)
Літак	10 – 1 000
Чоловік	0,14 – 1,05
Шар-зонд	0,01
Птиці	0,001 – 0,01
Бджоли, бабки, метелики	$3 \times 10^{-6} - 10^{-5}$
Каплі води діаметром 2мм	$1,8 \times 10^{-10}$

Хоча звичайна радіолокаційна обробка інтерпретує сигнал в значеннях Z або R, що розсіюють властивості безхмарної атмосфери і гідрометеорів істотно розрізняються. Найчастіше це виражається в значних структурного параметра показника заломлення, C_n^2 . Це міра середньоквадратичних флуктуацій показника заломлення як функції відстані[16].

2.2 Покриття зони спостереження радіолокаційним полем

Кожний засіб радіолокації під час роботи створює зону виявлення. Під зоною виявлення МРЛ розуміють область повітряного простору, у межах якої усі повітряні об'єкти з певною ефективною поверхнею розсіювання виявляються з імовірністю не менше заданої. Розміри зони виявлення визначаються технічними характеристиками МРЛ, ЕПР цілі, характеристиками розташування МРЛ, перешкодовою обстановкою.

Зони виявлення різних типів МРЛ навіть у разі розташування їх на одній позиції відрізняються одна від одної формами і розмірами внаслідок

відмінностей їх технічних характеристик і відмінностей у впливі рельєфу місцевості.

Сукупність зон виявлення, вимірювання висоти які розгорнуті в одній місцевості, забезпечує отримання повної інформації від цілі та створює зону радіолокаційної інформації.

Під зоною радіолокаційної інформації цілі розуміється область повітряного простору, у межах якої засобами радіолокації, які розгорнуті на одній позиції, забезпечується визначення площинних координат цілі, висоти польоту.

Сукупність зон радіолокаційної інформації декількох метеорадіолокаторів створює радіолокаційне поле.

Радіолокаційне поле – це область повітряного простору, у межах якого включеними засобами радіолокації забезпечується виявлення, супроводження та визначення характеристик повітряних цілей з імовірністю не менше заданої.

Радіолокаційне поле повинно забезпечувати успішне вирішення задач радіолокаційного моніторингу, видачі характеристик метеоцілі. Залежно від засобів і методів локації, які застосовуються, розрізняють поле активної та пасивної локації.

Поле активної локації створюється МРЛ, які використовують для виявлення і визначення характеристик повітряних об'єктів відбиті від них ехосигнали.

Поле моніторингу призначене для добування метеорологічної інформації про метеоцілі. Створюється це поле включенням МРЛ.

За структурою МРЛ характеризується частотним діапазоном, кратністю перекриття заданої області простору, ярусністю, безперервністю.

Під час роботи декількох МРЛ одночасно у деяких точках повітряного простору створюється багатократне перекриття зон радіолокаційної інформації, яке характеризується кратністю[17].

Кратність перекриття МРЛ оцінюється за допомогою коефіцієнта перекриття K_n , який показує кількість зон радіолокаційної інформації, що перекриваються у певній точці простору.

Суцільне радіолокаційне поле – це область простору, в будь-якій точці якого забезпечується виявлення, безперервне супроводження і визначення характеристик повітряних цілей у кожний даний момент часу.

Чим більша кратність перекриття поля, тим вище імовірність виявлення повітряних об'єктів $P_{рез}$:

$$P_{\text{рез}} = 1 - \prod_{i=1}^{K_n} (1 - P_{\text{виявл } i}) , \quad (2.3)$$

де $P_{\text{виявл } i}$ - імовірність виявлення цілі у точці i -м.

Допустимі розриви $L_{\text{розр}}$ в суцільному полі при заданій дискретності t_d оновлення інформації про ціль задовольняють умові:

$$L_{\text{розр}} \leq t_d \cdot V_{\text{ц}} , \quad (2.4)$$

де $V_{\text{ц}}$ - швидкість польоту цілі.

Якщо ця умова не виконується, то поле на даній висоті є осередковим.

Розміри та форма суцільного МРЛ покриття характеризуються показниками, які називаються параметрами поля.

До параметрів поля активної локації належать:

- рубіж виявлення на даній висоті (межа суцільного МРЛ на даній висоті);
- висота нижньої межі суцільного МРЛ;
- висота верхньої межі суцільного МРЛ;
- коефіцієнт перекриття МРЛ.

Рубіж виявлення на даній висоті є межею поля на цій висоті і являє собою замкнуту лінію, отриману при перетині поля уявною поверхнею, яка рівновіддалена всіма своїми точками від поверхні землі (моря).

Висотою нижньої межі МРЛ називається мінімальна висота, на якій забезпечується виявлення і безперервне супроводження локаційних цілей.

У разі побудови рубежу виявлення на малих і гранично малих висотах, висота уявної поверхні відлічується відносно рельєфу місцевості, на середніх і великих висотах – відносно рівня моря.

Висотою верхньої межі МРЛ називається максимальна висота, на якій можливе виявлення і безперервне супроводження локаційних цілей.

Аналогічними є параметри і для суцільного поля тріангуляції.

Таким чином, МРЛ, яке створюється засобами радіолокації навколишнього середовища, та може бути складним за конфігурацією і структурою, багатофункціональним щодо задач і призначення[18].

Для оцінки параметрів зони спостереження користуються не просторовою зоною, а її напівпереріз вертикальною площиною.

Форма зони спостереження характеризується залежністю дальності виявлення від висоти $D = f(H)$. Параметрами зони огляду РЛС є мінімальний (ε_{min}) і максимальний (ε_{max}) кути місця, максимальні висота (H_{max}) і дальність (D_{max}) виявлення мети. Кут місця ε_0 ділить напівпереріз зони огляду на дві ділянки: ізодальностний і ізовисотний.

Для ділянки дальність виявлення цілі із заданою ЕПР $D = D_{max}$ при $\varepsilon \in [\varepsilon_{min}, \varepsilon_0]$. З трикутника ОАВ знайдемо дальність огляду мети в межах ізовисотної ділянки:

$$D = H_{max} \cdot \frac{1}{\cos(90^\circ - \varepsilon_0)} = \frac{H_{max}}{\sin \varepsilon_0} \cdot \operatorname{cosec} \varepsilon_0. \quad (2.5)$$

З трикутника АВС знаходимо (рис. 2.2). Звідси для деякого фіксованого кута ε в межах ізовисотної ділянки зони виявлення:

$$D = \frac{H_{max}}{\sin \varepsilon} = \frac{D_{max} \cdot \operatorname{cosec} \varepsilon}{\operatorname{cosec} \varepsilon_0}. \quad (2.6)$$

Таким чином, аналітичний вираз для зони виявлення РЛС як залежність дальності виявлення цілі від кута місця можна представити в наступному вигляді:

$$D(\varepsilon) = \begin{cases} D_{max} & \text{при } \varepsilon \in [\varepsilon_{min}, \varepsilon_0], \\ \frac{D_{max} \cdot \operatorname{cosec} \varepsilon}{\operatorname{cosec} \varepsilon_0} & \text{при } \varepsilon \in [\varepsilon_0, \varepsilon_{max}], \\ 0 & \text{при } \varepsilon > \varepsilon_{max} \text{ і } \varepsilon > \varepsilon_0. \end{cases} \quad (2.7)$$

Таку форму зони виявлення називають косекансною.

Радіус «мертвої воронки» характеризує область зони виявлення, де цілі під кутами місця $\varepsilon > \varepsilon_{max}$ РЛС не може виявити:

$$H_{max} = D_{max} \cdot \sin \varepsilon_0 = \frac{D_{max}}{\operatorname{cosec} \varepsilon_0}. \quad (2.8)$$

Параметри зони виявлення обирають з урахуванням технічних можливостей їх реалізації. Значення ε_{min} в РЛС сантиметрового діапазону обмежується умовами поширення сантиметрових хвиль в приземному шарі атмосфери.

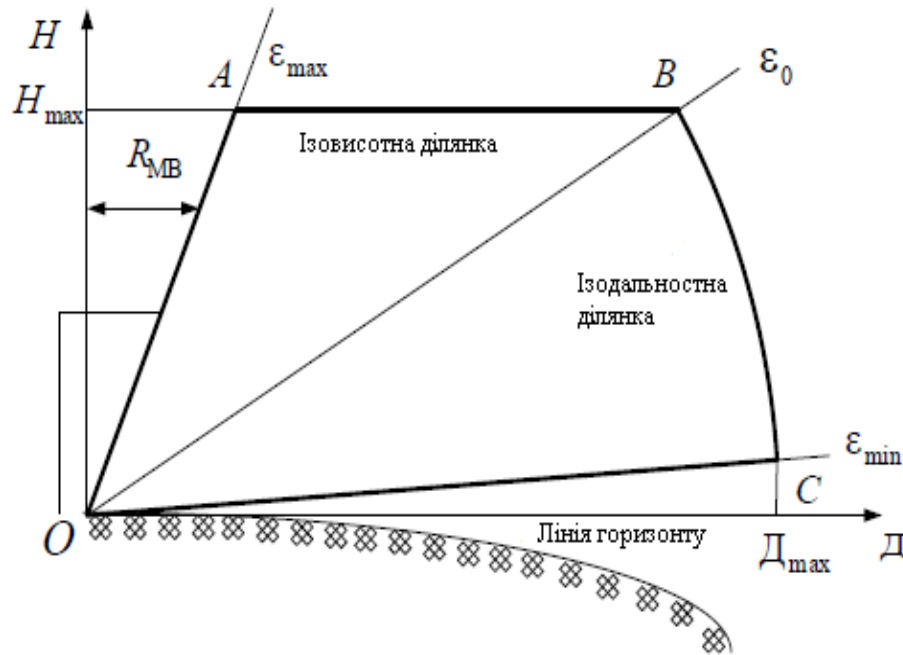


Рисунок 2.2 — Вид напівперерізу зона огляду РЛС з вертикальною площиною

З одного боку, необхідно вибрати ε_{min} як умова ближчим до нуля, з іншого – необхідно відірвати діаграму направленості антени від землі, так як опромінення земної поверхні в сантиметровому діапазоні хвиль призводить до сильної порізаності зона огляду на малих кутах місця внаслідок інтерференції прямого і відбитого від нерівній поверхні променів. Через рух під дією вітру покривають земну поверхню кущів, трави та інше, безперервно змінюється амплітуда і фаза відбитого променя і, отже, безперервно змінюється форма зони. Тому практично в сантиметровому діапазоні вибирають $\varepsilon_{min} \approx 0,4...0,5^\circ$.

Для зниження ε_{min} до нуля і навіть до негативних значень, де це дозволяють позиція і висота підйому антени, передбачають зміну нахилу антени у вертикальній площині.

У метровому і нижній частині дециметрового діапазону хвиль зони виявлення формується з урахуванням впливу землі і значення $\varepsilon_{\min}$ для рівної ділянки поверхні практично однозначно визначається відношенням довжини X до висоти підйому h_a фазового центру антени $\varepsilon_{\min} \cdot 7,2 \cdot X / h_a$ [18].

Максимальний кут місця $\varepsilon_{\min \max}$ зони виявлення для виключення «мертвої воронки» бажано було б вибирати рівним 90° або близьким до нього. Однак це призвело б до значного ускладнення конструкції антеною системи. В даний час вважається доцільним вибір значень $\varepsilon_{\min}$ близько $35 \dots 45^\circ$ в сантиметровому діапазоні та $20 \dots 30^\circ$ – в метровому. При цьому радіус «мертвої воронки» $R_{mv} = H_u \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon_{\min}$ становить $(1.1, 5) H_u$ і $(2.4, 5) H_u$ відповідно.

Верхня межа зони виявлення $H_{\max}$ повинна бути не менше РЛС $H_{\max} > (60 \dots 100)$ км

Максимальну дальність виявлення $D_{\max}$ цілей, що летять на максимальній висоті $H_{\max}$, бажано отримати рівний дальності прямої видимості:

$$D_{\text{пр}} = 4,12 (\sqrt{h_a} + \sqrt{H_{\max}}) \approx 600 \dots 800, \quad (2.9)$$

де $D_{\text{пр}}$ вимірюється в км, h_a і $H_{\max}$ – в метрах.

Однак забезпечення такої дальності виявлення пов'язано зі значним збільшенням потужності передавального пристрою і, як наслідок, зі збільшенням вартості і обсягу апаратури РЛС.

В РЛС зоною, оптимальною зоною спостереження вважається отримання дальності $D = 100 \dots 200$ км.

Рівняння радіолокації є основою при проектуванні РЛС будь-якого призначення, пред'явленні вимог до основних трактів і системам, виборі оптимального режиму роботи.

Уявімо рівняння радіолокації з урахуванням огляду РЛС зоною спостереження довільним способом:

$$D^4(\beta, \varepsilon) = \frac{E_i(\beta, \varepsilon) \cdot G(\beta, \varepsilon) \cdot A(\beta, \varepsilon) \cdot \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^2 \cdot \gamma \cdot N_0}, \quad (2.10)$$

де $D^4(\beta, \varepsilon) = D \cdot d^n(\beta, \varepsilon)$ зона спостереження РЛС в направленості з умовними координатами β і ε ;

D – максимальна дальність спостереження мети в зоні;

$d_H(\beta, \varepsilon) = d(\beta, \varepsilon)/D < 1$ – нормована дальність дії РЛС;

$G(\beta, \varepsilon)$ – коефіцієнт посилення випромінює (передавальної) антени РЛС;

$E_i(\beta, \varepsilon)$ – енергія, яку випромінює передавальною антеною РЛС;

$A(\beta, \varepsilon) = A_{зфф} \cdot a_n(\beta, \varepsilon)$ – ефективна площа приймальної антени в напрямку з координатами β и ε ;

$A_{зфф}$ – максимальне значення ефективної площі прийомної антени;

$a_n(\beta, \varepsilon) = A(\beta, \varepsilon) / A_{зфф} \leq 1$ – нормована ефективна площа приймальної антени;

σ_{ζ} – середнє значення зони спостереження;

$Y = Y_0 \cdot L$ – коефіцієнт розрізнення (відношення сигнал / шум на вході приймача, при якому забезпечується задана якість виявлення);

Y_0 – відношення сигнал / шум на вході пристрою порівняння з порогом, при якому забезпечується задана якість виявлення;

L – коефіцієнт втрат, що враховує, по-перше, відмінність параметрів реальної пачки з прямокутною обвідної; по-друге, відмінність реальної обробки відбитих сигналів від оптимальної;

N_0 – спектральна щільність власних шумів приймача, перерахована на його вхід.

Дальність огляду можна збільшити наступними способами:

- збільшенням середньої потужності в процесі огляду;
- зміною часу опромінення цілей;
- збільшенням ефективної площі прийомної антени, яка визначається як добуток коефіцієнта використання апертури при прийомі і геометричній площі розкриву антени.

Інформацію про наявність цілей в зоні огляду метеорологічні радіолокаційні станції в процесі огляду її елементів дозволу. Час, що витрачається на одноразовий огляд зони, і черговість перегляду її елементів дозволу визначаються способами огляду. Крім того, від способу огляду залежить і значення середньої потужності зондуючих сигналів МЛС. Безперервний огляд є обов'язковим режимом функціонування МЛС. В існуючих РЛС використовують різні способи огляду зони спостереження. Вибір того чи іншого способу огляду залежить від призначення МЛС, оскільки від нього залежать багато характеристик МЛС:

- час виявлення цілі в зоні;
- кількість вимірюваних координат і точність їх вимірювання;

- дозволяють здібності по кутових координатах, дальності і радіальної швидкості;

- швидкість оновлення інформації;

- перешкодозахищеність МРЛС (особливо від пасивних перешкод).

Необхідна форма зони спостереження може формуватися відповідним вибором форми діаграми направленості антени МРЛС (на прийом і передачу) і закону зміни її положення в просторі, при яких найбільшою мірою забезпечуються задані тактико-технічні вимоги. Залежно від часу, що витрачається на отримання інформації від всіх елементів зони спостереження, розрізняють наступні види огляду:

- паралельний (число антенних променів дорівнює числу елементів дозволу по кутових координатах (рис. 2.3, а, б));

- послідовний (зона спостереження проглядається одним антенним променем, переміщення якого здійснюється послідовно в часі по куту місця і азимуту - рис. 2.4, а);

- змішаний (по одній кутовій координаті (частіше всього постановляє куту місця) здійснюється паралельний огляд, а за іншою (азимуту) – послідовний (рис. 2.4, б)).

Огляд зони спостереження по дальності здійснюється послідовно у міру поширення електромагнітної енергії після випромінювання зондуєчого сигналу з кінцевою швидкістю до цілі і назад. Паралельний огляд по кутових координатах має найбільший, у порівнянні з іншими видами огляду, темп оновлення інформації.

Однак складність реалізації антенної системи не дозволила поки використовувати його в РЛС [19].

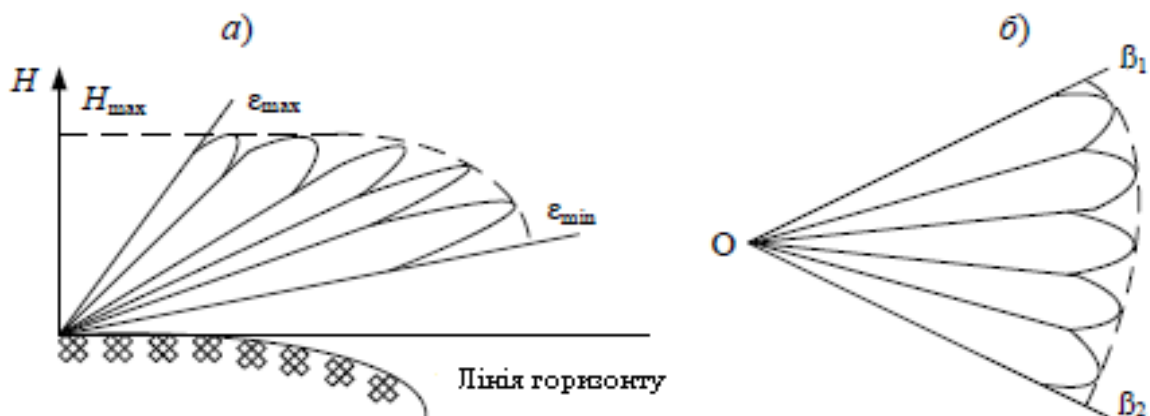


Рисунок 2.3 — Види паралельного огляду: а) в кутомісній площині; б) в азимутальній площині

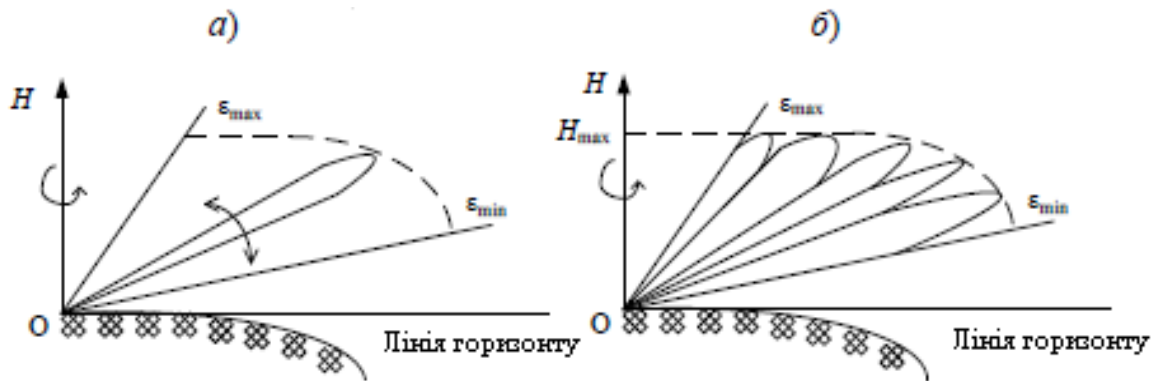


Рисунок 2.4 – Види огляду: а) послідовний по куту місця і по азимуту; б) змішаний огляд: паралельний по куту місця і послідовний по азимуту

2.3 Варіанти побудови радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу в рівнинних районах

Варіант побудови радіолокаційної системи в рівнинному районі Причорноморського регіону (в таких областях як Одеська, Ніколаєвська, Херсонська). Дальність радіолокаційної системи 100 км, побудова здійснювалась при розташуванні МРЛС з мінімальною и максимальною кількістю метеорологічних РЛС. Було враховано, що потужні метеорологічні радіолокаційні станції при частому і тривалому включенні мають більш низьку надійність, в порівнянні з менш потужними РЛС. Збільшення випромінюваної потужності збільшує небезпеку для персоналу та мешканців регіону, в якому розташована станція. Тому має сенс залишати структуру радіолокаційного поля побудовану на основі застосування однотипних РЛС, і у вказаних регіонах радари укомплектовувати потужним каналом S-діапазону (10 см), який буде включатися у разі виникнення НЯП на порівняно нетривалий час.

При моделювання декількох варіантів побудови радіолокаційної системи моніторингу, кожна з систем будувалася з однотипних МРЛС з дальністю дії 100 км. Побудови здійснювалася при розташуванні МРЛС з різними дальностями дії в вершинах зв'язаних трикутників на поверхні Землі, бо необхідність збільшення висоти підйому антени МРЛС

позначається не тільки в бік поліпшення параметрів радіолокаційного поля, але й на зменшенні його нижньої межі.

Розглянемо змодельовану систему з мінімальною кількістю метеорологічних РЛС в системі моніторингу. Цей крайній випадок для цілей побудови системи моніторингу в Україні неефективний через розмір її території. Для цілей подальшого використання отриманого результату аналізу розглянемо цей варіант побудови системи моніторингу. На рис. 2.5 представлено планування радіолокаційного поля при розстановці з мінімальною кількістю радарів. Та на рис. 2.6 здійснено моделювання радіолокаційного поля при розстановці з мінімальною кількістю радарів.



Рисунок 2.5 – Планування радіолокаційного поля при розстановці з мінімальною кількістю радарів

Варіант побудови радіолокаційної системи з багаторазовим перекриттям зон спостереження, тобто, максимальної кількості метеорологічних РЛС. Подібний варіант побудови радіолокаційного поля дає дуже високу його стійкість.

Для побудови радіолокаційної системи моніторингу докільля такий варіант небажаний:

- вкрай низька енергетична економічність;
- серйозні труднощі, пов'язані з обробкою одержуваної в рамках подібного радіолокаційного поля інформацією, особливо при її ототожненні;

– наявність потужних РЛС призведе до екологічних проблем, пов'язаних з опроміненням людей. доцільно створювати два яруси.

Під двоярусним радіолокаційним полем розуміється така його структура, коли верхній ярус зони спостереження створюється потужними далеко розташованими один від одного радіолокаційними станціями з утвореним при цьому за рахунок кривизни Землі провалом в нижньому ярусі зони спостереження (рис. 2.7, рис. 2.8)[21].

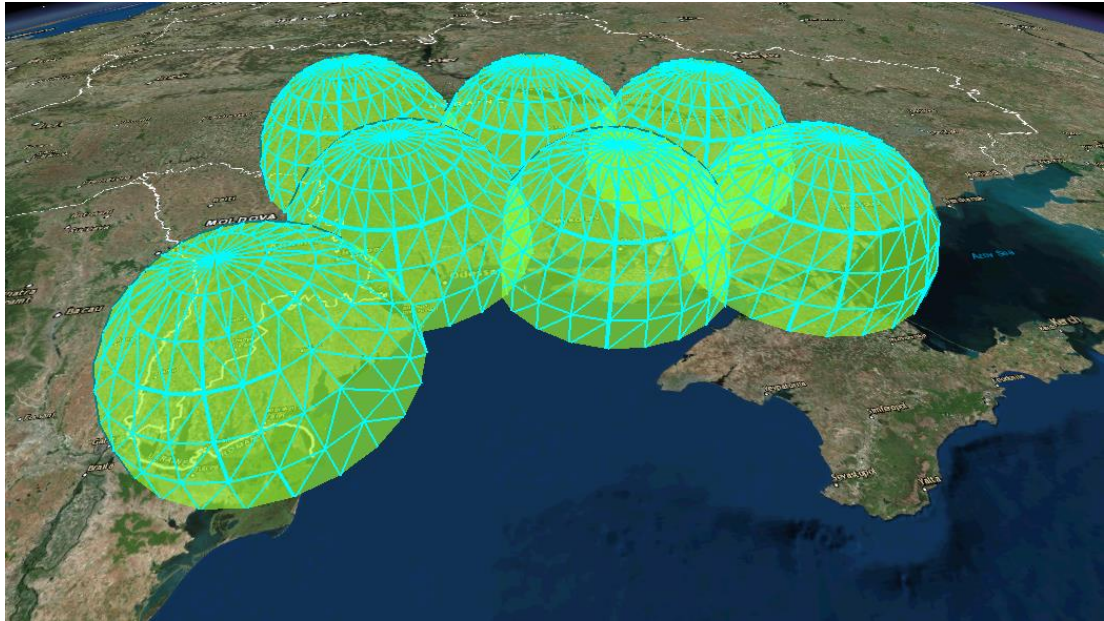


Рисунок 2.6 – Змодельоване радіолокаційне поле при розстановці з мінімальною кількістю радарів

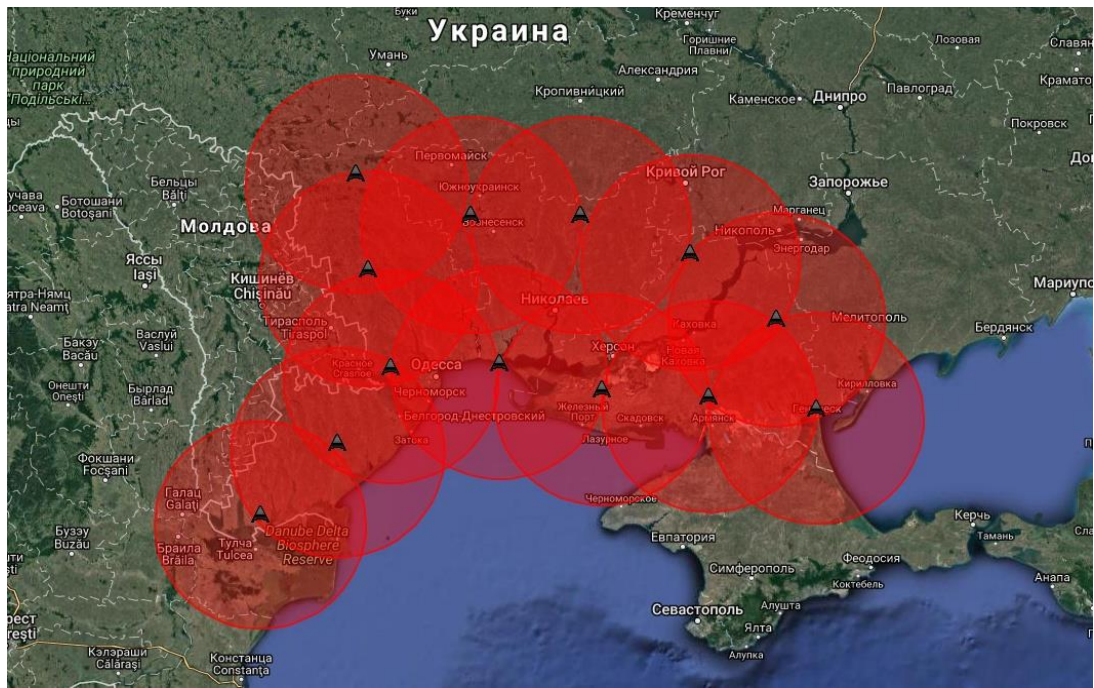


Рисунок 2.7 – Планування радіолокаційного поля при розстановці з багаторазовим перекриття зон

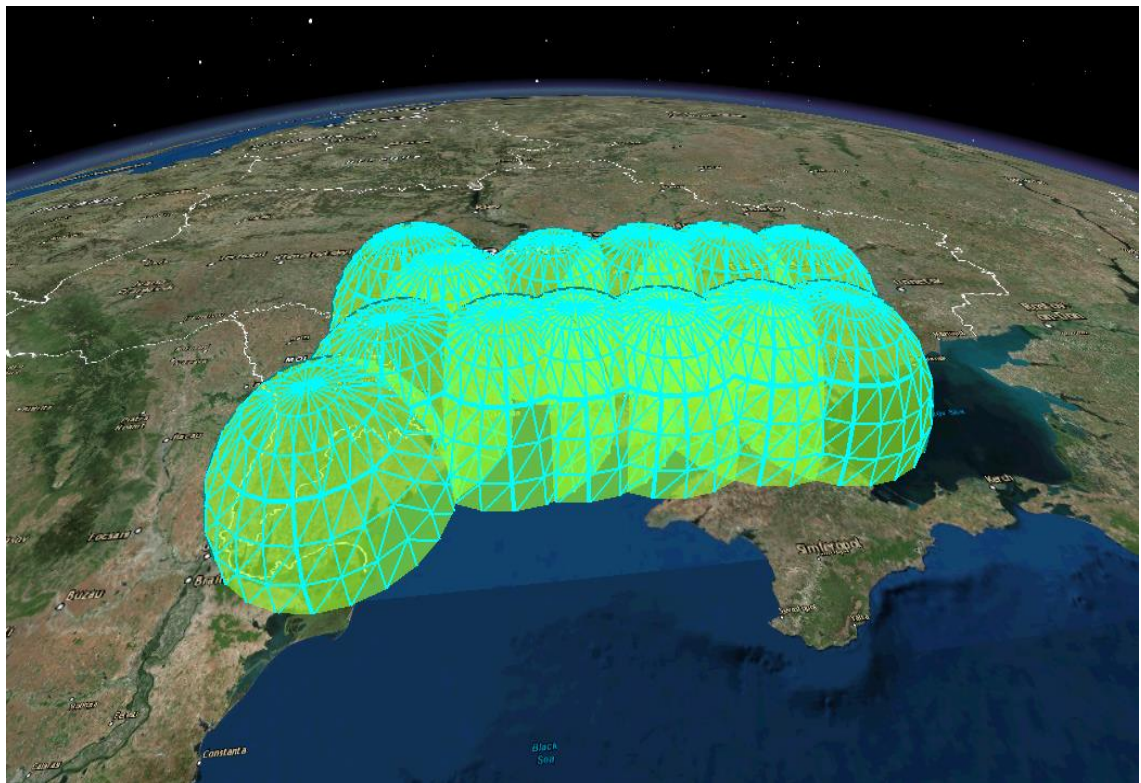


Рисунок 2.8 – Змодельоване радіолокаційне поле з багаторазовим перекриттям зон

3 ЛІНЕАМЕНТНИЙ АНАЛІЗ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

3.1 Особливості побудови радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу в гірських районах

Позиціонування метеорологічного локатора – це завдання, в якому необхідно враховувати безліч різних моментів, що впливають на рішення.

Горизонт локатору – визначається місцевою орографією. Якщо навколишнє середовище є рівнинним, необхідно знайти місце розташування, щоб не існувало заблокованих секторів. У гірських районах такі місця повинні бути знайдені на гірських вершинах (рис. 3.1). Просторовий горизонт – це тільки одна з речей, що визначають місце розташування локатора.



Рисунок 3.1 – Приклад гірської місцевості, яка створює складності для розміщення радіолокаційного поля

Першим показником якості радіолокаційної станції є так звана карта затінення, що показує граничний діапазон або найменшу корисну висоту в залежності від діапазону. Висота подачі антени (над поверхнею) також є важливим параметром: вона визначає як покриття радіолокатора, так і якість оцінок опадів. На малих висотах радіолокаційні промені можуть бути частково або повністю заблоковані орографією або штучними перешкодами. Блокування, якщо вона не враховується, вносить помилки в оцінки відбивної здатності локатора.

Можливості метеорологічного локатора в Карпатському регіоні обмежуються геологічною будовою регіону. Гори сягають висоти більше ніж 2000 метрів над рівнем моря, де радіолокаційний промінь може потрапляти в гори та не давати змогу виявити метеорологічні цілі. Гори непроникні для локатора, тому він не завжди може «побачити» метеорологічні цілі в високогірних районах (рис. 3.2).

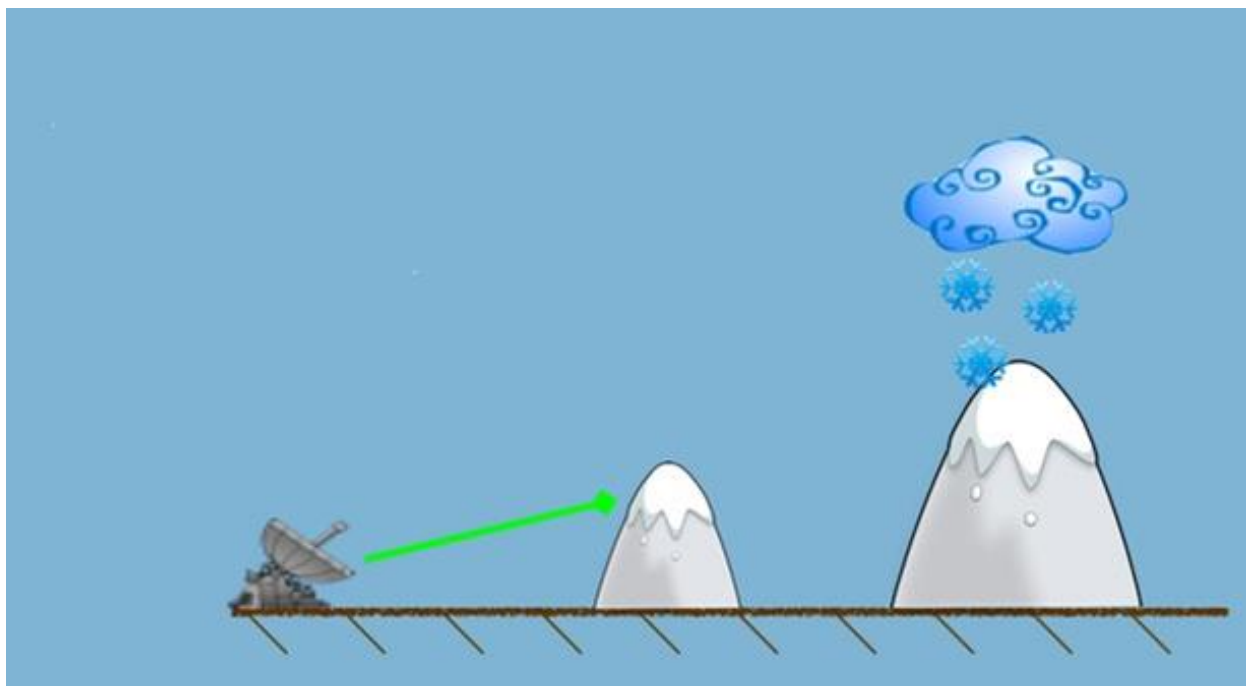


Рисунок 3.2 – Промінь локатора (показаний зеленим кольором) заблокований першою горою і не бачить опади у вигляді снігу на другій горі

В гірській місцевості обмежена кількість позицій, придатних для розміщення метеорадіолокаційної станції. Екрануючий вплив гір на роботу МРЛ – великі кути закриття позицій і велике число відбивань від місцевих предметів на екранах МРЛ, що призводить до зниження їх зон виявлення.

Труднощі розміщення МРЛ поглиблюються обмеженою кількістю доріг, складністю інженерних робіт, можливістю обвалів, завалів, сніжних лавин.

При виборі позиції треба знизити негативний вплив гір і в той же час використовувати окремі гірські вершини або плато для розміщення метеорологічного радіолокатора.

Метою вирішення цієї проблеми є розміщення мережі метеорологічних радіолокаторів, тобто створення радіолокаційної системи моніторингу навколишнього середовища.

Проблема виникаюча при використанні МРЛ для пошуку метеоцілі, потенційно найбільш проблематична. Ця проблема – великі гори, вони блокують промінь радара і метеоціль.

Вибір місця для радарів, повинно відповідати різним експлуатаційним вимогам, і для визначення оптимального місця розташування метеорологічних радарів використовується складна процедура.

Методологічний підхід з використанням технології ГІС розроблюється для вибору оптимальних місць для метеорологічних радарів, які будуть використовуватися для виявлення гідрометеорологічних цілей[21].

3.2 Складові лінеаментного аналізу

Лінеаментний аналіз – це метод вивчення рельєфу на континентах і в океані. Полягає у виділенні і систематизації лінійних елементів при вивченні топографічних і батиметричних карт. Дозволяє простежувати зони розломів, кордони між різними комплексами, виділяти вузли перетину диз'юнктивних порушень і геоблоків, простежувати «тіньові» структури лінійного і кільцевого типу. Цей комплекс методів геологічного картування, заснований на інтелектуальній обробці інформації, яка за способом отримання та формату даних, ранжується, мінімум, на три класи: матеріали дистанційних аерокосмічних досліджень, топографічні карти і карти геологічного змісту, інші геологічні, геофізичні та інші дані.

Такий аналіз вважається ефективним комплексом геоморфологічних, геологічних, дистанційних та інших методів геологічного картування, базовими об'єктами аналізу є лінеаменти[22].

Термін «лінеаментів» (від лат. *lineamentum* – лінія, риса, контур) був введений в літературу американським геологом У. Хоббс в 1911 р для позначення витягнутих в одному напрямку лінійних елементів рельєфу і геологічної структури.

У загальному розумінні, лінеамент – це межа різкої зміни параметрів географічного середовища, геологічної структури і геофізичних полів(Полетаєв, Кац, Тевелєв, 1988).

Лінеамент – видимий на космічному або аерофотознімку лінійна ділянка зображення. В географічному відношенні виділяються випрямлені ділянки водотоків, хребти вододілів в геологічному відношенні – зонами тріщинуватості, розломами. В окремому випадку, можуть вважатися природними індикаторами глибинної тектонічної подільності земної кори.

В даній роботі, лінеаменти це – хребти та ребра гір. По ним ми бачимо як гора розташована, висоту, стоки, сідловини та майже всю необхідну інформацію яка необхідна для розміщення радіолокаторів(рис. 3.3).

У рельєфі лінеаменти виражаються закономірно орієнтованими зонами, утвореними прямолінійними межами гірських хребтів і кряжів, берегів морів, озер і великих боліт, випрямлення ділянками річкових і льодовикових долин,

ланцюжками просадок різного генезису та інше. Ширина таких зон становить від кілометрів до десятків кілометрів. Тому на аерофотознімках і при наземних спостереженнях лінеamenti важко виявити. На космічному знімку знаходять відбиток завдяки оглядовості і генералізації зображення[23].

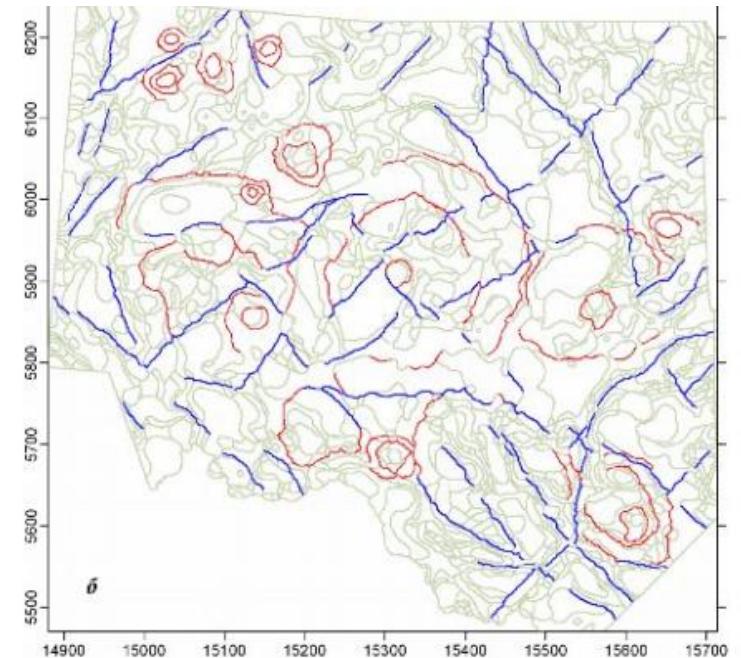


Рисунок 3.3 – Приклад виділених лінементів

Залежно від співвідношення зі структурою земної поверхні лінеamenti бувають граничні і перетинні.

Граничні лінеamenti – виявлені на знімках з найбільшою виразністю. Зазвичай вони є розломними межами блоків земної кори різного порядку.

Перетинні лінеamenti – перетинають території з різною геологічною будовою та історією розвитку. Зазвичай ці смугові аномалії, чіткі в гірничо-складчастих областях, в межах платформних рівнин мають неявні, розпливчасті межі, відображаючи латеральні неоднорідності літосфери.

Лінеamenti – об'єкти геологічного картування, вони володіють набором діагностичних ознак:

- геологічні ознаки лінементів, це виходи на земну поверхню розривних порушень і їх прямих картировочних ознак: власне розломів і тріщин, бластомілонітів, тріщинуватих, розсланцованих, кліважированих гірських порід і т.д., трасуючими лінеаментами;

- геоморфологічні ознаки лінементів, це сліди диз'юнктивних дислокацій земної кори на її поверхні, представлені просторово

впорядкованими лінійно орієнтованими формами рельєфу. Переважно це негативні форми рельєфу – рифові континентальні і океанічні западини, ерозійно-структурні депресії або їх елементи, річкові долини або їх відрізки, каньйони, улоговини і яри. До позитивних форм рельєфу, безпосередньо або побічно, що відображає лінійні орієнтування тектонічних структур, відносяться серединно-океанічні хребти, зводово-брилові і ступінчасті підняття, витягнуті в одному-двох напрямках ланцюжка вулканічних островів, височин вулканічного походження і гір-лакколітів, гірські хребти, ували і вододіли, лінійно орієнтовані скельні останці, уступи (ескарпи) та тому подібні.

Головним критерієм ефективності методик лінеаментного аналізу є достовірність отриманих результатів – підтверджуваність геологічними спостереженнями прямого зв'язку лінеаментів з розривними порушеннями в земній корі. Та являє собою один із самих економічних, швидкісних (експресних), інформативних і екологічно чистих методів сучасних геологічних і геоекологічних досліджень[24].

Основними програмами ГІС для виявлення лінеаментів були вибрані: ArcGis та PCI Geomatics 2018. Основними критеріями вибору були їх доступність для студентів та наявність великої кількості інформації по цих системах. ArcGis для студентів можна отримати на 2 роки, а PCI Geomatics має пробний період в 30 днів.

3.3 Лінеаментний аналіз Карпатського регіону

Для побудови радіолокаційної системи Карпатського регіону, насамперед, потрібно дізнатися, як розташовані гори, як пролягають хребти, де трапляються сідловини та де розташовані найвищі ділянки на хребті – це потрібно для більшої можливості підбору оптимального місця розташування. І для цього нам потрібен лінеаментний аналіз.

3.3.1 Структура Карпатського регіону

Українські Карпати – це фізико-географічний край, що охоплює гірську частину Карпат, а також їх північно-східне і південно-західне рівнинні передгір'я(рис. 3.4). Край лежить на південному заході України і затиснутий в трикутнику між державними кордонами України і умовною лінією Чернівці

- Івано-Франківськ - Яворів, яка відділяє його від Східноєвропейської рівнини. Площа Українських Карпат у цих межах становить майже 40 тис. км². Українські Карпати є частиною Карпат, які простягаються через п'ять країн величезною дугою, завдовжки 1500 км. Починаються вони Західними Карпатами у Словаччині і закінчуються Південними Карпатами в Румунії. Найвищою вершиною Карпат є г. Герлаховський Штит (2 655 м). Українські Карпати – одна з найбільш вузьких і низьких ділянок цього гірського ланцюга, вони є складовою Східних Карпат (рис. 3.5)[25].

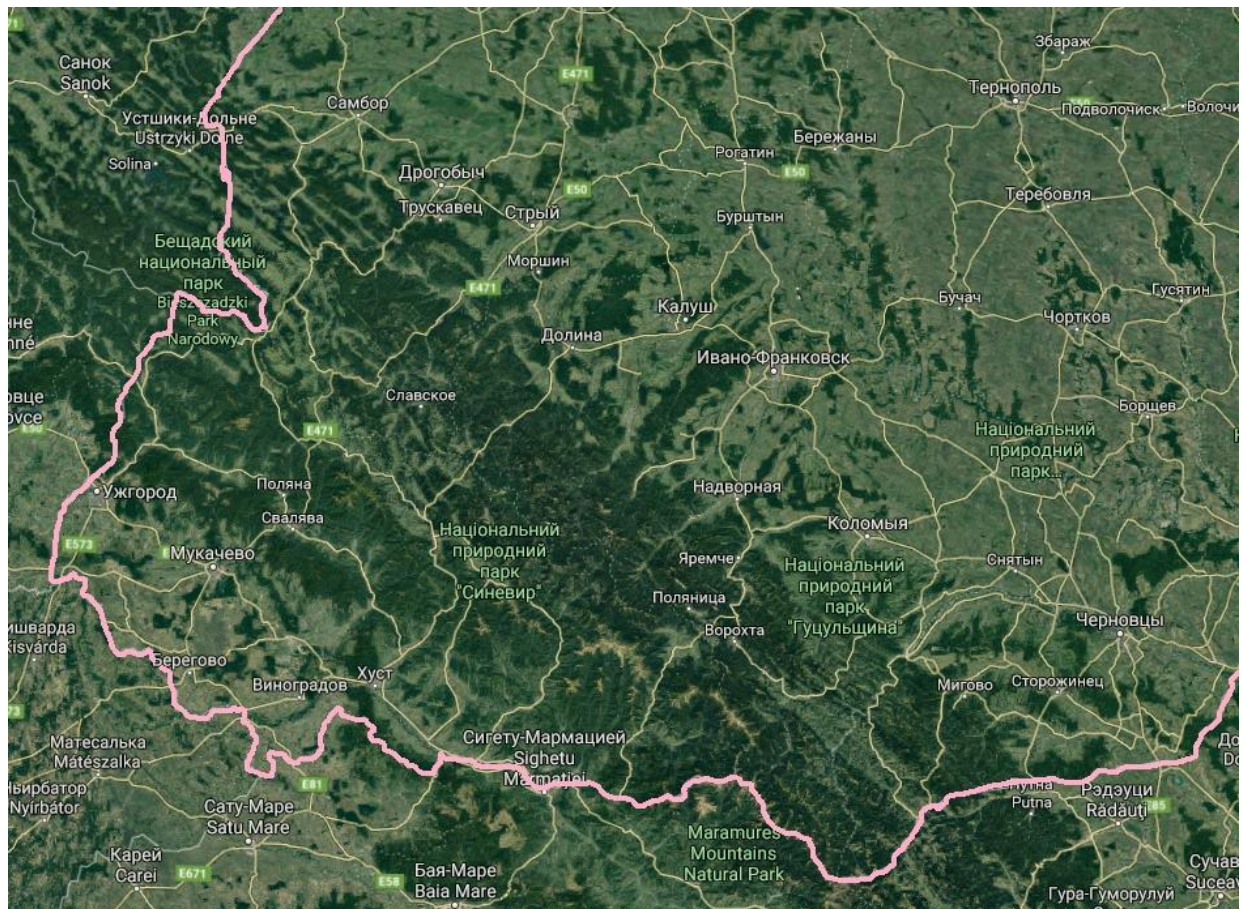


Рисунок 3.4 – Супутниковий знімок Карпатського регіону України



Рисунок 3.5 – Гори Карпати

Рельєф і геологічна будова, гірської споруди Українських Карпат простягається смугою завдовжки 280 км і шириною 100 км (рис. 3.6). Гори середньовисотні, з рядовими висотами 1 000 - 1500 м, тільки окремі вершини піднімаються більш ніж на 2 000 м. За віком вони ставляться до молодих гір (утворені в альпійську горотворчі епоху), однак зовні нагадують старі гори з пологими схилами і округлими вершинами. Це пов'язано з тим, що в їх геологічну будову переважають осадові породи (пісковики, глини, глинисті сланці). Їх накопичення відбувалося в морському басейні, який існував на місці гір, пошарово: шари порід по чергово змінювали один одного, іноді сотні разів. Так виник фліш, який у вигляді зім'ятих складок утворює схили гір, і легко піддається руйнуванню зовнішніми силами[25].

Разом широкі карпатські хребти з м'якими обрисами місцями порізані глибокими (понад 1 000 м) поперечними долинами з крутими схилами. Вони утворилися в результаті розломів при новітніх тектонічних процесах і поглибилися річками.

Гірська споруда Українських Карпат простягається з північного заходу на південний схід кількома паралельними пасмами, розмежовані подовженими міжгірними долинами.

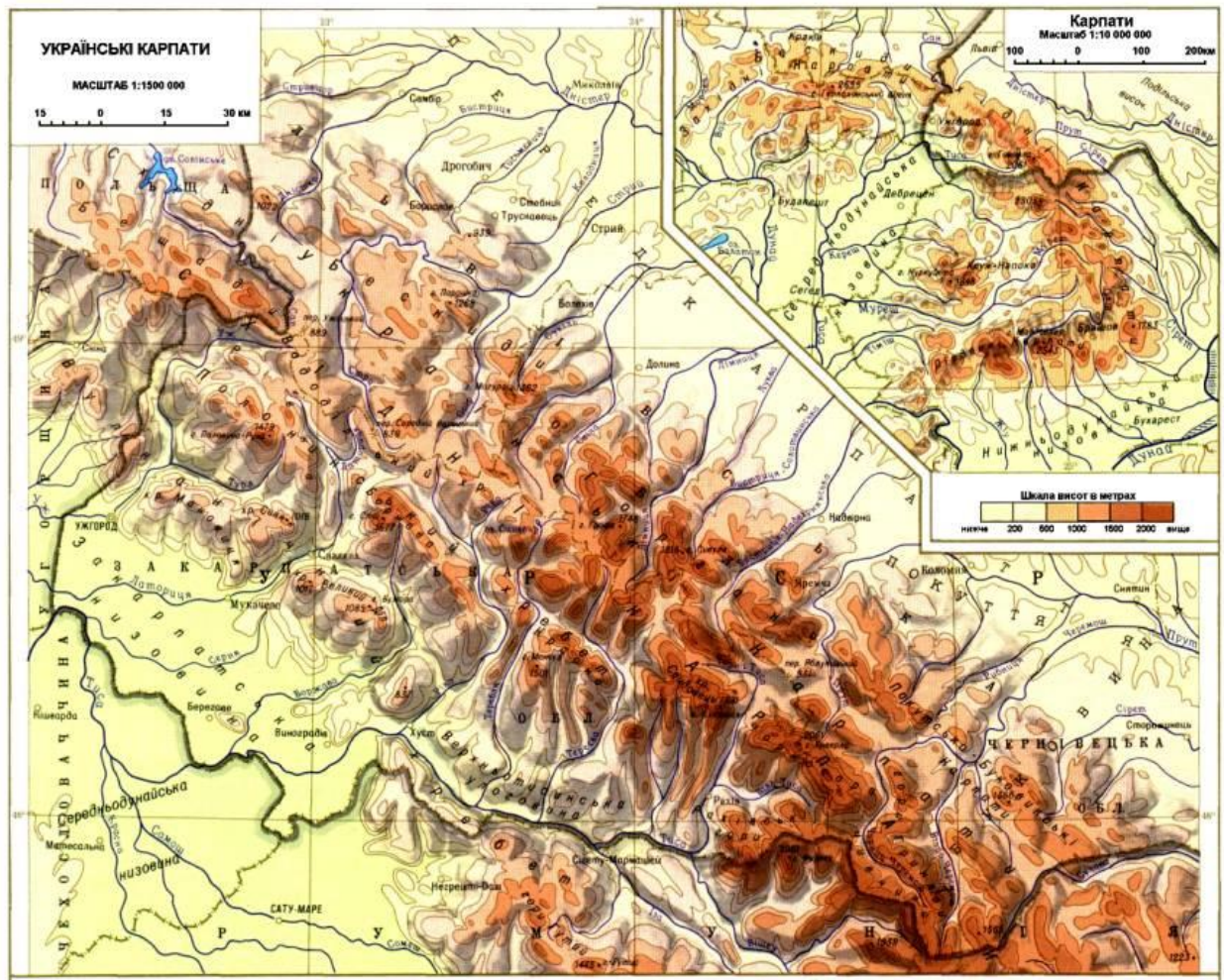


Рисунок 3.6 – Рельєф українських Карпат

Північно-східне пасмо називають Зовнішніми Карпатами, що стояли над Передкарпатською височиною крутим уступом. Вони охоплюють різні гірські масиви.

Горгани – центральний високий масив, на якому розташована гора Сивуля, яка сягає 1818 метрів, де поширені скелясті обриви. Бескиди і Покутсько-Буковинські Карпати знаходяться нижче і мають більш зруйновані хребти.

Вододільно-Верховинські Карпати є середньою віссю Українських Карпат (рис. 3.7). Хоча вони і не найвищі в гірській споруді (максимальні абсолютні висоти досягають 1700 м), проте служать головним карпатським вододілом між басейнами річок Дністра і Тиси. Там знаходяться найважливіші перевали (Ужоцький, Яблуницький, Воловецький), Через які проходять шляхи, які пов'язують Прикарпаття і Закарпаття[26].



Рисунок 3.7 – Верховинський Вододільний хребет

Полонинсько-Чорногорські Карпати високі, вони охоплюють Полонинський хребет, який порізаний долинами річок на окремі масиви-полонини (Рівна, Боржава, Красна), гірські масиви Свидовець та Чорногора і Гринявські гори. Висоти найвищих вершин досягають максимальних значень на Чорногорі. Де шість з них піднімаються вище 2 000 м над рівнем моря. Там розташована і найвища точка України – г. Говерла висота якої 2061 метр. У цих горах збереглися сліди древнього гірського заледеніння – льодовикові форми рельєфу.

Південніше Чорногорії зростається Мармароський масив – охоплює Чивчинські і Раховські гори (рис. 3.8). Це найдавніша (хоча і не дуже висока) частина Карпат, яка зберігає риси, властиві молодим і високим горам альпійської складчастості. Там поширені гостроверхі пікоподібні вершини, стрімкі і скелясті схили, дуже глибокі річкові долини, виразні льодовикові форми рельєфу[26].

Утьосова зона розділяє Зовнішні і Внутрішні Карпати. Це зона Закарпатського глибинного розлому, що виникла багато сотень мільйонів років тому і служила ареною інтенсивних тектонічних рухів аж до четвертинного періоду (1-2 мільйона років тому). Утьосова зона протягом

тривалого часу розділяла дві зони з різним характером геологічного розвитку.



Рисунок 3.8 – Мармароський масив

Передкарпаття простягається смугою завширшки 30 – 45 км уздовж Зовнішніх Карпат – між північно-східним виступом гір і річковими долинами Дністра й Прута. Передкарпатська височина має висоти 200 – 500 м. В її основі лежить Передкарпатський прогин, який утворився між складчастою спорудою Карпат і краєм Східноєвропейської платформи. Численні річки, що стікають з гір, розчленували Передкарпаття на низку широких долин, між якими знаходяться видовжені вододільні височини.

Закарпаття займає крайню південно-західну частину Карпатського фізико-географічного краю. Майже плоска Закарпатська низовина (110 м над рівнем моря) є крайньою частиною Середньодунайської низовини. Низовина слабко нахилена від передгір'їв до долини річки Тиси. Одноманітна рівнинна поверхня в окремих місцях порушується вулканічними підняттями – Берегівським горбогір'ям (з абсолютною висотою понад 360 м)[27].

3.3.2 Виділення лінеamentів в геоінформаційній системі Geomatica

PCI Geomatics є розробником Geomatica® – повного та інтегрованого настільного програмного забезпечення, що містить інструменти для дистанційного зондування, цифрової фотограмметрії, геопросторового аналізу, виробництва карт, мозаїки та інше. Програмне забезпечення Geomatica дозволяє користувачам застосовувати зображення для підтримки широкого кола додатків, таких як навколишнє середовище, сільське господарство, охорона та інтелект, оборона, а також нафтогазова промисловість[27].

PCI Geomatics 2018 дозволяє автоматично виявляти лінійні об'єкти на супутниковому знімку.

Зображення для автоматичного виявлення лінійних об'єктів було взято з супутника Landsat-8 – американського супутника дистанційного зондування Землі (рис. 3.9). Супутникове зображення, повинно обов'язково бути одношаровим.

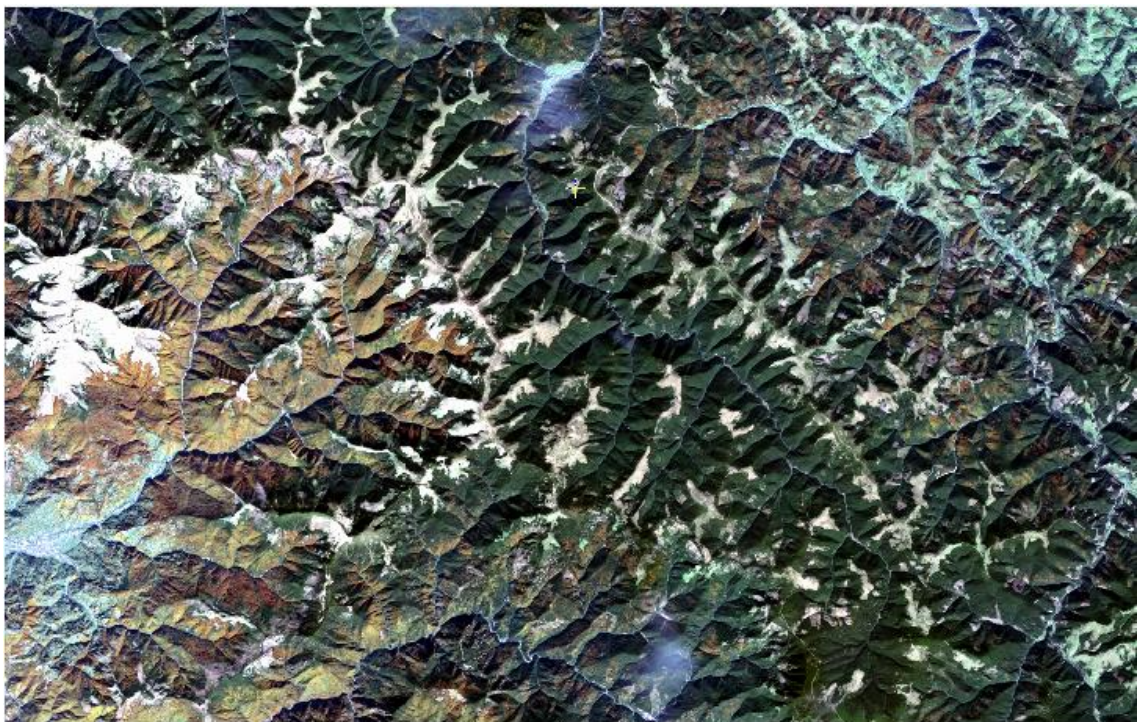


Рисунок 3.9 – Супутникове зображення фрагмента Карпатського регіону з супутника Landsat-8

В програмі Geomatica 2018 виявлення лінійних об'єктів знаходиться за посиланням Algorithm Librarian – EMPLINE: Empirical Line Calibration. В

вікно для автоматичного виділення лінеаментів LINE Module Control Panel, потрібно вказати супутникове зображення на якому потрібно провести виявлення, та ввести необхідні параметри (рис. 3.10).

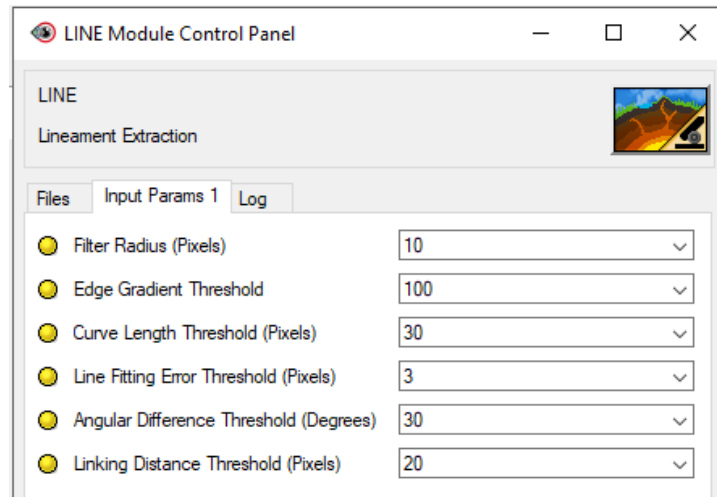


Рисунок 3.10 – Параметри LINE Module ControlPanel

Модуль LINE витягує лінійні об'єкти з зображення і записує полілінії в векторному сегменті. Хоча цей модуль призначений для вилучення лінеаментів з радіолокаційних зображень, його також можна використовувати на оптичних зображеннях для виділення лінійно-кривих елементів.

Опис вхідних параметрів які необхідно вказувати для виявлення лінійних об'єктів:

- Filter Radius (Pixels) – радіус фільтра. Визначає радіус фільтра виявлення країв, в пікселях. Цей параметр приблизно визначає найменший рівень найменшої деталізації у вхідному зображенні, яке буде виявлено. Велике значення радіусу фільтра вказує, що може бути виявлено менше деталей, а також менше шуму;

- Edge Gradient Threshold – поріг для градієнта краю. Визначає порогове значення в пікселях для мінімального рівня градієнта для граничного пікселя;

- Curve Length Threshold (Pexels) – поріг для довжини кривої. Визначає мінімальну довжину кривої в пікселях, яка повинна розглядатися як лінеаменти або для подальшого розгляду, наприклад, зв'язування з іншими кривими;

– Line Fitting Error Threshold (Pixels) – поріг для помилки установки лінії. Вказує максимальну помилку в пікселях, допустиму при підгонці полілінії до піксельної кривої. Більш низькі значення забезпечують кращу відповідність, але також і більш короткі сегменти в полілінії;

– Angular Difference Threshold (Degrees) – поріг для кутової різниці. Визначає максимальний кут в градусах між сегментами полілінії. Якщо кут перевищує зазначений максимум, полілінія(ламана) сегментується на два або більше векторів. Цей кут також визначає максимальний кут між двома векторами для їх зв'язку;

– Linking Distance Threshold (Pixels) – поріг для з'єднання відстані. Задає мінімальну відстань в пікселях між кінцевими точками двох векторів для яких вони повинні бути зв'язані(пов'язані) [27].

Найбільш підходящими параметрами були вибрані:

- Filter Radius = 10;
- Edge GradientThreshold = 1;
- Curve Length Threshold = 1;
- Line Fitting Error Threshold = 0;
- Angular Difference Threshold = 1;
- Linking Distance Threshold = 1.

Ці параметри найбільш детально й точно відображають лінійні елементи (рис. 3.11, рис. 3.12, рис. 3.13).

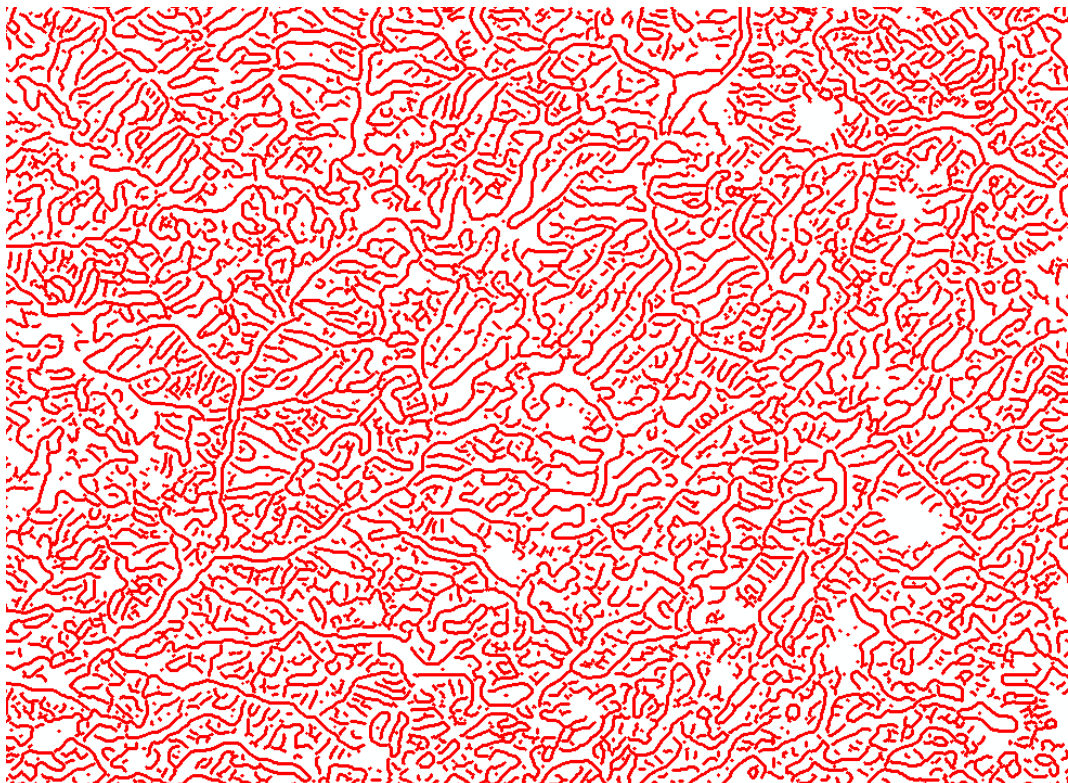


Рисунок 3.11 – Автоматично виділені лінеamenti в Geomatica 2018

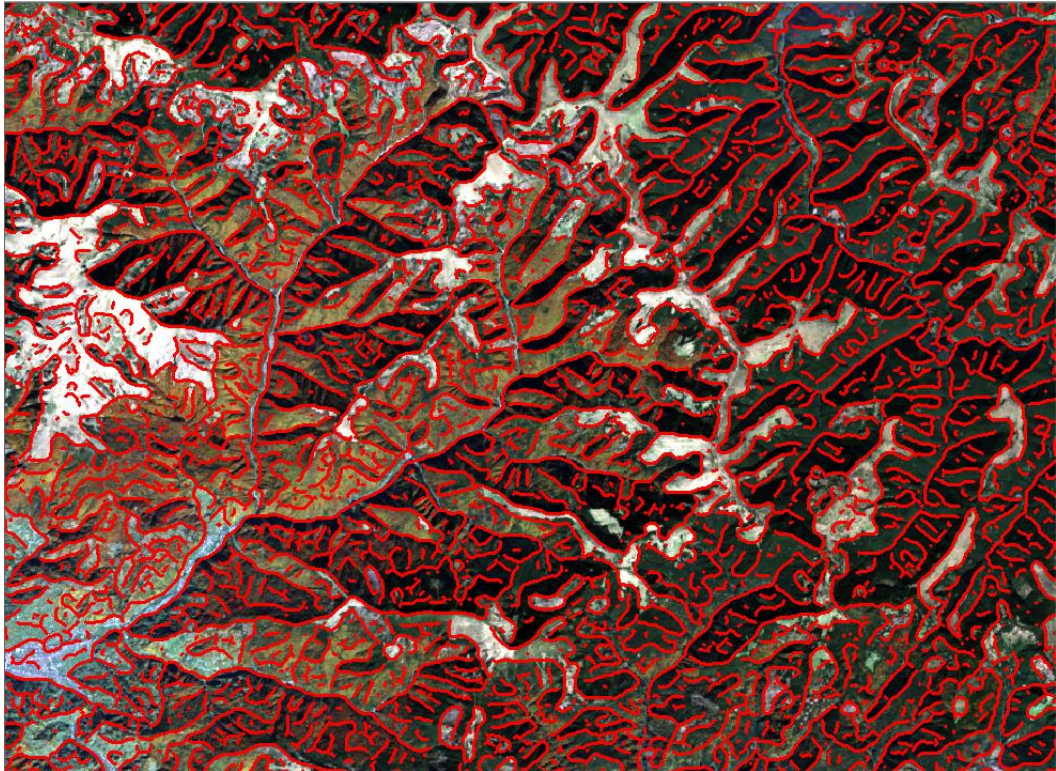


Рисунок 3.12 – Накладені автоматично виділені лінеamenti на супутниковому зображенні

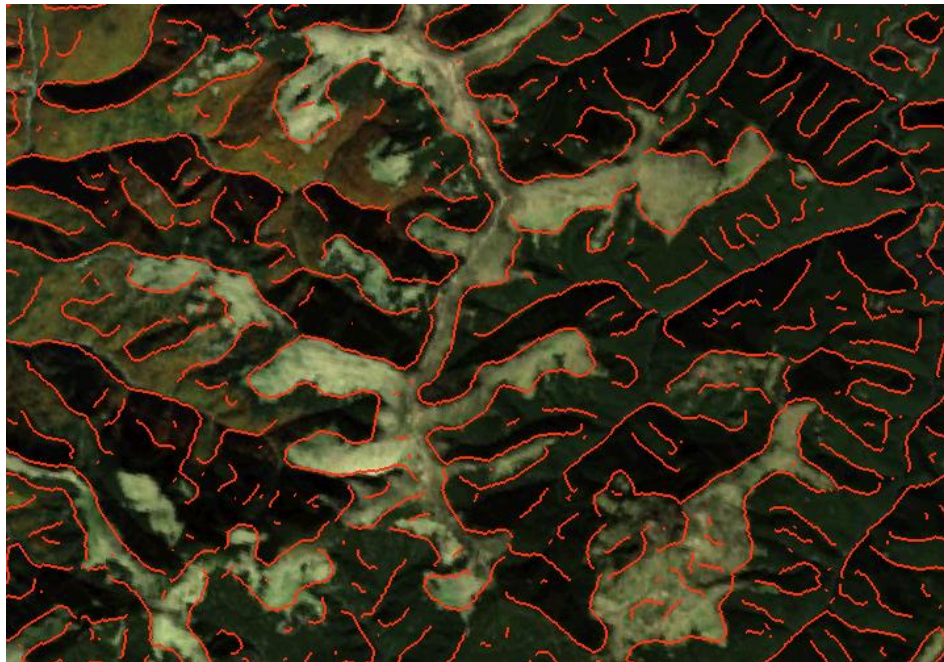
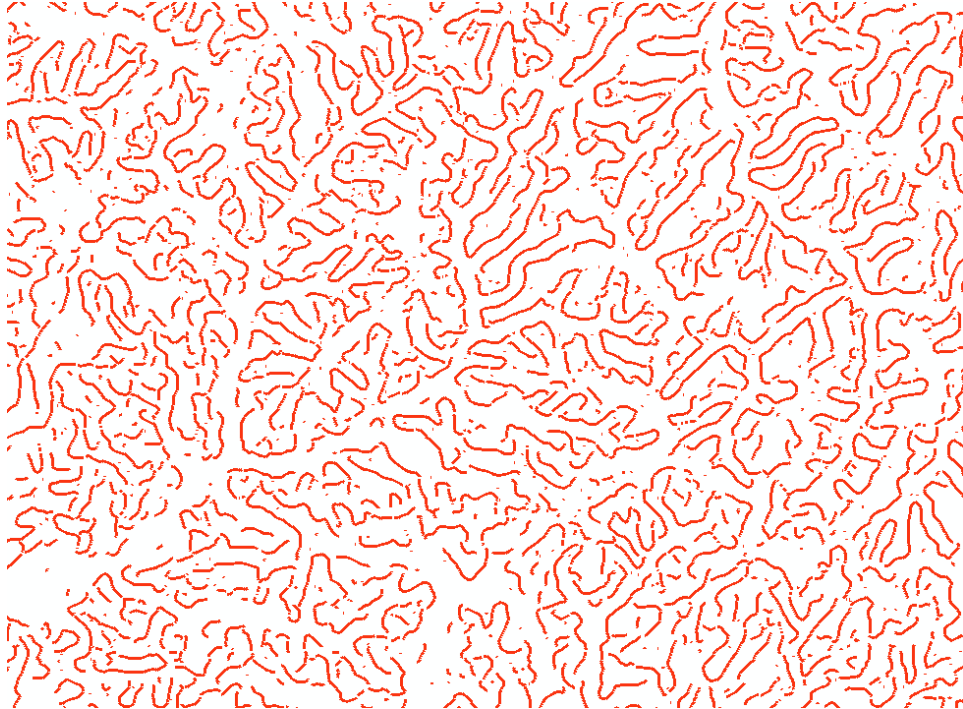


Рисунок 3.13 – Накладені лінеamenti на вершину гори

Для експерименту було виявлено лінеamenti з цифрової моделі висот Aster Global, тієї ж частини Карпатського регіону з оптимально підібраними параметрами (рис. 3.14).

б)



а)

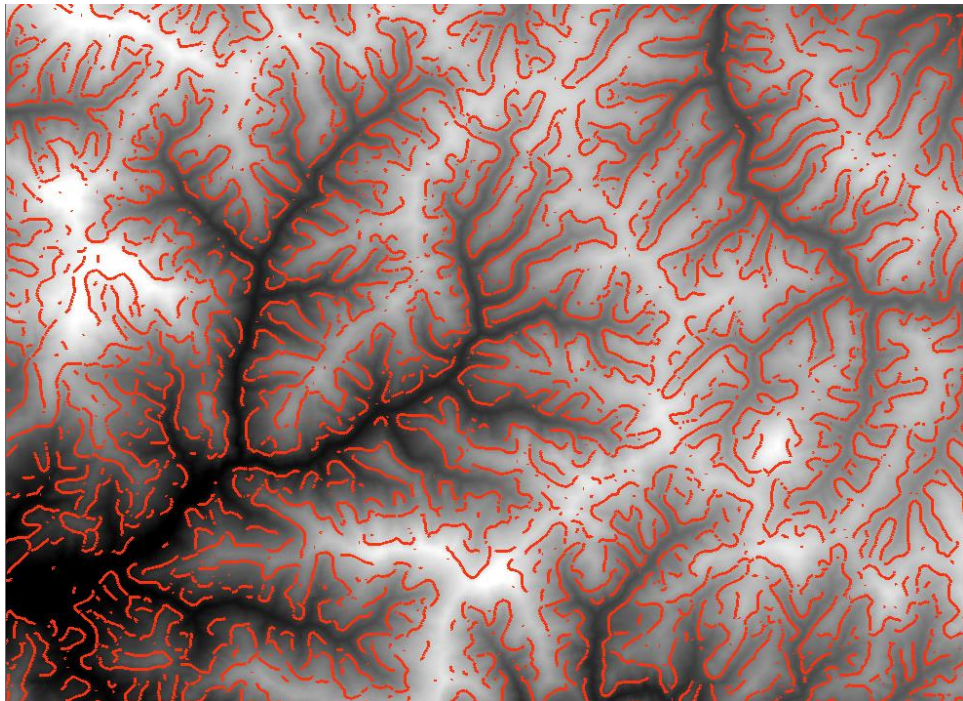


Рисунок 3.14 – Лінеamenti: а) виділені з цифрової моделі висот Aster Global; б) накладені на цифрову модель висот Aster Global

Для виявлення лінеamentів було проведено багато варіантів підбору вхідних параметрів, деякі з них представлені нижче на рис. 3.15, рис. 3.16, рис. 3.17, рис. 3.18, рис. 3.19.

а)



б)

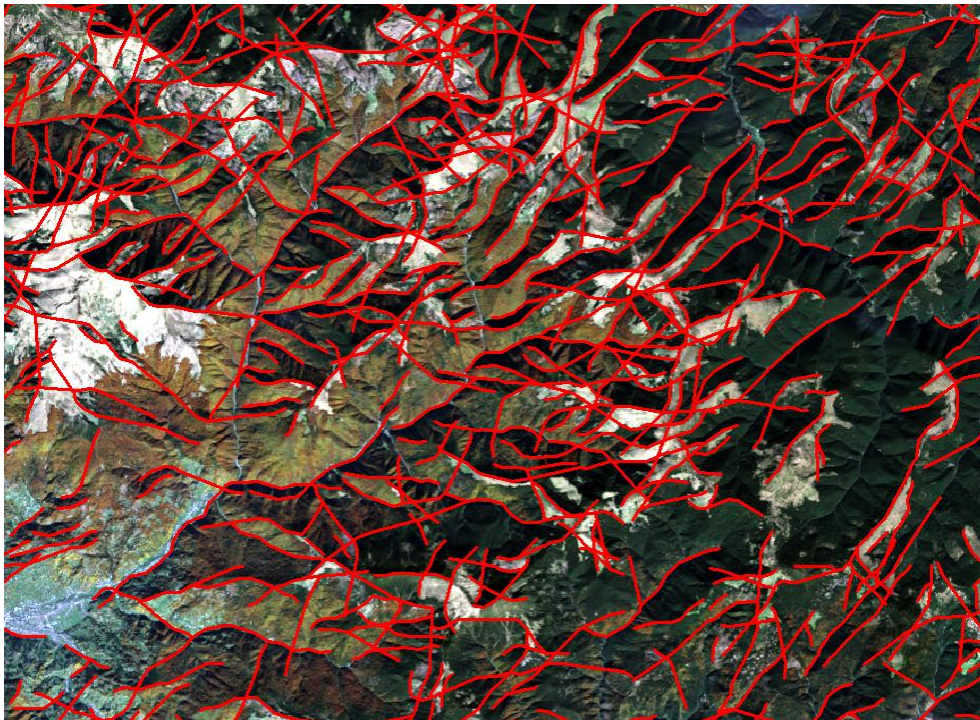
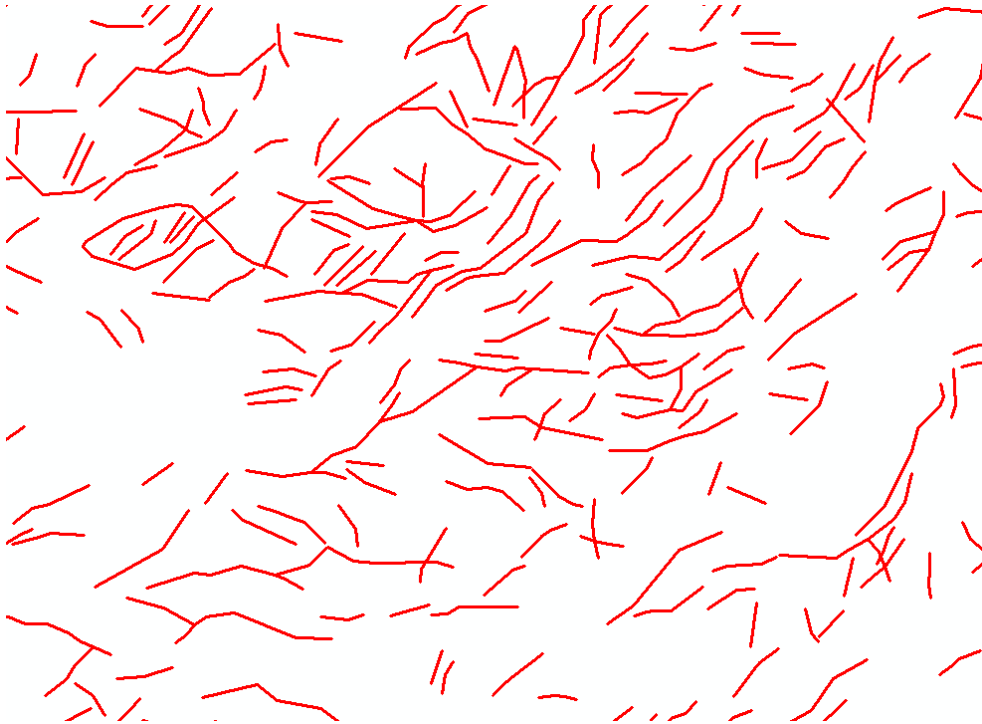


Рисунок 3.15 – Лінеamenti з параметрами FilterRadius = 10, EdgeGradientThreshold = 100, CurveLengthThreshold = 20, LineFittingErrorThreshold = 1, AngularDifferenceThreshold = 30,

LinkingDistanceThreshold = 50: а) виділені; б) накладені на супутниковий знімок

а)



б)

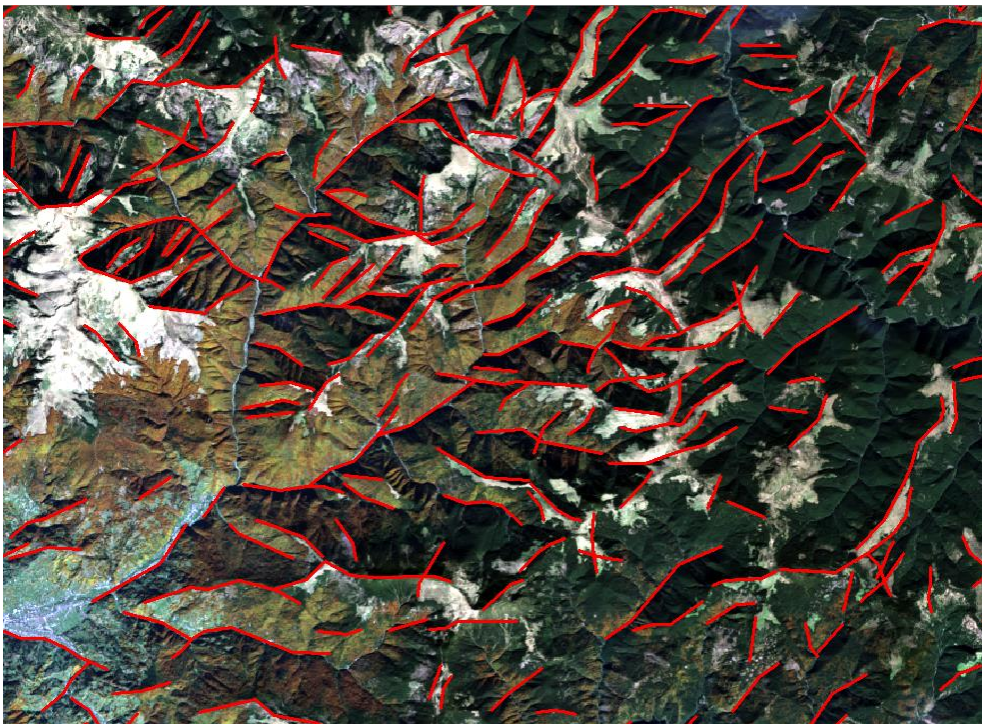


Рисунок 3.16 – Лінеаменти з параметрами FilterRadius = 10, EdgeGradientThreshold = 100, CurveLengthThreshold= 30, LineFittingErrorThreshold= 3, AngularDifferenceThreshold = 30,

LinkingDistanceThreshold = 20: а) виділені; б) накладені на супутниковий знімок

а)



б)

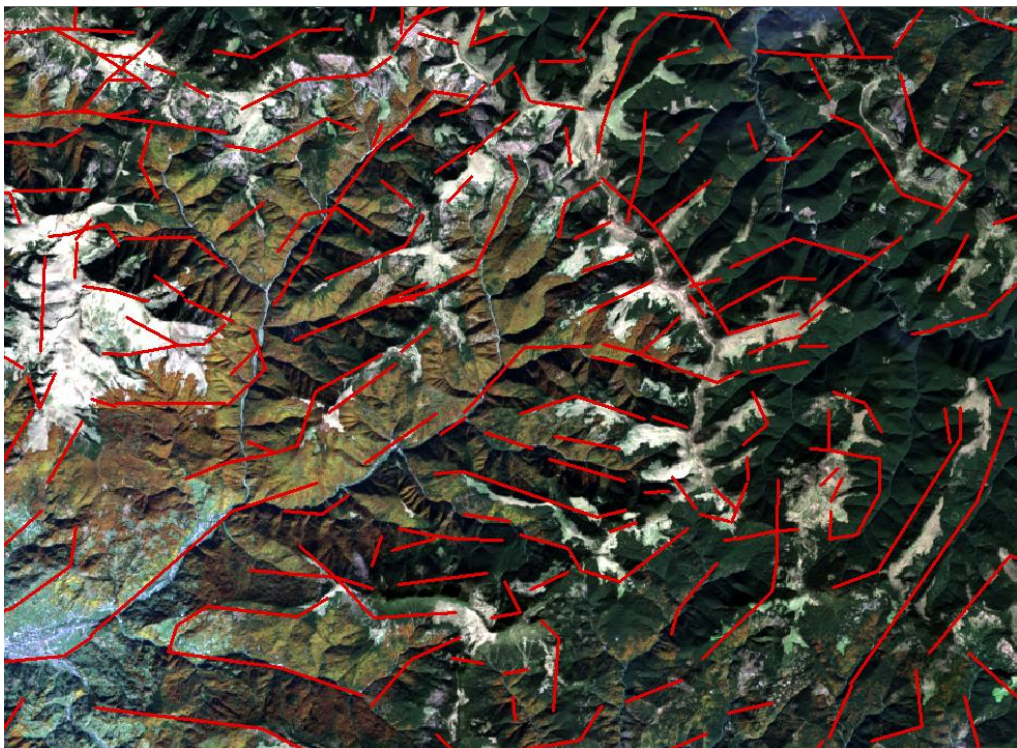


Рисунок 3.17 – Лінеаменти з параметрами FilterRadius = 50, EdgeGradientThreshold = 20, CurveLengthThreshold = 0,

LineFittingErrorThreshold= 20, AngularDifferenceThreshold = 15,
 LinkingDistanceThreshold = 50: а) виділені; б) накладені на супутниковий
 знімок

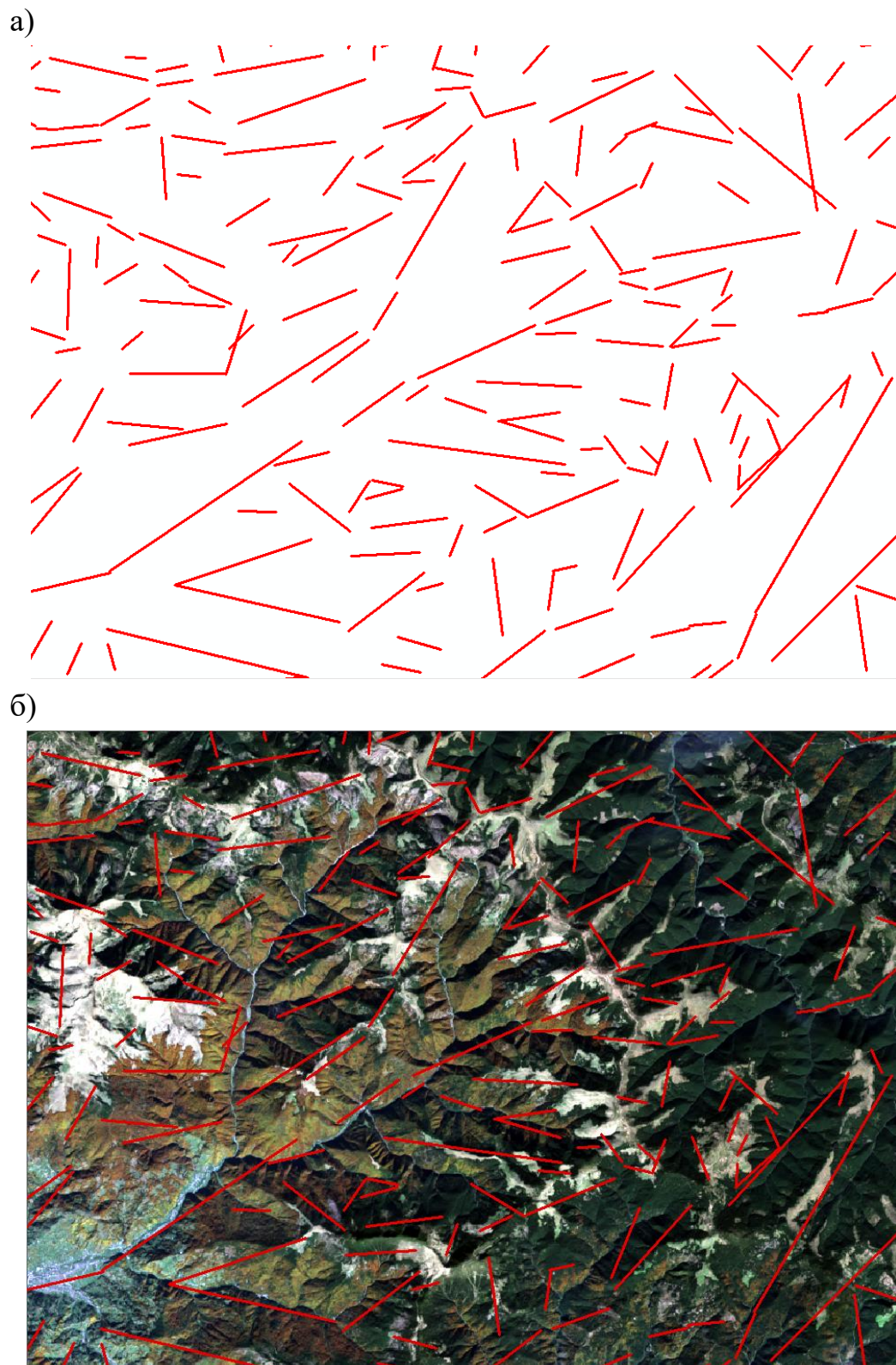
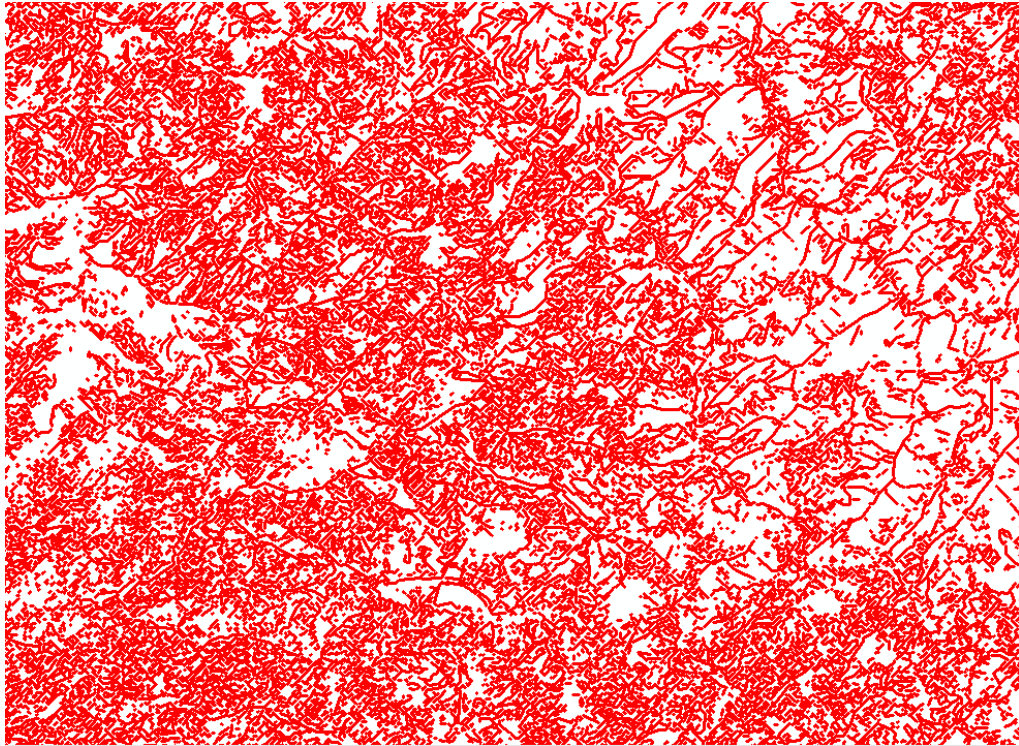


Рисунок 3.18 – Лінементи з параметрами FilterRadius = 50,
 EdgeGradientThreshold = 25, CurveLengthThreshold = 21,

LineFittingErrorThreshold= 5, AngularDifferenceThreshold = 64,
LinkingDistanceThreshold = 7: а) виділені; б) накладені на супутниковий
знімок

а)



б)

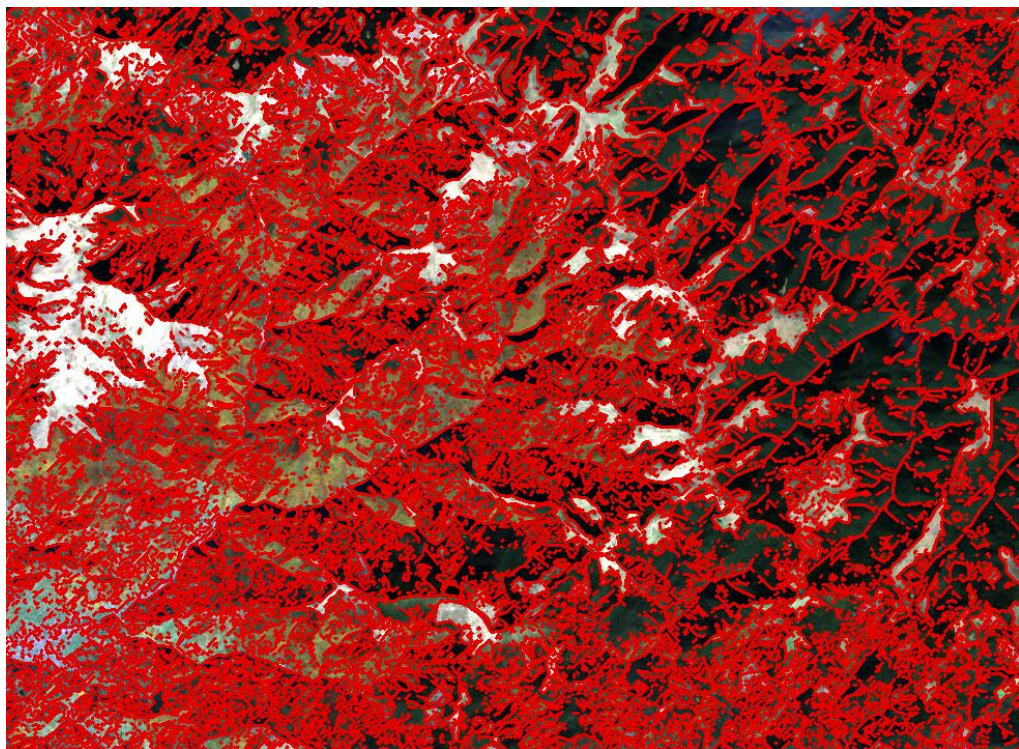


Рисунок 3.19 – Лінеamenti з параметрами FilterRadius = 1,
EdgeGradientThreshold = 1, CurveLengthThreshold= 1,

LineFittingErrorThreshold= 1, AngularDifferenceThreshold = 1, LinkingDistanceThreshold = 1: а) виділені; б) накладені на супутниковий знімок

3.2.2 Виділення лінеаментів в геоінформаційній системі ArcGis

ArcGIS – це геоінформаційна системна платформа корпоративного рівня (корпоративна ГІС), призначена для підтримки прийняття рішень з використанням просторової інформації для управління територією, регіоном або організацією. Складається з додатків ArcCatalog, ArcMap, ArcToolbox, ArcScene, ArcGlobe[27].

На жаль в цій геоінформаційній системі не реалізований модуль який би автоматично виділяв лінеаменти, але за допомогою ArcGIS можна виділити лінії хребтів та ребр гір. Для цього потрібен додаток ArcMap, він використовується для всіх картографічних завдань, включаючи створення карт, аналіз карт і редагування даних.

Виділення хребтів і ребр проходить, так само як і виділення річок, потоків та водостоків, за допомогою інструментів HydrologyToolset, з матриці висот, глобальної моделі цифрових висот Aster Global (рис. 3.20).

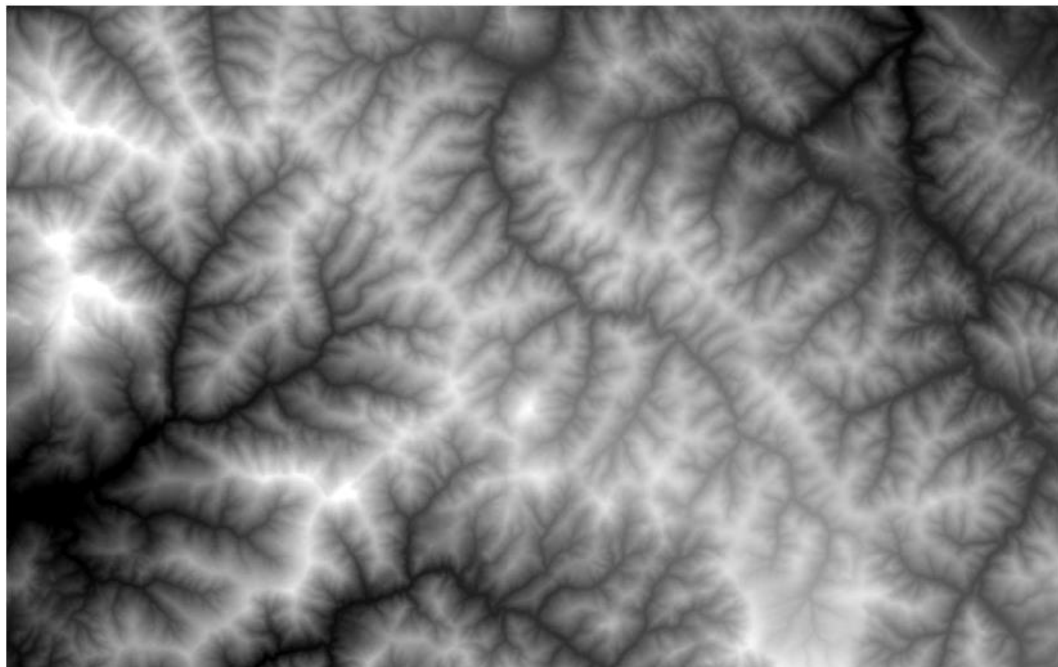


Рисунок 3.20 – Глобальна модель цифрових висот Aster Global частини Карпатського регіону

Просторовий аналітик і інструментарій гідрології використовуються для ідентифікації та вилучення ліній хребтів та ребр функцій з растрового діапазону висот(DEM) таким же чином, як мережа потоку та водостоку.

Цей процес використовує MapAlgebra і HydrologyToolset, щоб видобути ригідні функції з ЦМР[28].

Спершу заповнюємо глобальну цифрову модель висот за допомогою інструмента Fill (Заповнення) в HydrologyToolset. Цифрова модель рельєфу без приймачів (ЦМР без впадин) – є бажаним входом в процес напрямку потоку. Присутність стоків може призвести до помилкового растру в напрямку потоку. За допомогою інструменту Калькулятор растрів (Raster Calculator) інвертуємо значення висот Fill Dem, помножуємо на -1, тобто, всі висоти, що раніше були, стали низовинами, а низовини стали висотам (рис. 3.21).

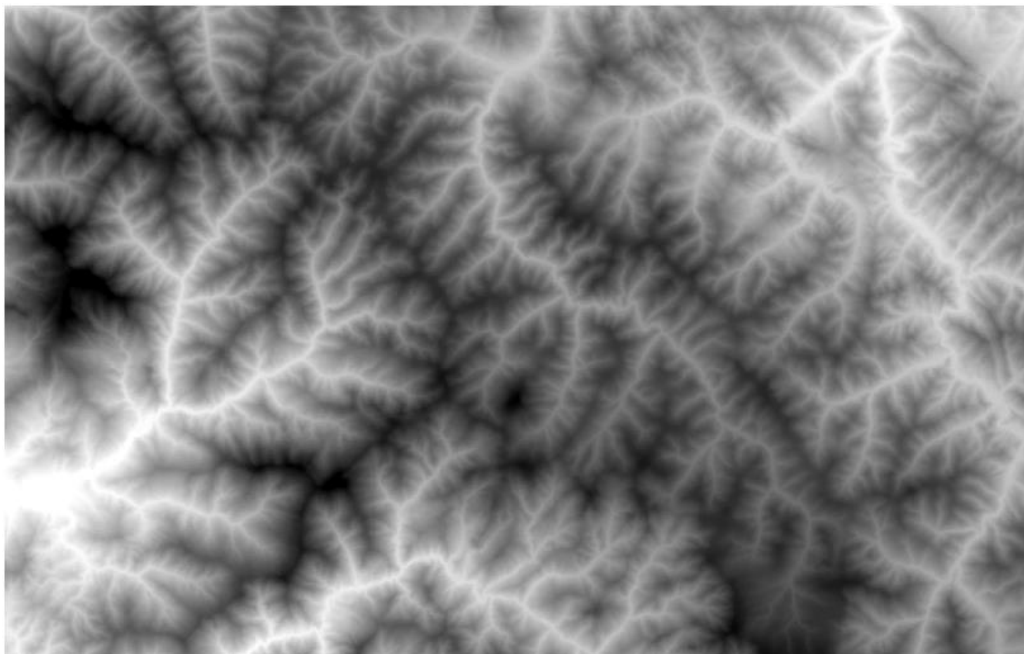


Рисунок 3.21 – Інвертована Цифрова модель висот частини Карпатського регіону

Наступним кроком визначаємо напрямок стоку, за допомогою інструменту Flow Direction. Далі за допомогою інструменту Flow Accumulation обчислюємо сумарний стік з напрямку стоку. Встановлюємо поріг поточного накопичення та створюємо мережевий растр потоку `Con("Сумарний стік", 1,0, "Value>= 30")`, за допомогою растрового калькулятора. Визначаємо порядок водотоків за допомогою інструменту Stream Order, на основі створенної мережі растрового потоку та напрямку

стоку. Цим присвоюємо порядкові номери зв'язків в мережі водотоків. Порядок водотоків визначає і класифікує водотоки на основі кількості їх притоків. І перетворюємо порядок водотоків в просторовий об'єкт за допомогою інструменту Stream to Feature (рис. 3.22, рис. 3.23, рис. 3.24).

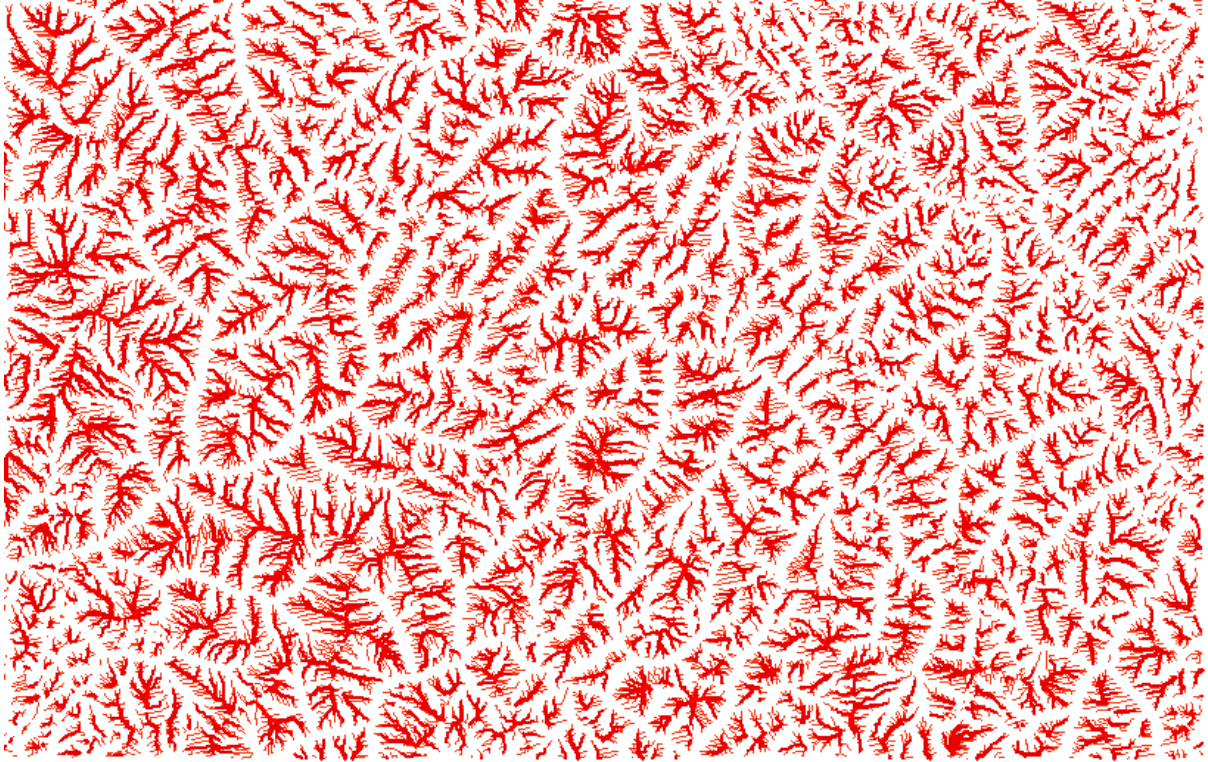


Рисунок 3.22 – Виділені хребти та ребра гір

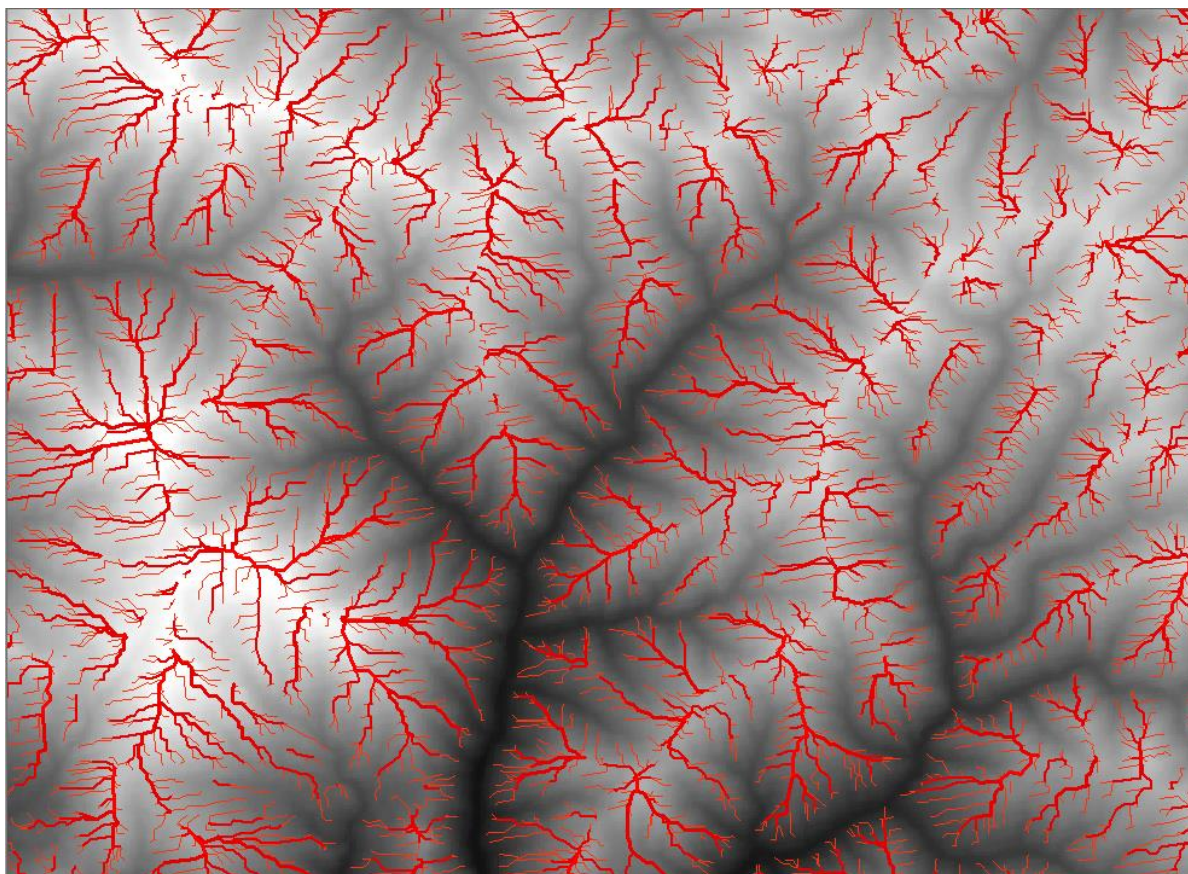


Рисунок 3.23 – Виділені хребти та ребра гір накладені на ЦРМ Aster Global

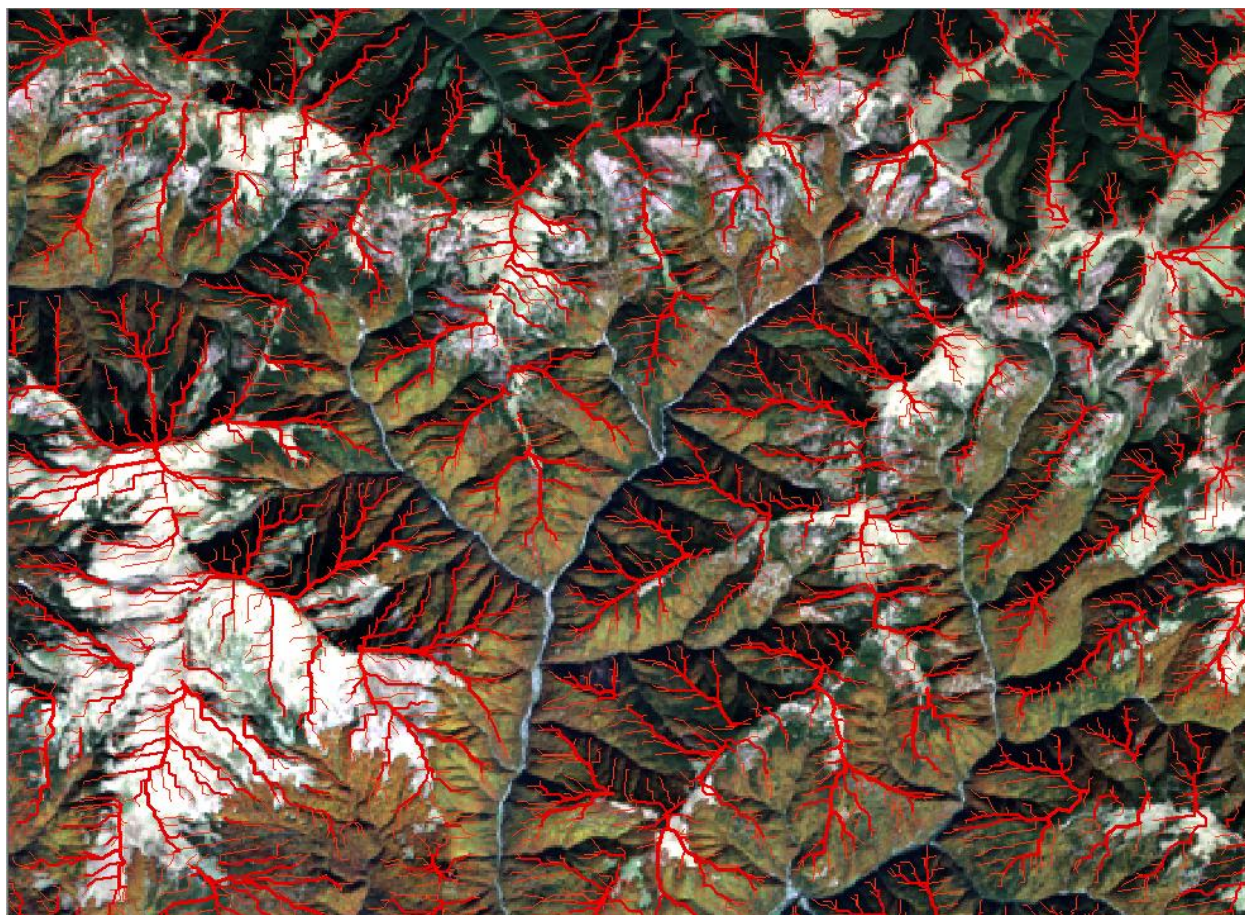


Рисунок 3.24– Виділені хребти та ребра гір накладені на супутникове зображення

4 КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ РЕЛЬЄФА І ЛІКАМЕНТІВ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНА З МЕТОЮ ПОБУДОВИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

4.1 Недоліки лінеаментного аналізу існуючих ГІС при побудові радіолокаційної системи

Автоматичне виділення лінійних об'єктів в геоінформаційних системах Geomatica 2018 та ArcGis не дали необхідного результату. Метою було виділити лініями хребти та ребра гір, для аналізу, при якому було б видно як розташована гора, де знаходяться найвищі вершини цих хребтів та сідловини. Це б дало змогу маневрувати при розстановці МРЛ на хребті, а не розміщувати їх в сідловинах та місцях, де при локації височина закривала б кут обзору(кут закриття).

4.1.1 Недоліки виявлення лінійних об'єктів в ГІС Geomatica

Виділення лінійних об'єктів в ГІС Geomatica відбувається візуально, з супутникового знімку, без урахування висот. У зображенні супутника під виділення лінеаментів підпадають штучні структури(транспортні мережі, дороги, канали), природні структури(геологічні структури, ребра та хребти гір, розломи, тріщини), та дренажні мережі (річки).

В ГІС Geomatica лінійний елемент відрізняється зміною інтенсивності зображення, що вимірюється градієнтом. За допомогою застосування фільтрів виявлення краю до зображення, можна створити чисельний метод визначення лінійних елементів. Цей метод, однак, не настільки точний, як людська візуальна система, яка дуже ефективна при екстраполяції лінійних ознак. Для людського ока лінеаменти, інтенсивність яких змінюється по довжині, можуть розглядатися як один довгий лінійний елемент, тоді як для чисельного методу той же самий лінійний елемент може відображатися у вигляді декількох коротких лінійних елементів. Таким чином, чисельний метод виділення лінеаментів повинен бути надійним і враховувати поступові або раптові зміни градієнта уздовж лінеаментів, а також незначні зміни напрямку.

Алгоритм виявлення лінійних елементів, реалізований в ГІС Geomatica, враховує ці проблеми при вилученні лінійних об'єктів з зображення. Алгоритм складається з трьох етапів. Спочатку до зображення застосовується оператор виявлення краю, створюючи градієнтне зображення. (всі 16-розрядні або 32-розрядні вхідні зображення спочатку масштабуються до 8-розрядних з використанням процедури нелінійного масштабування). По-друге, градієнтне зображення – порогове, для створення двійкового зображення краю. Нарешті, лінійні елементи витягуються з двійкового зображення краю. Цей останній крок містить багато підетапів, таких як проріджування країв, скорочення кривих, сегментування рекурсивних кривих і зв'язування кривих близькості.

Алгоритм виявлення лінійних об'єктів складається з трьох етапів:

- виявлення краю, на цьому етапі алгоритм виявлення краю Canny застосовується для створення зображення міцності краю. Алгоритм виявлення краю Canny має 3 кроки. Спершу фільтрує вхідне зображення за допомогою функції Гауса, радіус якого задається параметром радіуса фільтра. Потім градієнт обчислюється по відфільтрованому зображенню. Нарешті, пікселі, градієнт яких не є локальним максимумом, прибираються шляхом встановлення межі до 0;

– визначення порогу, на цьому етапі міцності зображення краю встановлюється пороговим, щоб отримати бінарне зображення. Кожен включений піксель двійкового зображення являє собою край елемента. Порогове значення визначається параметром граничного градієнта(порогом градієнта межі);

– вилучення кривої, на цьому етапі криві витягуються з двійкового зображення краю. Складається з 2 етапів. Спочатку до двійкового крайового зображення застосовується алгоритм проріджування для отримання структурних кривих шириною в піксель. Потім з зображення витягується послідовність пікселів для кожної кривої. Будь-яка крива з числом пікселів, меншим, ніж значення параметра порогу для довжини кривої, відкидається від подальшої обробки. Витягнута піксельна крива перетворюється в векторну форму шляхом підгонки сегментів лінії до неї. Отримана полілінія є апроксимацією вихідної кривої пікселя, де максимальна похибка відстані між ними визначається параметром порогу помилки установки лінії;

В самому кінці, алгоритм пов'язує пари поліліній, при яких два кінцевих сегмента двох поліліній звернені один до одного і мають однакову орієнтацію (кут між двома сегментами має менше значення, зазначеного порогу для кутової різниці) та два кінцевих сегмента розташовані близько один до одного. Кінцева полілінія зберігаються у векторному сегменті[29].

Цей алгоритм не зовсім підходить для нашої мети. В нашому випадку він чітко виділяє довгими лініями тільки річки та транспортні шляхи, а необхідні нам хребти та ребра гір він виділяє не точно, та виділяє багато зайвих лінійних об'єктів, так званих перешкод. Частково цей метод добре виділяє ребра та гори, але чітко побачити хребет гори не можемо, він виділяє його контуром, при якому саму середину хребта не видно.

Підбір вхідних параметрів для алгоритму не дав нам бажаного результату. При самих оптимальних параметрах, все одно немає чіткого, неперервного зображення ліній хребтів та ребр. Щоб побачити ці недоліки, достатньо накласти виділені лінеamenti на 3D-модель цієї місцевості, де вже чітко видно, де знаходяться хребти та ребра гір, долини, річки та що нам виділив такий метод виявлення лінійних об'єктів (рис. 4.1, рис. 4.2).

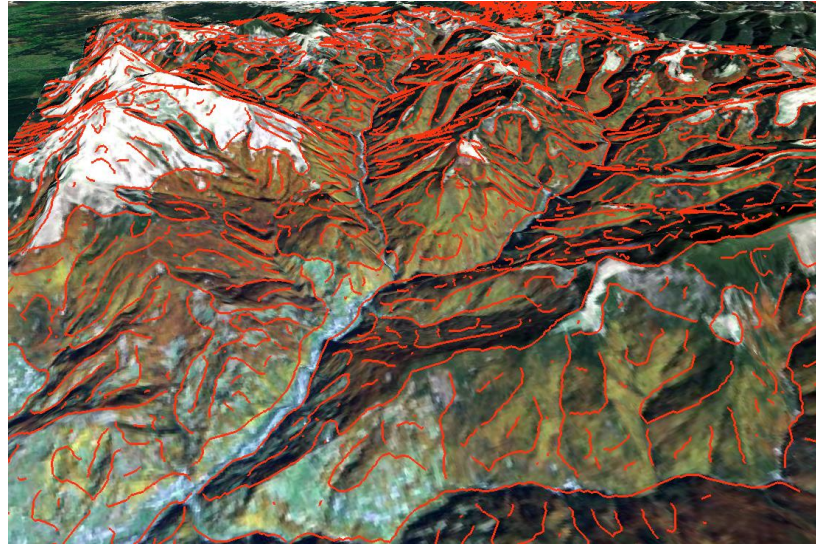


Рисунок 4.1 – Виділені лінеamenti накладені на 3D моделі місцевості

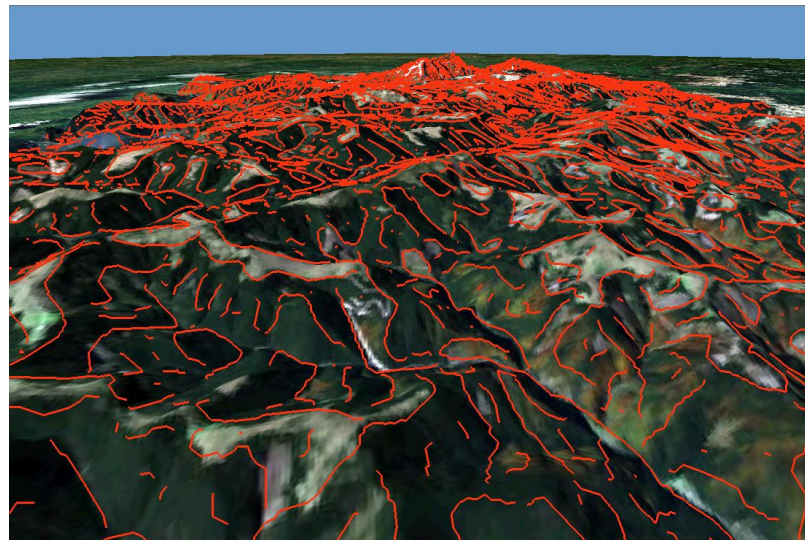


Рисунок 4.2 – Загальний вигляд накладений лінементів на 3D моделі місцевості

4.1.2 Недоліки виявлення лінійних об'єктів в ГІС ArcGis

Так як в ГІС ArcGis не має інструментів для автоматичного виділення лінійних об'єктів, то це ускладнює поставлену задачу. Але для аналізу гір і гірської місцевості є спосіб виявлення ліній хребтів та ребр гір. За допомогою інструментів Hydrology, таким же методом, як і виділення водотоків по висотам. Для цього треба було інвертувати значення висот і низин в цифровій моделі висот, де хребти та ребра гір – висоти стали низинами, а долини та ріки стали висотами. Так, цей аналіз більш зрозуміло

допомагає виявити хребти та ребра гір, без впливу на це інших лінійних об'єктів (рис. 4.3).

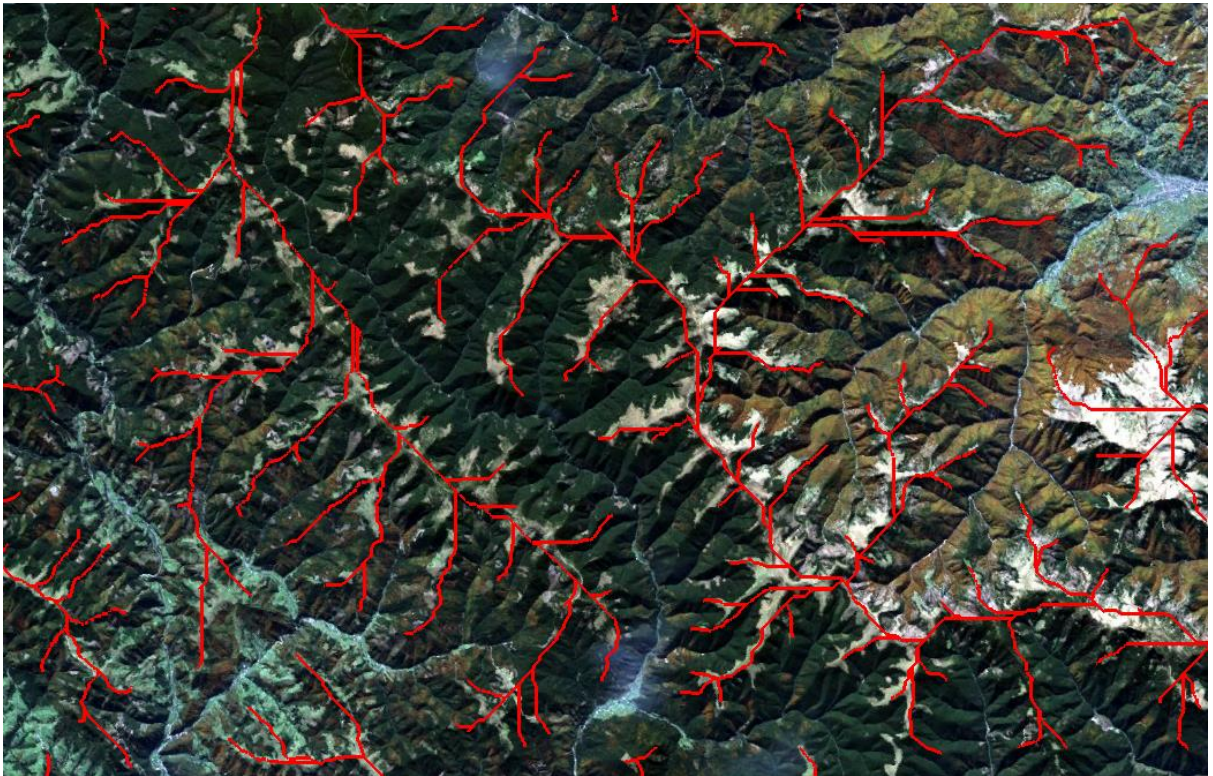


Рисунок 4.3 – Накладені лінеamenti на супутникове зображення фрагмента Карпатського регіону

В такому виділенні лінементів є такі недоліки які впливають на поставлену мету:

- при інвертуванні висот в низовини, відбуваються зміщення в бік координат, що впливає на достовірність аналізу. Тобто виділені хребти та ребра гір при накладанні зміщаються відносно свої поточних координат. Це добре видно при накладанні на супутникове зображення та 3D модель рельєфу;

- виділені лінії хребтів мають лінійні параметри через особливостей інструментів для виділення водотоків, та не відображають точності проходженні ліній хребтів та ребр. В місцях сідловин лінії промальовуються без урахуванням зниження та піднесення рельєфу гір, це виникає через процесу Заповнення знижень, який необхідний для виділення водотоків.

Всі перераховані недоліки чітко видно при накладанні на 3D моделі, видно зміщення відносно центру хребта гори, видно прямі лінії які не

відображають сідловини гори(рис. 4.4). Нажаль, цей результат не підходить для виявлення позицій, щоб поставити на них МРЛ.

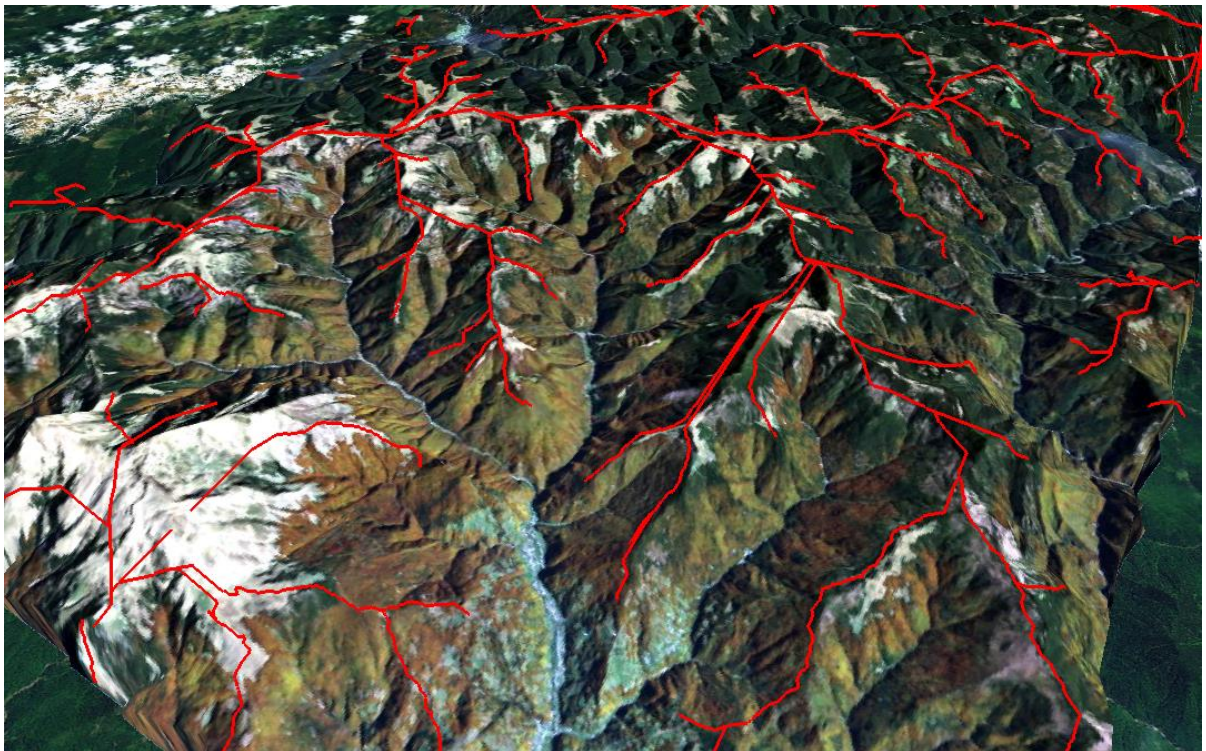


Рисунок 4.4 – Накладені лінеamenti на 3D рельєфу

4.2 Спільний аналіз рельєфу і лінементів для вибору місця розміщення метеорологічних радіолокаційних станцій

Для проведення спільного аналізу, для зрозумілості, потрібна 3D-модель Карпатського регіону в декільках варіаціях, виділені водотоки, щоб було видно як дощові опади стікають в гір в долини, побудувати контру висот, виділити максимальні висоти по областям (горам). На основі цих даних проводимо аналіз.

4.2.1 Створення 3D-моделі рельєфу Карпатського регіону

Використання 3D-моделей розширює наочні засоби демонстрації результатів досліджень, а також в цілому надає дослідженням інші варіанти як інструментального, так і в цілому – візуально інтуїтивного аналізу даних.

Супутниковий знімок не має прив'язки по висотам, тільки по координатам. Для створення 3D-моделі Карпатського регіону, потрібно

використовувати цифрову модель рельєфу (ЦМР). ЦМР – цифрове представлення топографічної поверхні у вигляді растра або регулярної мережі осередків заданого розміру. Одним з основних джерел матеріалів з супутниковими знімками, в тому числі і безкоштовних, є архів Геологічної служби США. Доступ до нього можливий як для простого перегляду каталогу, так і для безпосереднього отримання збережених в ньому матеріалів, на сайті <https://earthexplorer.usgs.gov>. Завантажуємо з сайту цифрову модель рельєфу (Aster Global Dem), з просторовим дозволом 30 метрів[30].

У програмі ArcMap, проводимо об'єднання фрагментів Aster Global Dem в один. Тобто комбінуємо вхідні набори даних одного типу даних в один новий вихідний набір даних, використав інструмент «Приєднати». Цей інструмент комбінує точкові, лінійні і полігональні класи об'єктів або таблиці. І накладає кордон України по верх об'єднаних фрагментів цифрової моделі рельєфу (рис. 4.5).

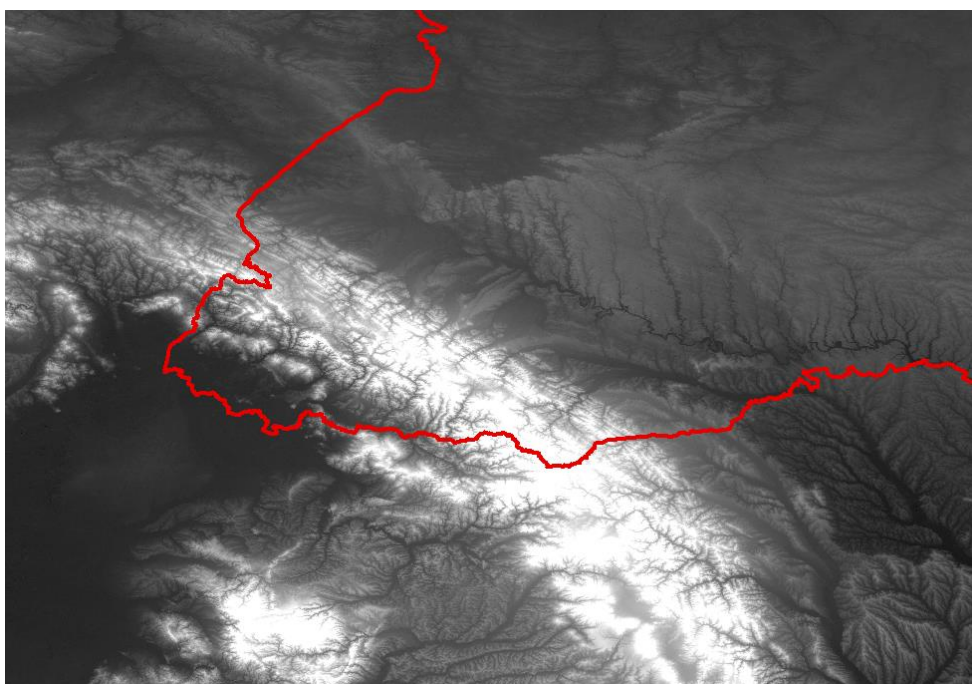


Рисунок 4.5 – Цифрова модель рельєфу Карпатський регіон

Додатково завантажено супутникові зображення Landscape 8. Але супутникові зображення місцями відрізняються кольорами, знімки підбиралися таким чином, щоб на них було якнайменше хмар. Тому супутникові зображення зроблені в різний проміжок часу (рис. 4.6)[31].

Для деталізації регіону, на основі Цифрової моделі рельєфу та супутникового зображення створюємо 3D-модель Карпатського регіону (рис. 4.7, рис. 4.8)



Рисунок 4.6 – Карпатський регіон з супутникових зображень

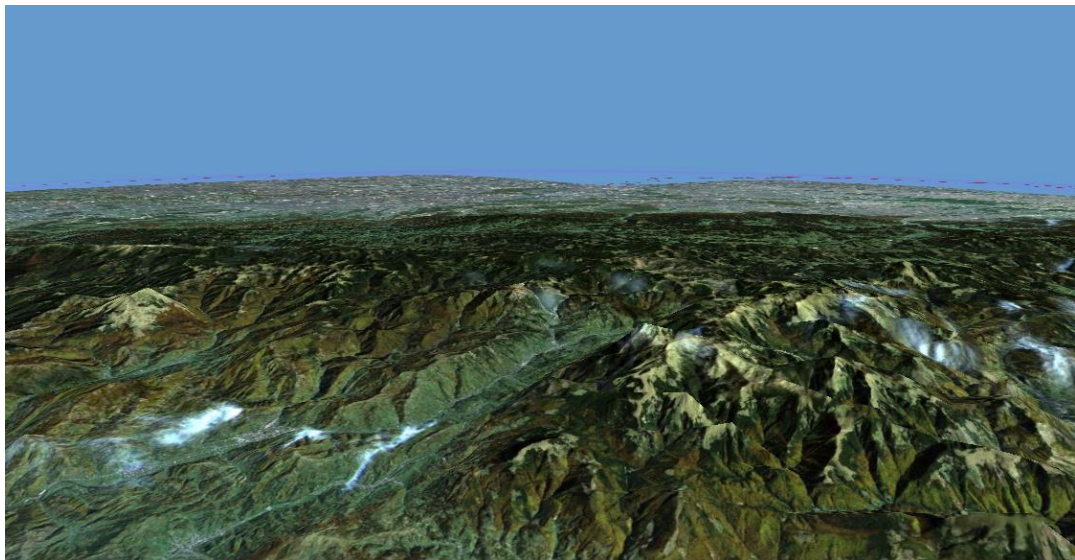


Рисунок 4.7 – 3D-модель Карпатського регіону на основі супутникових зображень

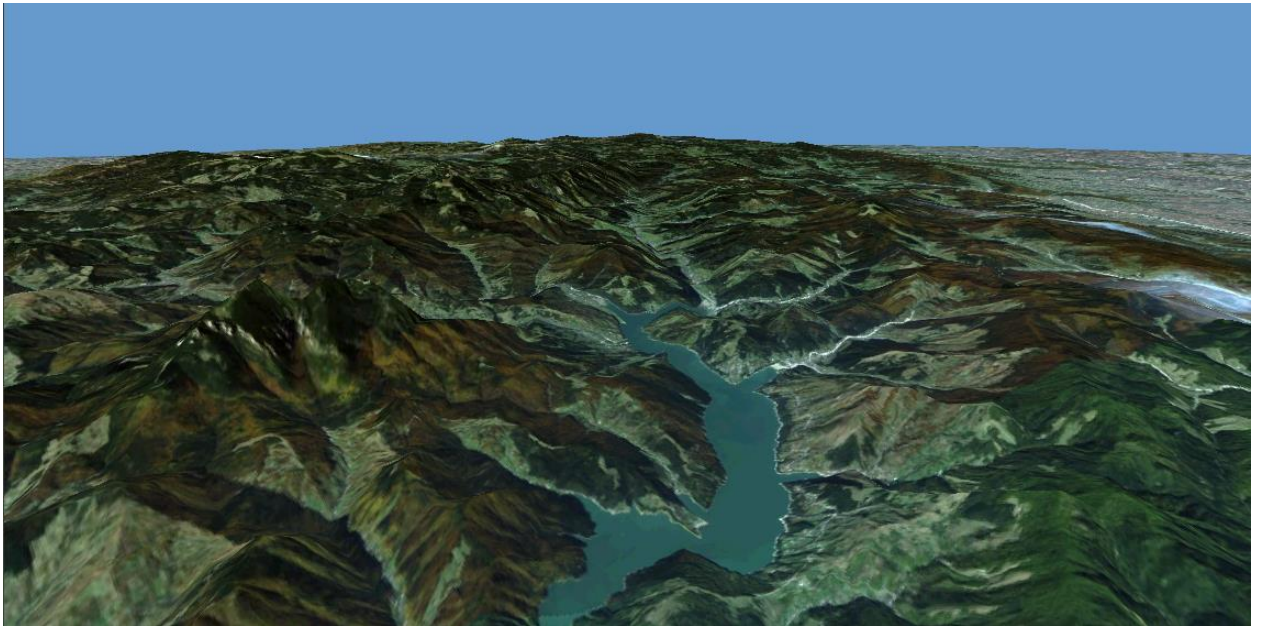


Рисунок 4.8 – 3D-модель фрагмента Карпатського регіону на основі супутникових зображень

Викачуємо супутниковий знімок з Google Earthe, з висоти 280 метрів, робимо прив'язку по координатах і будуємо з нього 3D-модель на основі висот ЦМР (рис. 4.9).



Рисунок 4.9 – 3D-модель фрагмента Карпатського регіону на основі знімка з Google Earthe

4.2.2 Виділення водотоків

Виділення водотоків вимагає цілий процес. Для цього використовуємо ArcMap, інструменти SpatialAnalyst / Hydrology.

Водотоки виділяються з цифрової моделі висот Aster Global Dem. Для зрозумілості, послідовності виконання виділення водотоків, буде зображуватися на картинках, не на весь Карпатський регіон, а на фрагмент. З великим масштабом, всі компоненти накладаються один на одного і не дають змоги зрозуміти, що вони з себе представляють. Кожен етап виділення водотоків, в ході виконання роботи застосовується для всього Карпатського регіону (рис. 4.10).

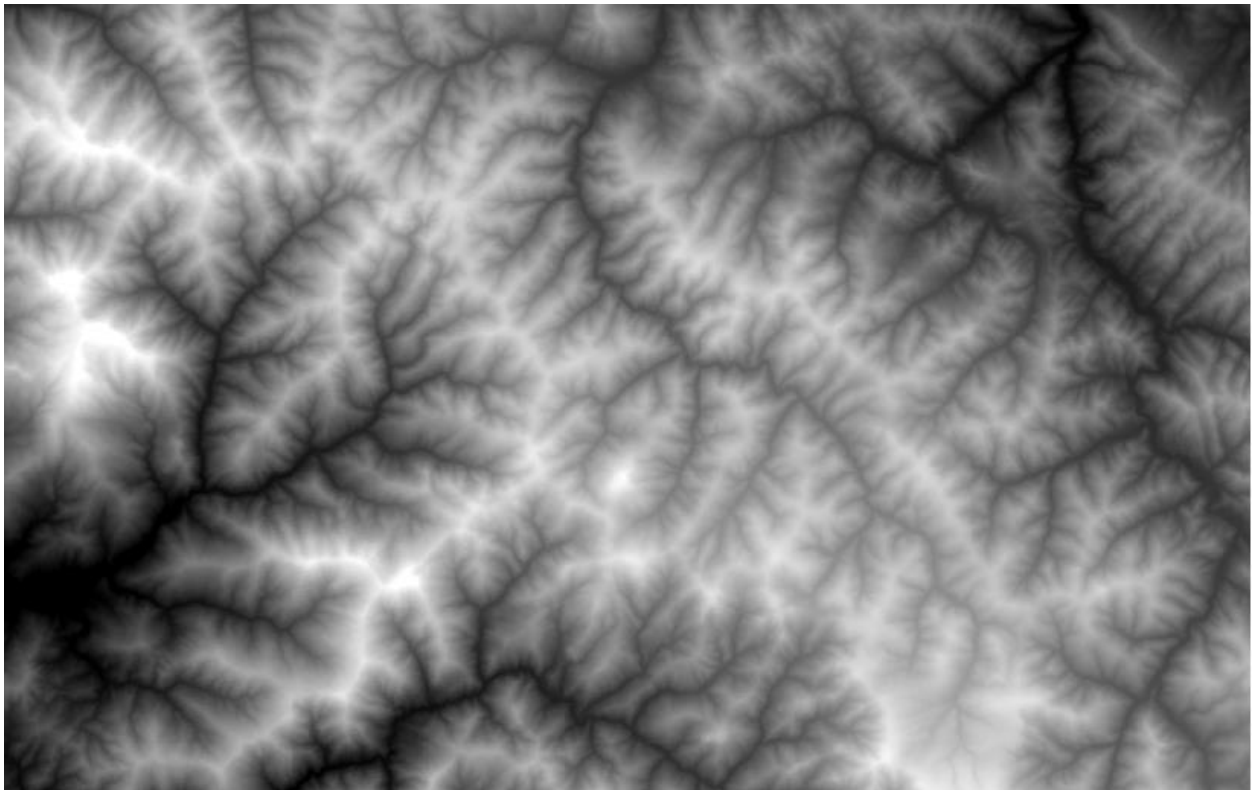


Рисунок 4.10 – Цифрова модель висот Aster Global частини Карпатського регіону

На першому етапі виділення водотоків, проводиться заповнення по всьому Карпатському регіону інструментом Fill.

Заповнення – це процес заповнення локальних знижень на поверхні растра всього Карпатського регіону (цифрової моделі рельєфу Aster Global) для усунення невеликих дефектів даних (рис. 4.11).

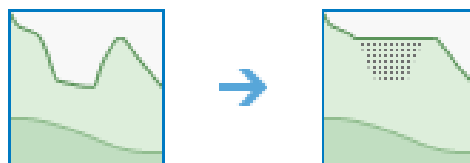


Рисунок 4.11 – Приклад заповнення зниження на поверхні растра

Локальні зниження (і піки) найчастіше представляють собою невеликі помилки, що виникають із-за дозволу даних або округлення висот до найближчого цілого значення[30].

Локальні зниження повинні бути заповнені для забезпечення більш коректного виділення басейнів і водотоків. Якщо локальні зниження незаповнені, виділена дренажна мережа може мати розриви (рис. 4.12).

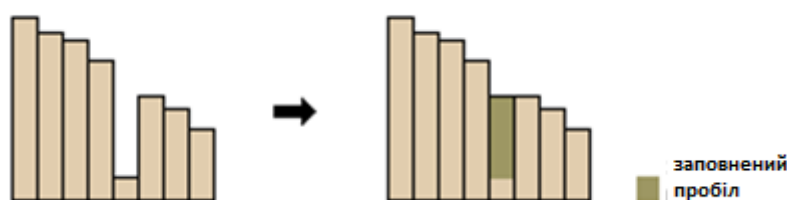


Рисунок 4.12 - Заповнення прогалин

Це ітеративний процес, який повторюється до тих пір, поки не будуть заповнені всі локальні зниження з урахуванням заданого обмеження по висоті. В міру того, як локальні зниження заповнюються, на кордоні зон які заповнюються можуть створюватися нові локальні зниження, які будуть видалені під час наступної ітерації.

На другому етапі визначаємо напрямок стоку по всьому Карпатському регіону.

Для отримання гідрологічних характеристик поверхні регіону є необхідність визначити напрямок стоку з кожного осередку растра. Це робиться за допомогою інструменту Flow Direction. Цей інструмент використовує поверхню в якості вхідних даних і видає растр, що показує напрямок стоку кожного осередку.

Є 8 коректних вихідних напрямків щодо 8 суміжних осередків, в які може перейти стік. Цей підхід зазвичай називається моделлю восьминаправленого стоку (рис. 4.13).

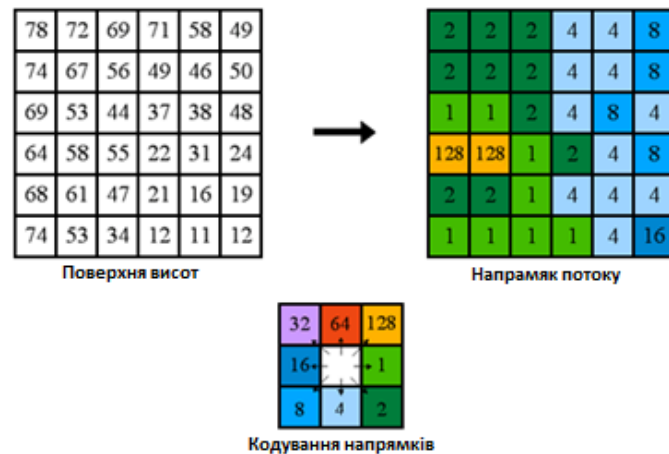


Рисунок 4.13 – Присвоєння коду напрямку стоку

Напрямок стоку визначається напрямком найбільш крутого спуску, або максимального зниження, з кожної комірки.

Відстань обчислюється між центрами комірок. Отже, якщо розмір комірки прийняти за одиницю, відстань між двома ортогональними комірками дорівнюватиме 1, а відстань між діагональними комірками - $1,414$ (квадратний корінь з 2). Якщо максимальне зниження висоти до найближчих комірок однакові в декількох напрямках, область сусідства розширюється до тих пір, поки не буде знайдений найкрутіший спуск.

Якщо знайдено напрямок найкрутішого зниження, вихідній комірці дається значення, що представляє цей напрямок.

Якщо всі сусідні комірки вище, ніж оброблювана комірка, така комірка буде розглядатися як помилка в даних, вона повинна бути заповнена до мінімального значення висоти сусідніх комірок. Стік буде здійснюватися в цю комірку. Однак в тому випадку, якщо локальне зниження розміром в одну клітинку розташоване на фізичному краю растра, або в її околицях є хоча б одна комірка зі значенням NoData (немає даних), заповнення не відбувається через недостатню інформації по сусідніх комірках. Щоб комірка могла розглядатися як істинне локальне зниження розміром в одну клітинку, для неї повинна бути інформація по всіх сусідніх комірках.

Якщо стік з двох комірок здійснюється один в одного, вони є локальними зниженнями з невизначеним напрямком стоку. Такий метод визначення напрямку стоку по цифровій моделі рельєфу[30].

За допомогою інструменту Flow Direction, визначаємо напрямок стоку по всьому Карпатському регіону (рис. 4.14).

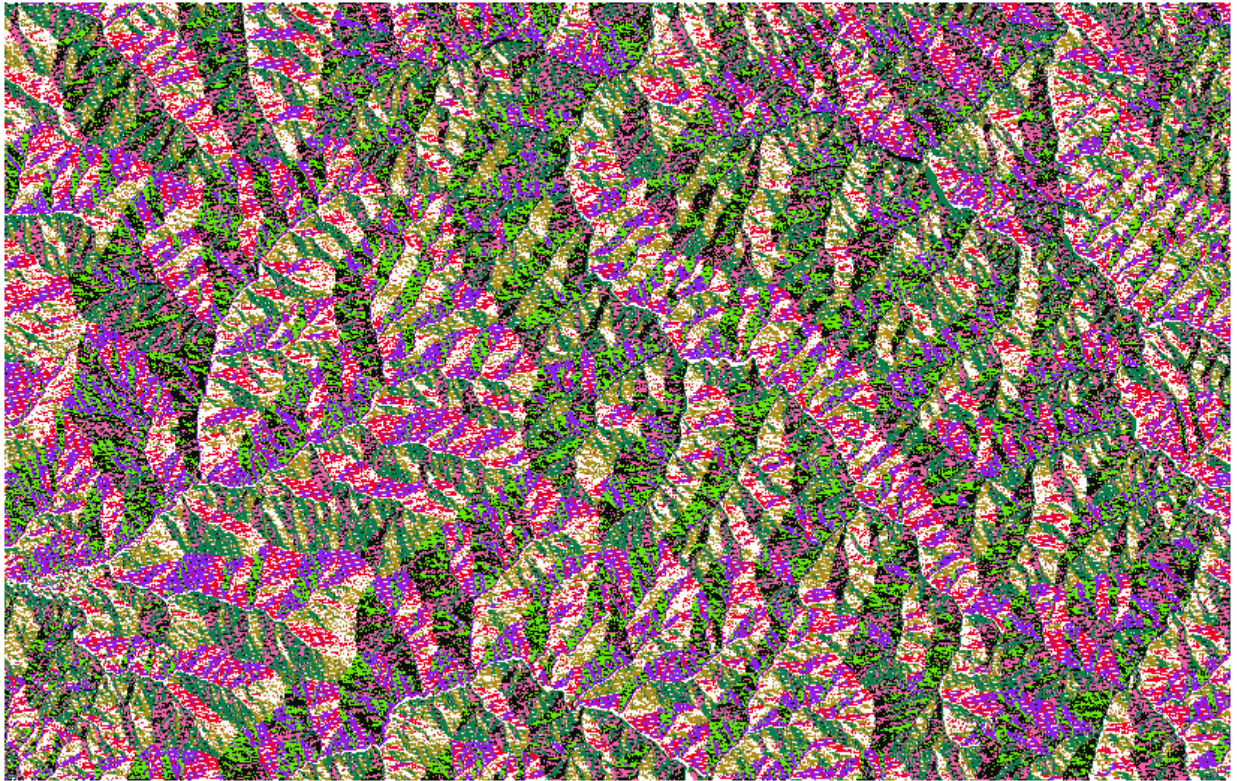


Рисунок 4.14- Визначення напрямку стоку на фрагменті Карпатського регіону

На третьому етапі обчислюється Сумарний стік. Інструмент Flow Accumulation обчислює сумарний стік як зважену суму всіх комірок, стік з яких потрапляє в кожну клітинку вниз по схилу вихідного растру. Якщо не надано вагу растру, кожній комірці призначається вага 1, а значенням комірок вихідного растру – кількість комірок, що впадають в кожну клітинку.

Комірки з невизначеним напрямком стоку будуть тільки накопичувати потік, вони не будуть робити внесок в стік в напрямку вниз по схилу. Вважається, що комірка має невизначений напрямок стоку в тому випадку, якщо її значення в растрі напрямку стоку не дорівнює 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 або 128 (рис. 4.15).

Сумарний стік ґрунтується на кількості комірок, з яких здійснюється стік в кожну конкретну комірку в вихідному растрі. Та комірка, яка обробляється в поточний момент часу, не враховується в сумі.

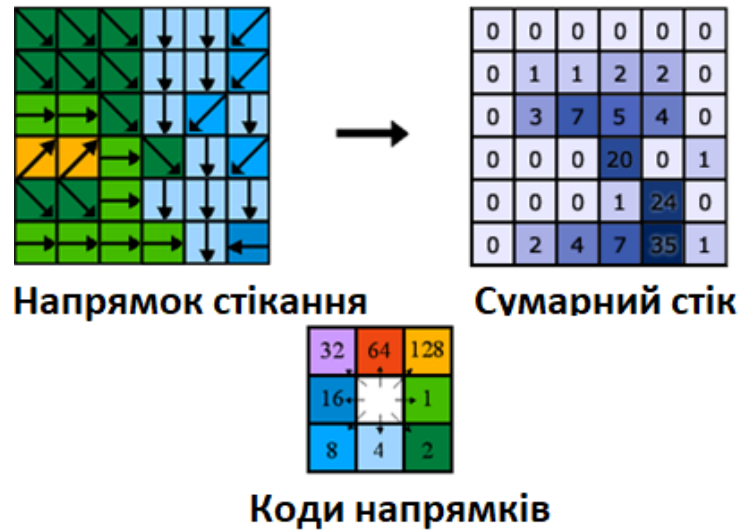


Рисунок 4.15 – Визначення сумарного стоку, зображення напрямку переміщення з кожної комірки, і кількість осередків, що впадають в кожну клітинку

Осередки з високим сумарним стоком – це ділянки концентрованого стоку, вони можуть бути використані для визначення русл водотоків. Комірки з сумарним стоком, рівним нулю, – це локальні топографічні піки, вони можуть бути використані для виділення хребтів або ліній вододілу (рис 4.16).

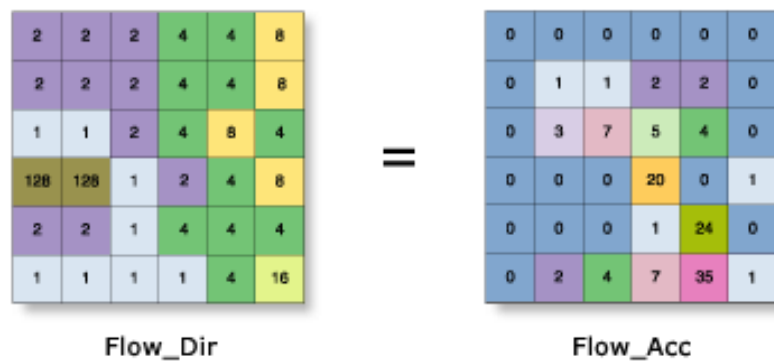


Рисунок 4.16 – Перетворення з Напрямок стоку в Сумарний стік

Сумарний стік в найпростішій формі – це кількість комірок вгору по ухилу, з яких здійснюється стік в кожну клітинку.

За допомогою інструменту Flow Accumulation обчислюємо сумарний стік по всьому Карпатському регіону (рис. 4.17)

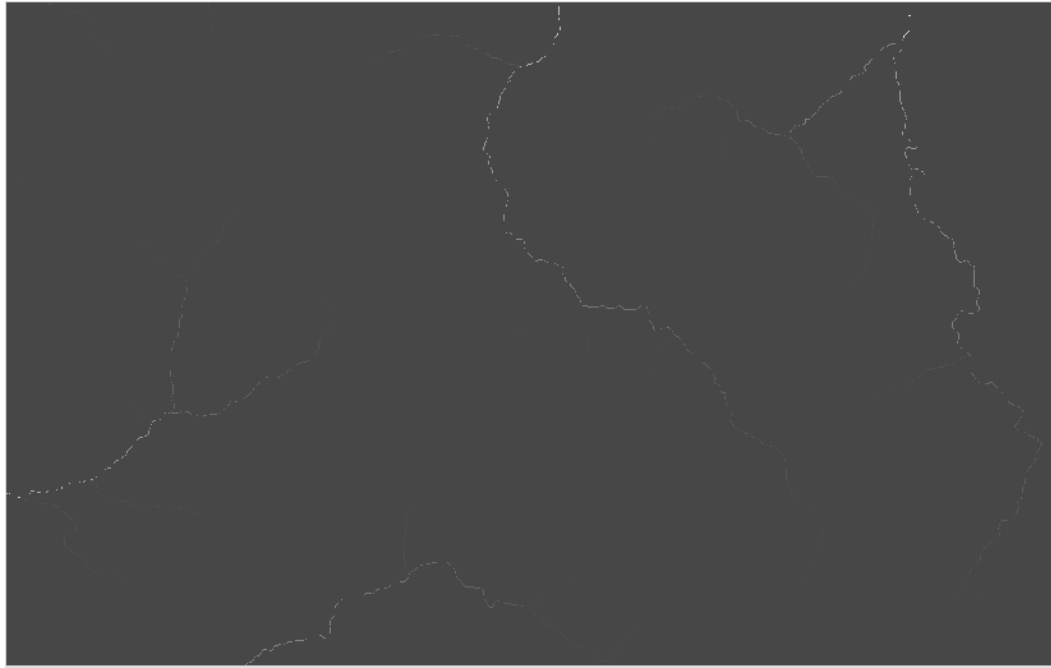


Рисунок 4.17 – Виділений сумарний стік на фрагменті Карпатського регіону

Четвертий етап – застосування порогового значення до результатів Сумарного стоку за допомогою інструменту Умова (Con), або за допомогою інструменту Raster Calculator (" $\text{FlowAccumulation} \geq 500$ "), виділяємо мережу водотоків по всьому Карпатському регіону (рис. 4.18).

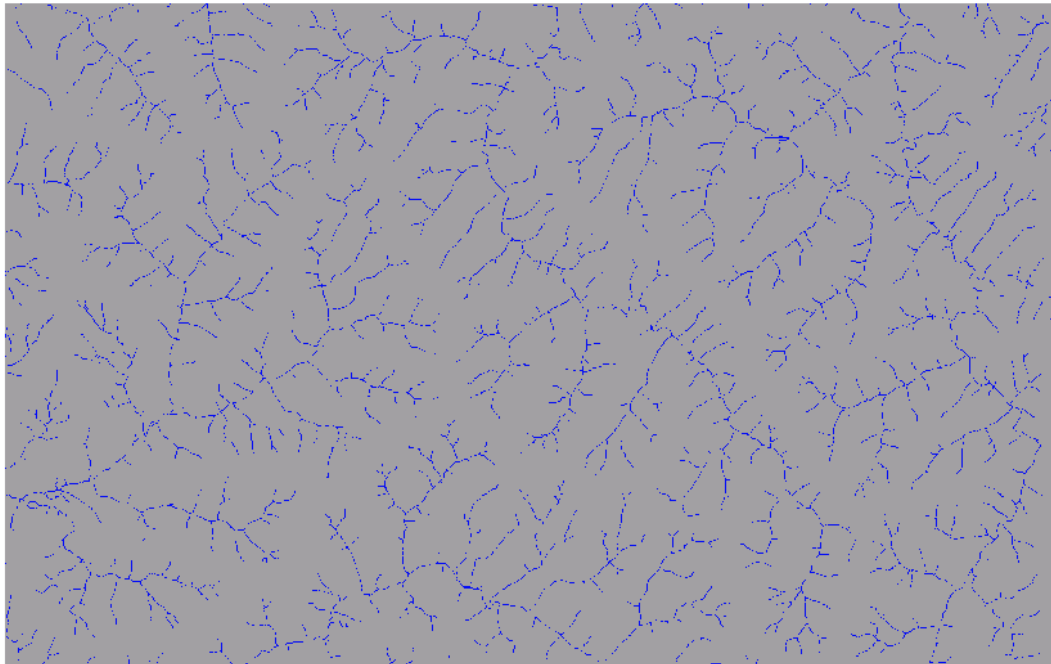


Рисунок 4.18 – Застосування порогового значення до результатів Сумарного стоку на фрагменті Карпатського регіону

П'ятий етап – визначення порядку водотоків. Порядок водотоків – це метод присвоєння порядкового номера зв'язків в мережі водотоків. Порядок водотоків визначає і класифікує водотоки на основі кількості їх приток. Деякі характеристики водотоків можна вивести, просто знаючи їх порядок.

Інструмент StreamLink дозволяє привласнювати унікальні значення кожному зв'язку в лінійній мережі растрів. Використовується два методи присвоєння порядкового номера. Це методи були запропоновані Страхлером (1957) і Шреве (1966) (рис. 4.19).

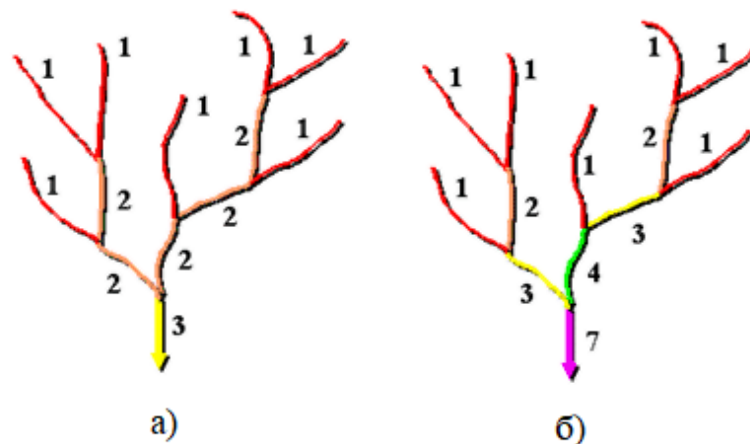


Рисунок 4.19 – Методи присвоєння порядкового номера: а) метод порядку водотоків Страхлера; б) Метод порядку водотоків Шреве

У цих двох методах сегментам водотоків вгору за течією, або зовнішніх зв'язків, завжди присвоюється порядок 1.

При визначенні порядку за методом Страхлера, всім сегментам водотоку, що не мають приток, присвоюється одиниця, і вони розглядаються як водотоки першого порядку. Порядок водотоків зростає, якщо водотоки з однаковим порядком перетинаються. Отже, після злиття сегментів першого і другого порядку, результуючий водотік буде як і раніше водотоком другого порядку, а не третього порядку. Перетин двох зв'язків різних порядків не приведе до зростання порядку.

Метод Шреве відповідає за всі зв'язки в мережі. Як і в методі Страхлера, всім зовнішнім зв'язкам присвоюється порядок 1. Однак, для всіх внутрішніх зв'язків в методі Шреве порядки є адитивними. Порядки є адитивними, числа з методу Шреве іноді називаються величинами, а не

порядками. Величина зв'язку методу Шреве – це кількість зв'язків вгору за течією.

За методом Шреве, за допомогою інструменту Stream Link визначаємо порядок водотоків по всьому Карпатському регіону (рис. 4.20)

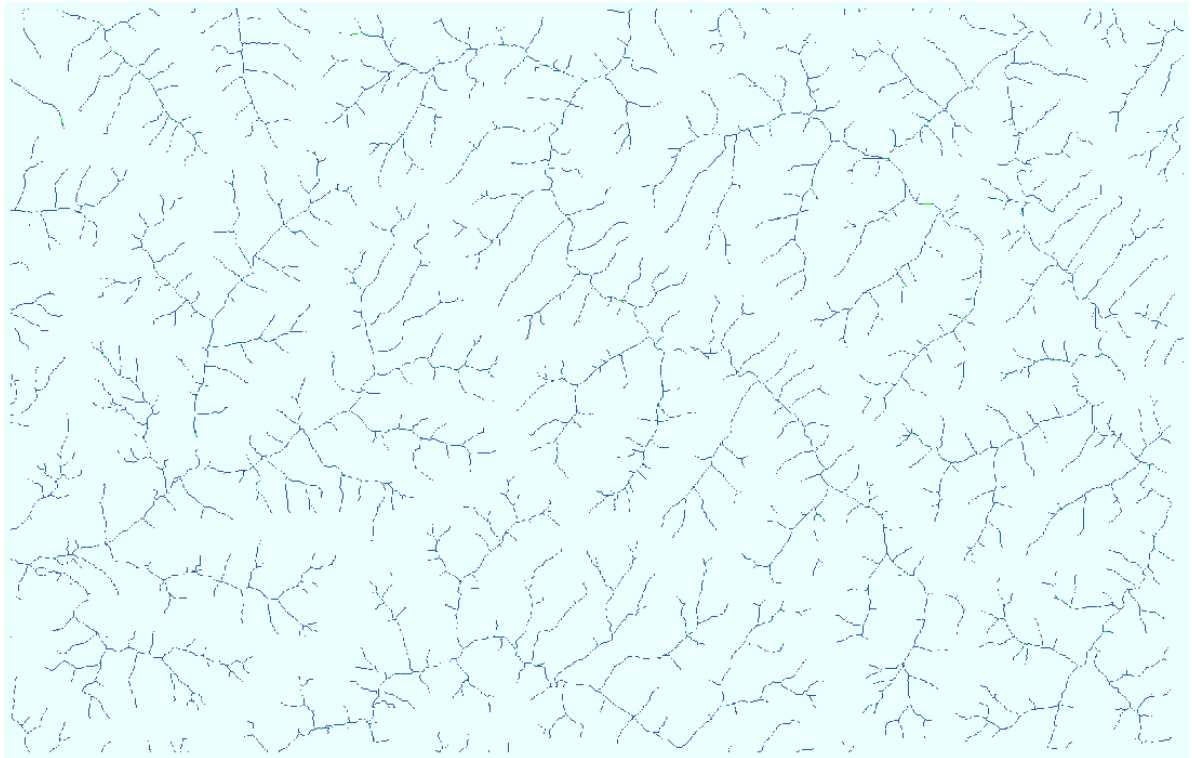


Рисунок 4.20 – Певний порядок водотоків на фрагменті Карпатського регіону

Шостий етап – перетворення водотоків в просторовий об'єкт.

Алгоритм, який використовується інструментом Stream to Feature – це програма векторизації, розроблена спеціально для векторизації мереж водотоків або будь-яких інших лінійних растрових мереж, для яких відома спрямованість потоку.

Інструмент оптимізований таким чином, щоб можна було використовувати растр напрямку для допомоги в векторизації пересічних і прилеглих комірок. Можна виконати векторизацію двох сусідніх лінійних об'єктів, що мають однакове значення, у вигляді двох паралельних ліній[32].

Відбувається перетворення растра, що представляє лінійну мережу в векторні об'єкти, що представляють мережу ліній. Вхідна растрова лінійна мережа водотоків повинна бути представлена у вигляді значень, більше або рівних одиниці, на тлі значень NoData (рис. 4.21).

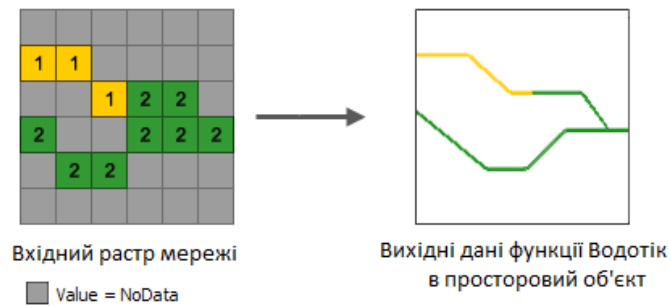


Рисунок 4.21 - Перетворення водотоків в просторовий об'єкт

По всьому Карпатському регіону виробляємо перетворення водотоків в просторовий об'єкт, за допомогою інструменту Stream to Feature (рис. 4.22).

Провели класифікацію водотоків за кольорами і товщині, для чіткого відображення русел (рис. 4.23). Наклали виділені водотоки безпосередньо на цифрову модель висот Aster Global (рис. 4.24).

Для аналізу достовірності отриманих результатів, накладаємо виділені водотоки безпосередньо на супутникове зображення, з інформації якого видно, що результати виділення відображають реальні водостоки з гір (рис. 4.25). Водотоки, таким способом були виділені по всьому Карпатському регіону (рис. 4.26, рис. 4.27).

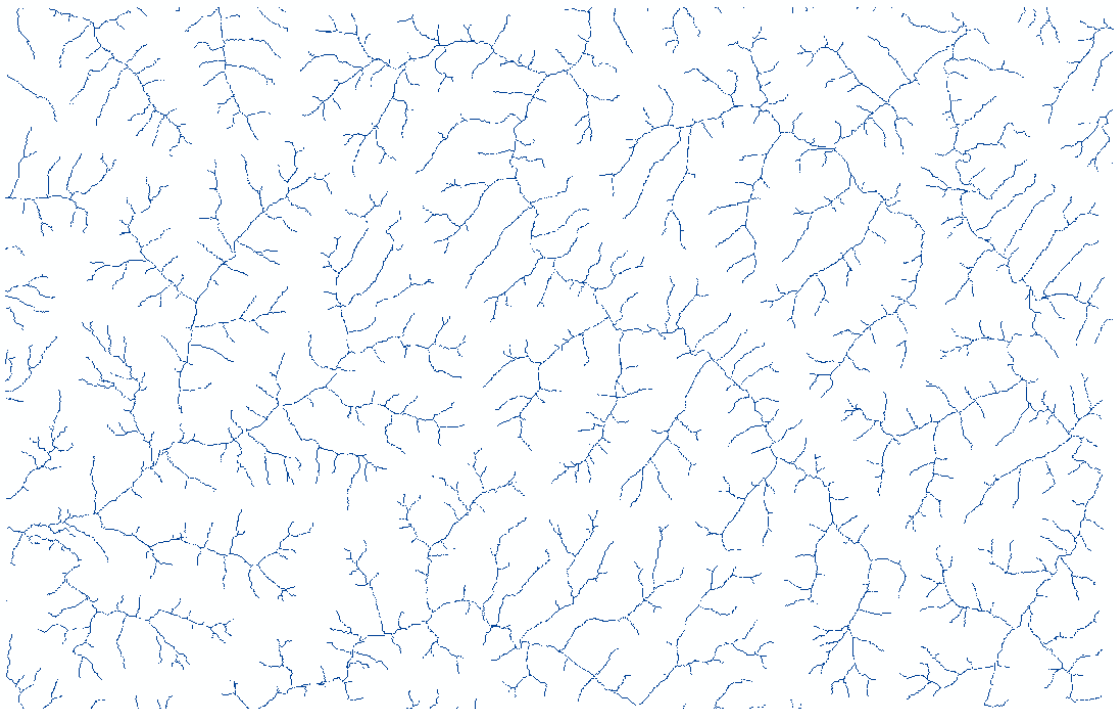


Рисунок 4.22 – Перетворений водотік в просторовий об'єкт на фрагменті Карпатського регіону

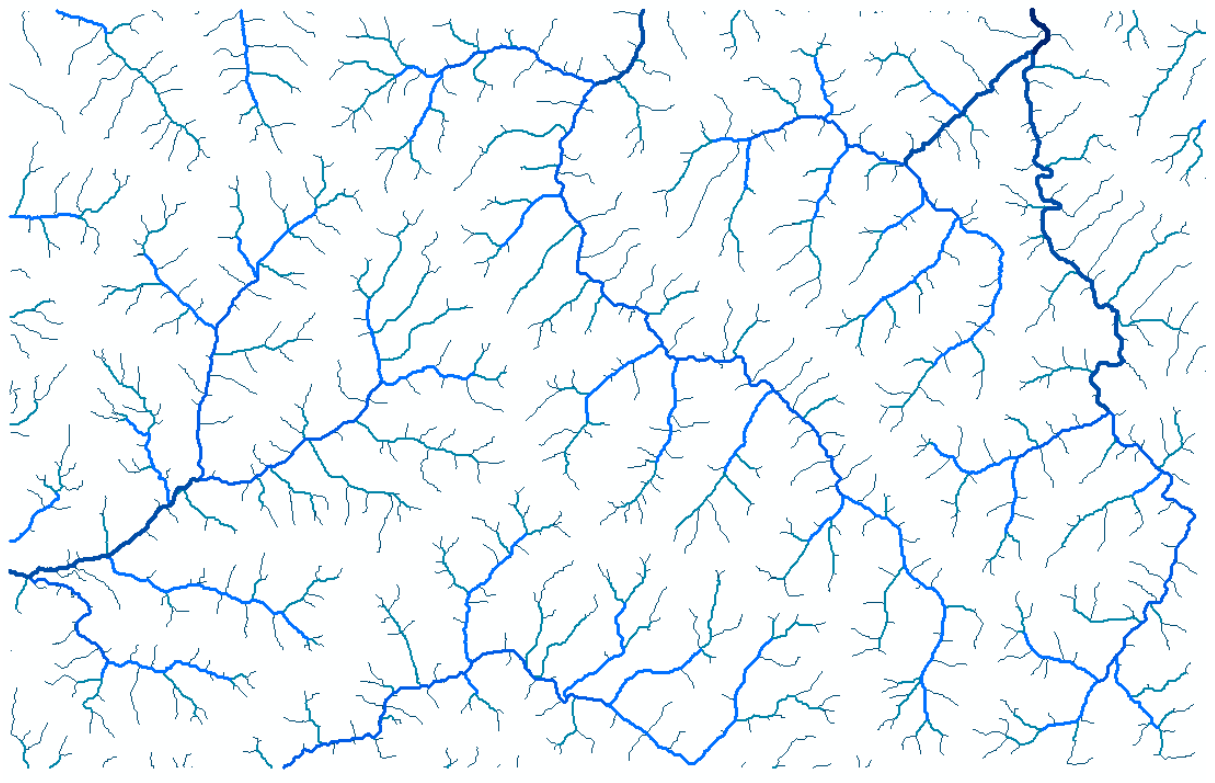


Рисунок 4.23 – Виділені водотоки

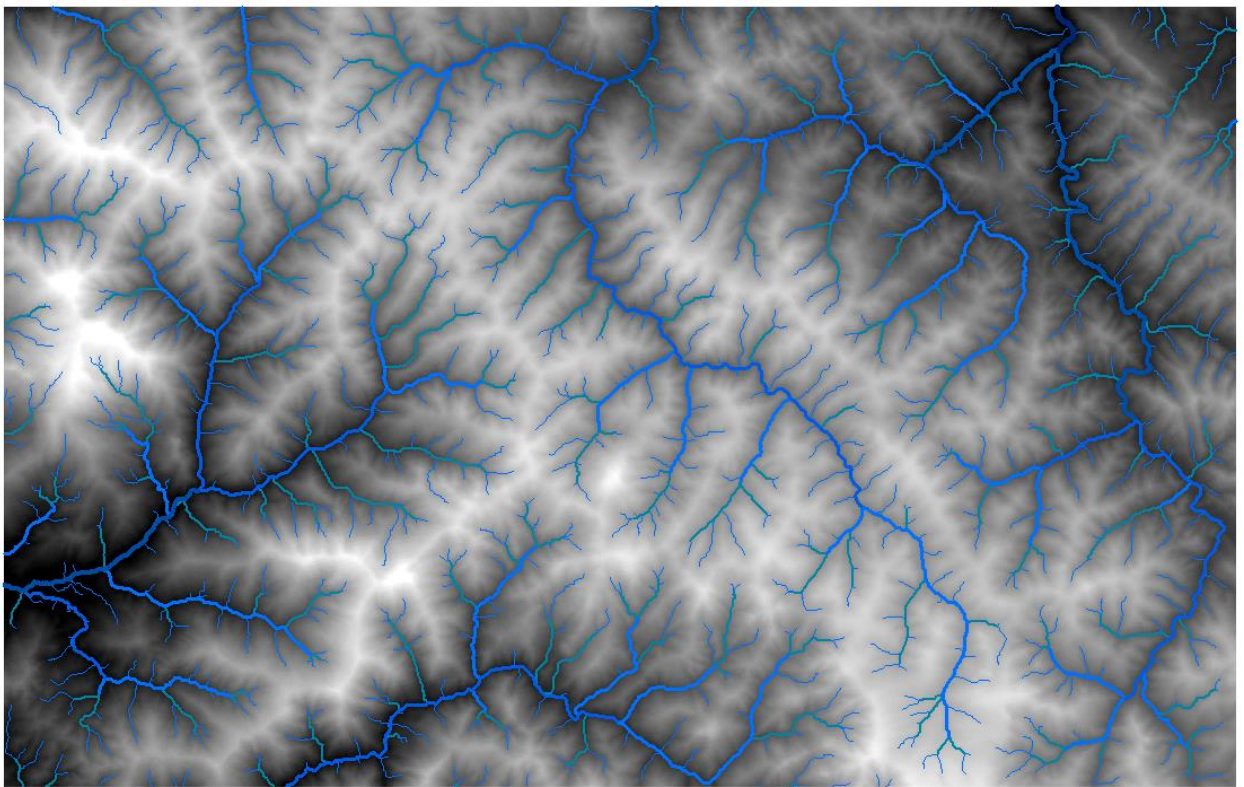


Рисунок 4.24 – Накладені водотоки на цифрову модель висот AsterGlobal



Рисунок 4.25 – Накладені водотоки на супутникове зображення

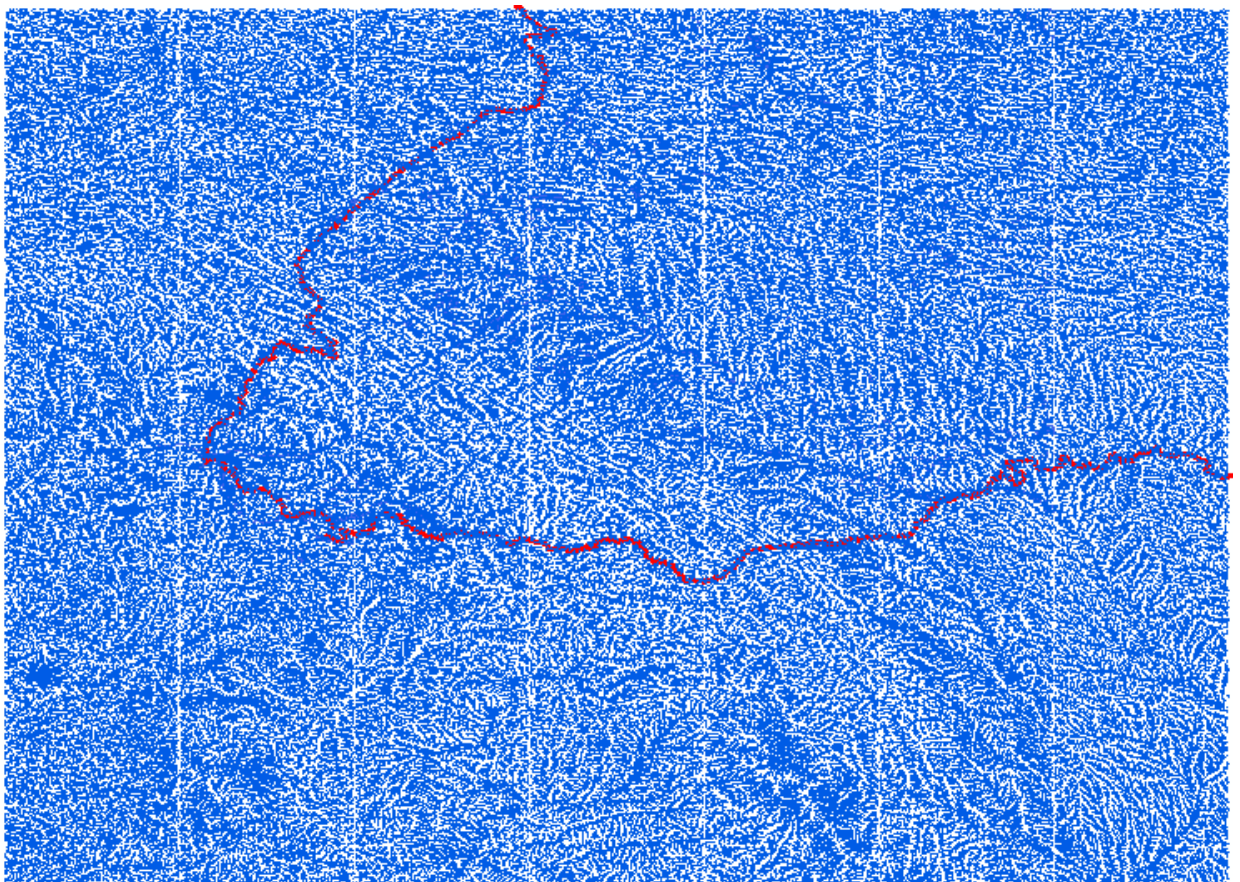


Рисунок 4.26 – Виділені водотоки на всьому Карпатському регіоні

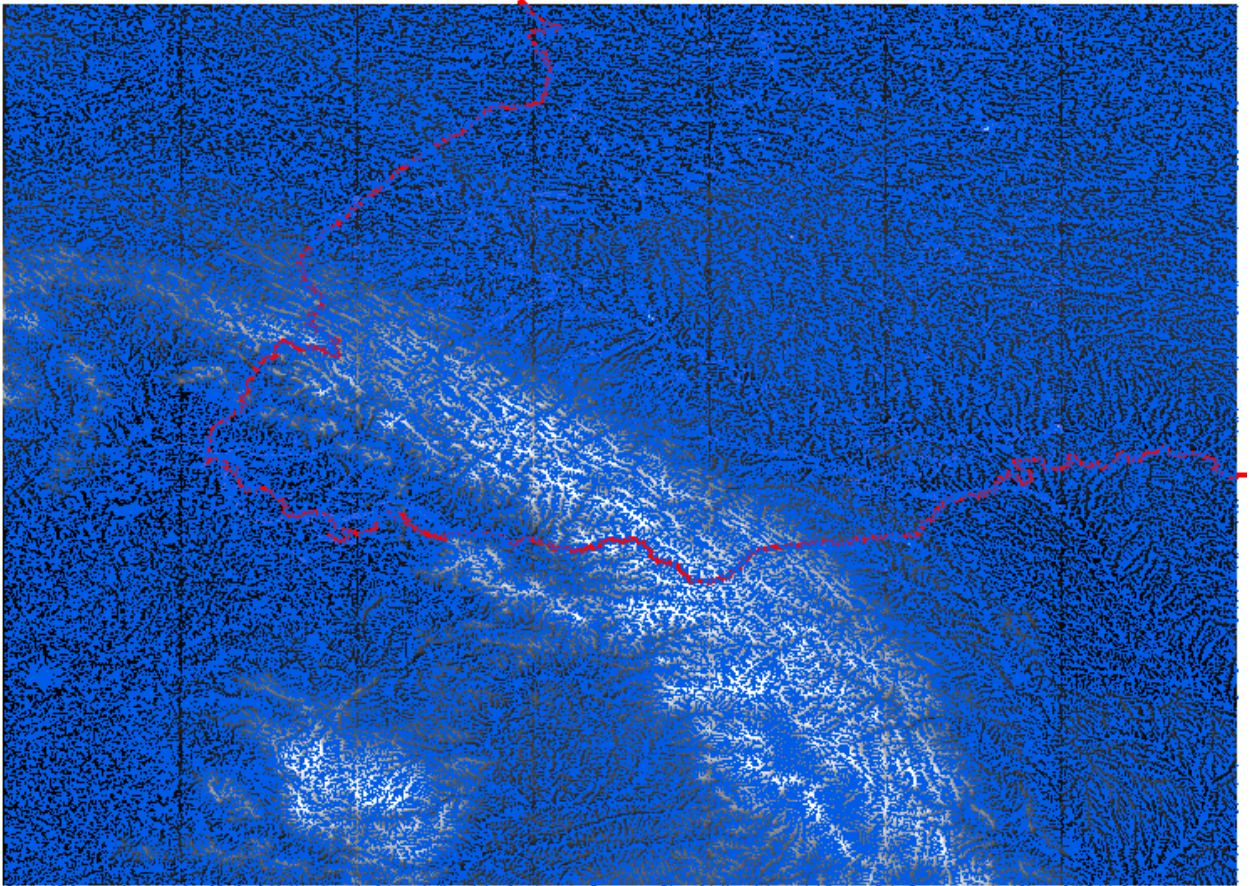


Рисунок 4.27 – Накладені водотоки на цифрову модель рельєфу Карпатського регіону

4.2.3 Створення контуру поверхні Карпатського регіону

Контур використовуємо для відображення поверхні Карпатського регіону. Контур – лінія, що проходить через всі суміжні точки, що мають однакове значення висоти (або інших параметрів).

Контур лінія на карті з'єднує точки рівної висоти. Близько розташовані один до іншого контури вказують на крутизну схилів, якщо ж контурів мало або вони взагалі відсутні, значить, відповідна ділянка слабо горбиста або взагалі плоска[31].

В програмі ArcMap створюємо контур для растрових наборів даних за допомогою інструменту "Contour, з цифрової моделі рельєфу Aster Global, інтервал ізоліній задаємо 50 (рис. 4.28, рис. 4.29, рис. 4.30).

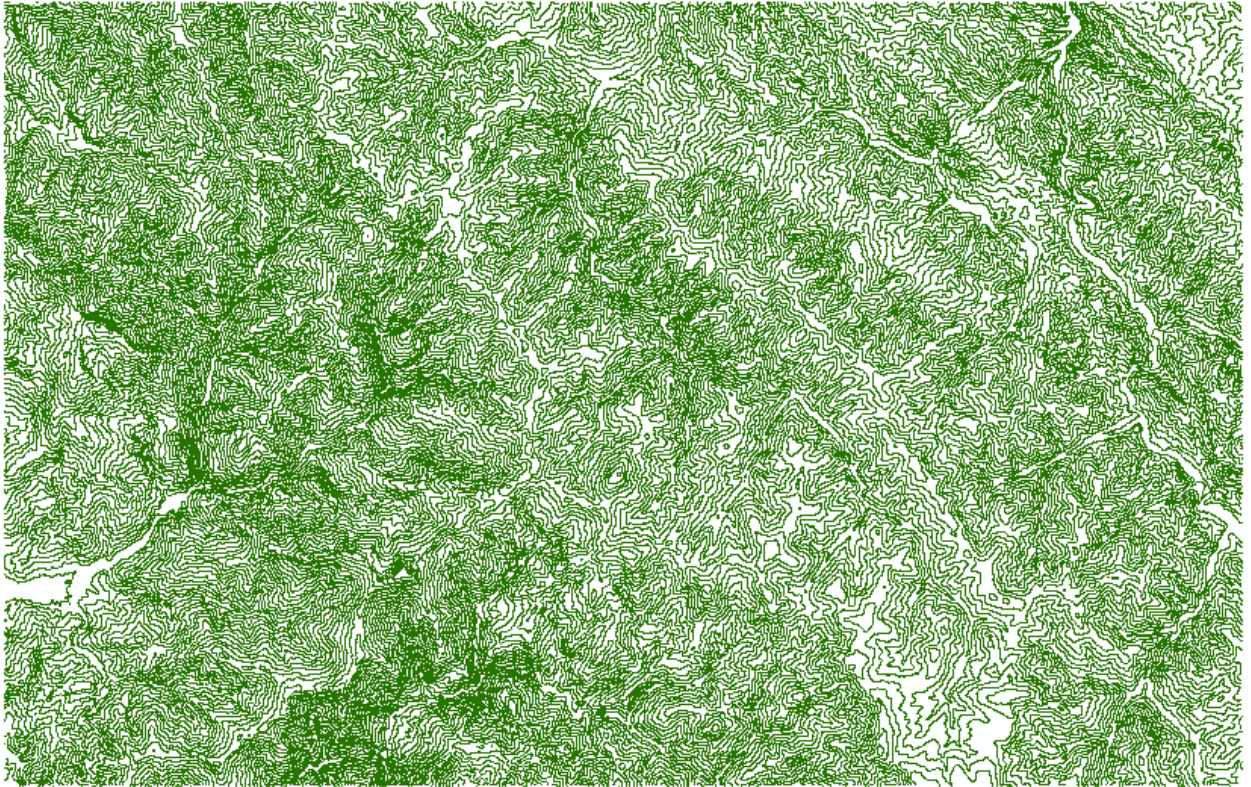


Рисунок 4.28 – Контур фрагмента Карпатського регіону

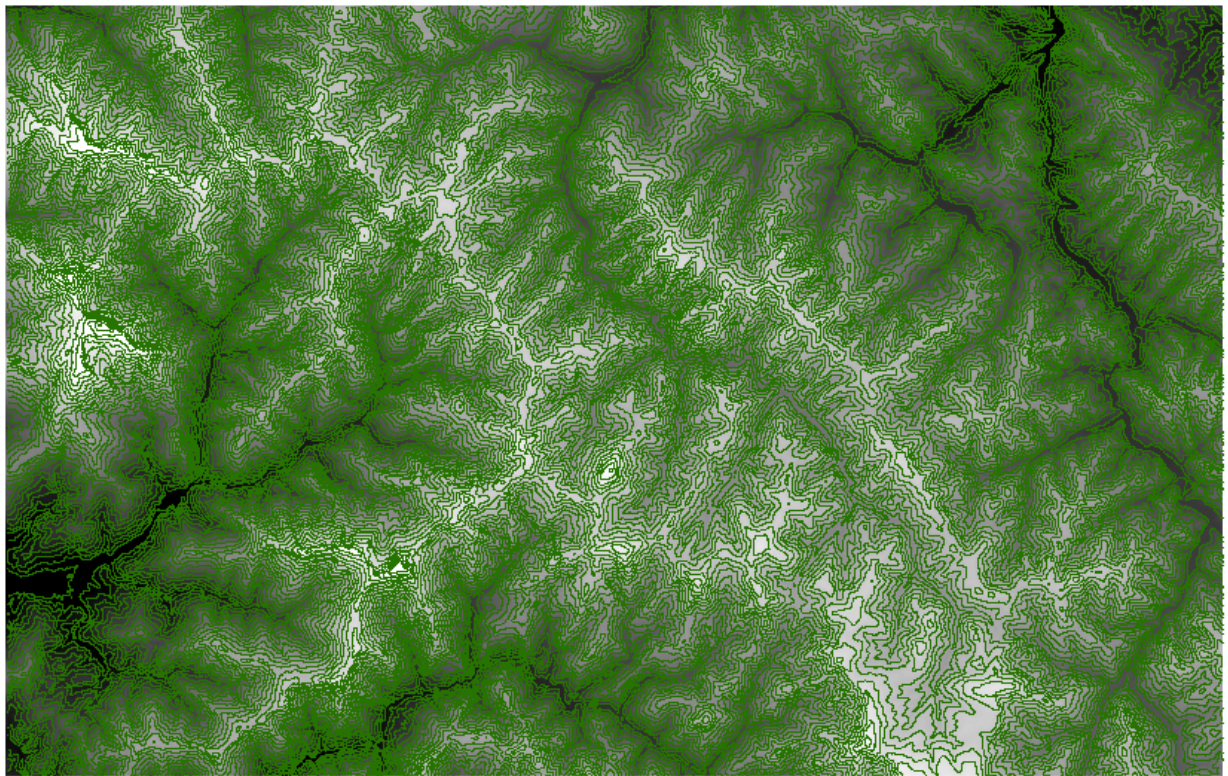


Рисунок 4.29 – Накладений контур на цифрову модель рельєфу

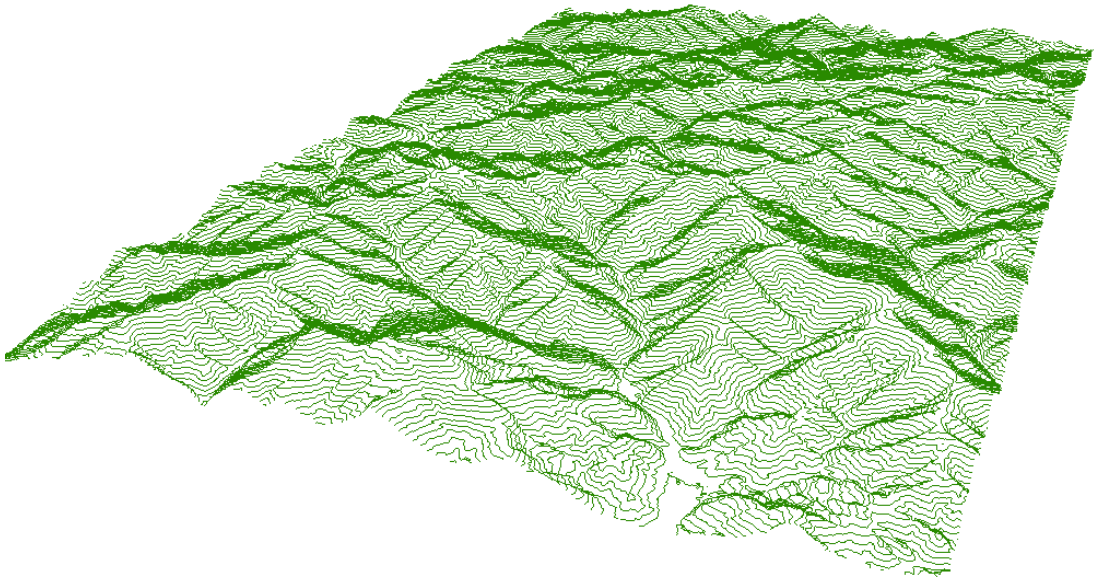


Рисунок 4.30 – 3D-модель контуру

Також створюємо TIN поверхню. Нерегулярні тріангуляційні мережі (Triangular Irregular Networks – TIN) є способом цифрового відображення структури поверхні. TIN є формою векторних цифрових географічних даних, які будуються методом тріангуляції набору вершин (точок). Вершини з'єднуються серією ребер і формують мережу трикутників[31]. Створюємо TIN поверхню по виділеному контуру за допомогою інструменту "Create TIN" (рис. 4.31, рис. 4.32).



Рисунок 4.31 – TIN поверхня по виділеному контуру

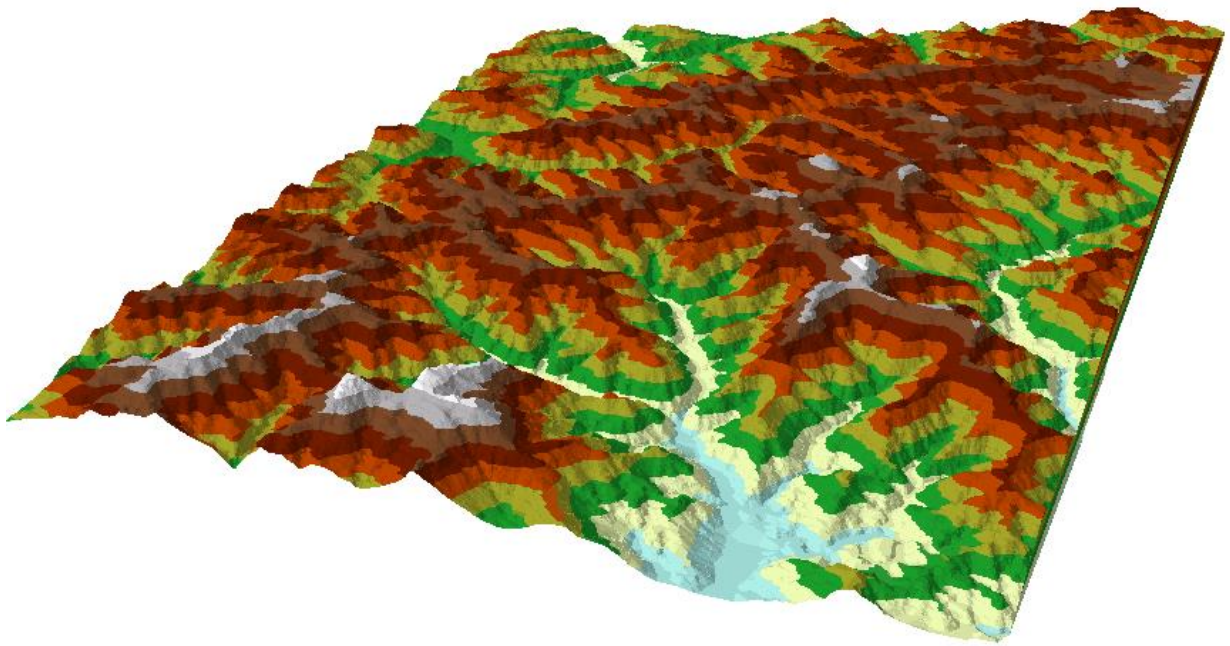


Рисунок 4.32 – TIN по контуру в 3D

Для експерименту, також створюємо TIN поверхню по цифровій моделі рельєфу, за допомогою інструменту "Raster to TIN" (рис. 4.33, рис. 4.34).

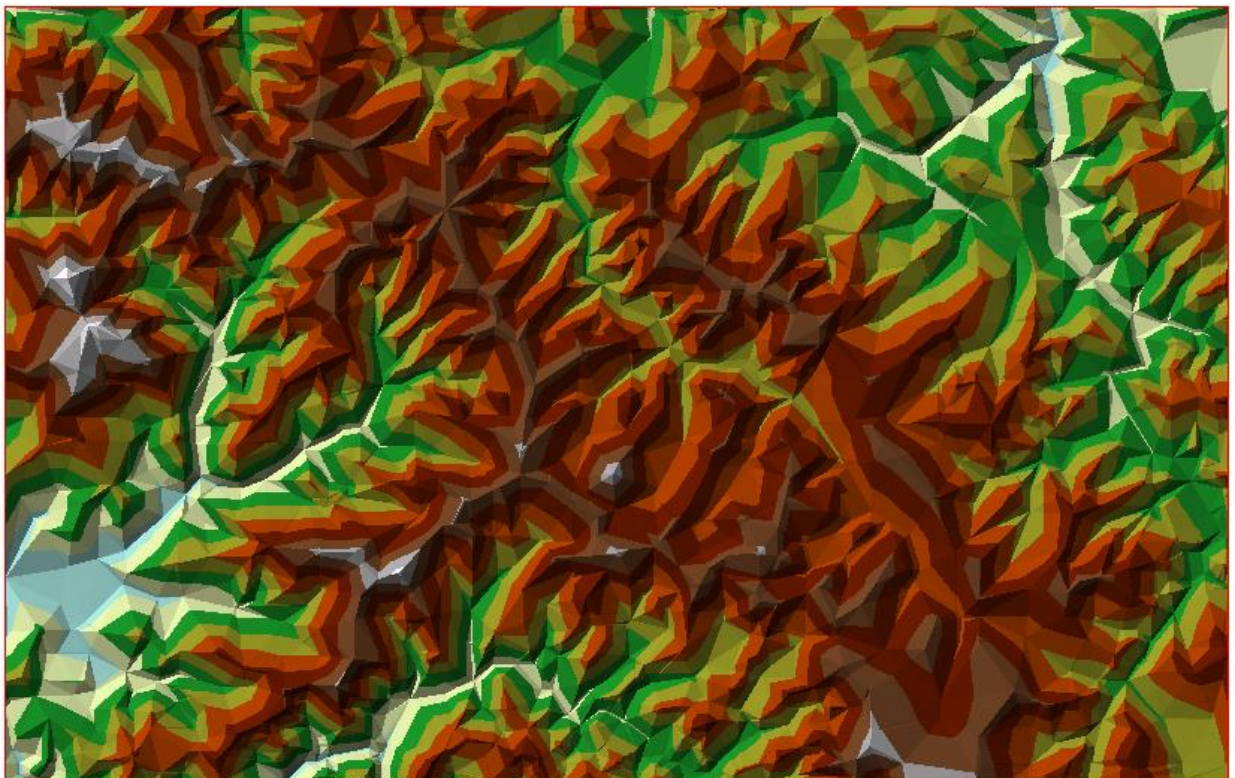


Рисунок 4.33 – TIN з цифрової моделі рельєфу

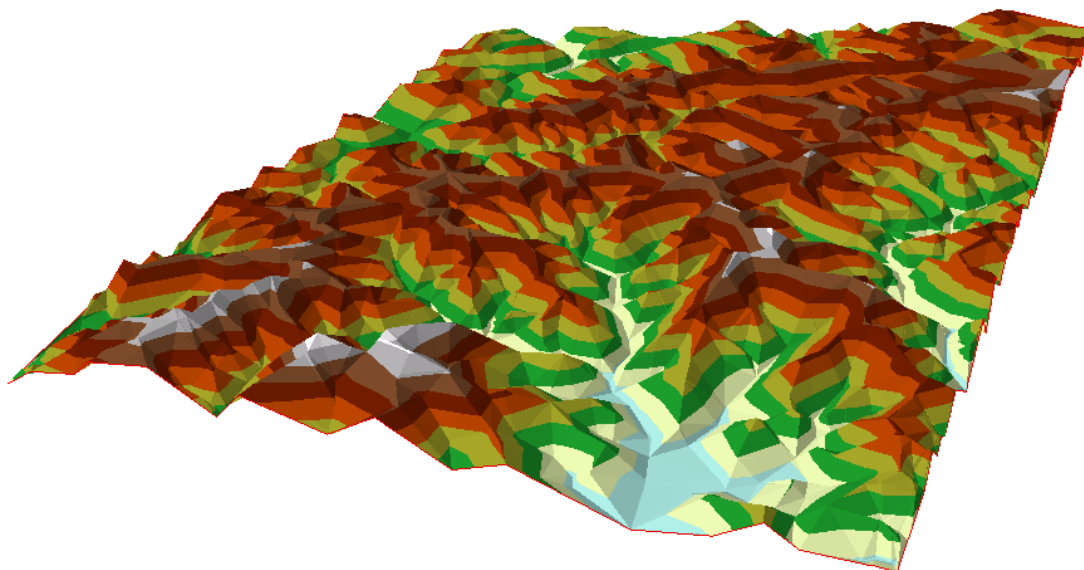


Рисунок 4.34 – TIN з цифрової моделі рельєфу в 3D-моделі

4.2.5 Виділення висот

Програма ArcMap дозволяє виділити висоти в конкретній області за допомогою інструменту Зональна статистика (Zonal Statistics). Статистика обчислюється для кожної зони, визначеної набором даних зони на основі значень з іншого набору даних (растр значень). Для кожної зони вхідного набору даних зони обчислюється одне вихідне значення[32].

Виділяємо висоти Українських Карпат з цифрової моделі рельєфу Aster Global, так як МРЛ повинні знаходитись на території України, та відображаємо їх висоти (рис. 4.35, рис. 4.36).

На основі виділених вершин відображаємо радіус дії МРЛ, встановлений на декілька висот. Відображаємо область дії МРЛ з дальністю виявлення(радіусом) 100 кілометрів та умовою перекриття локаторів один одного. Один МРЛ поставлений на вершину з висотою 2057 метрів, другий на вершину висотою 1487 метрів, третій на вершину з висотою 1724 метри (рис. 4.37). Трьома локаторами ми створили радіолокаційне поле, але таке поле є нераціональне, в ньому не враховано, що Земля має круглу форму, а не плоску, та по лінії горизонту висота кінця променя локатора віддаляється від поверхні землі на 600 метрів при дальності виявлення МРЛ 100 кілометрів. Такий метод розстановки не ефективний, частину метеоцілей при локації не буде виявлено, хоч і при такій розстановці на максимальних висотах вершин не буде зони закриття.

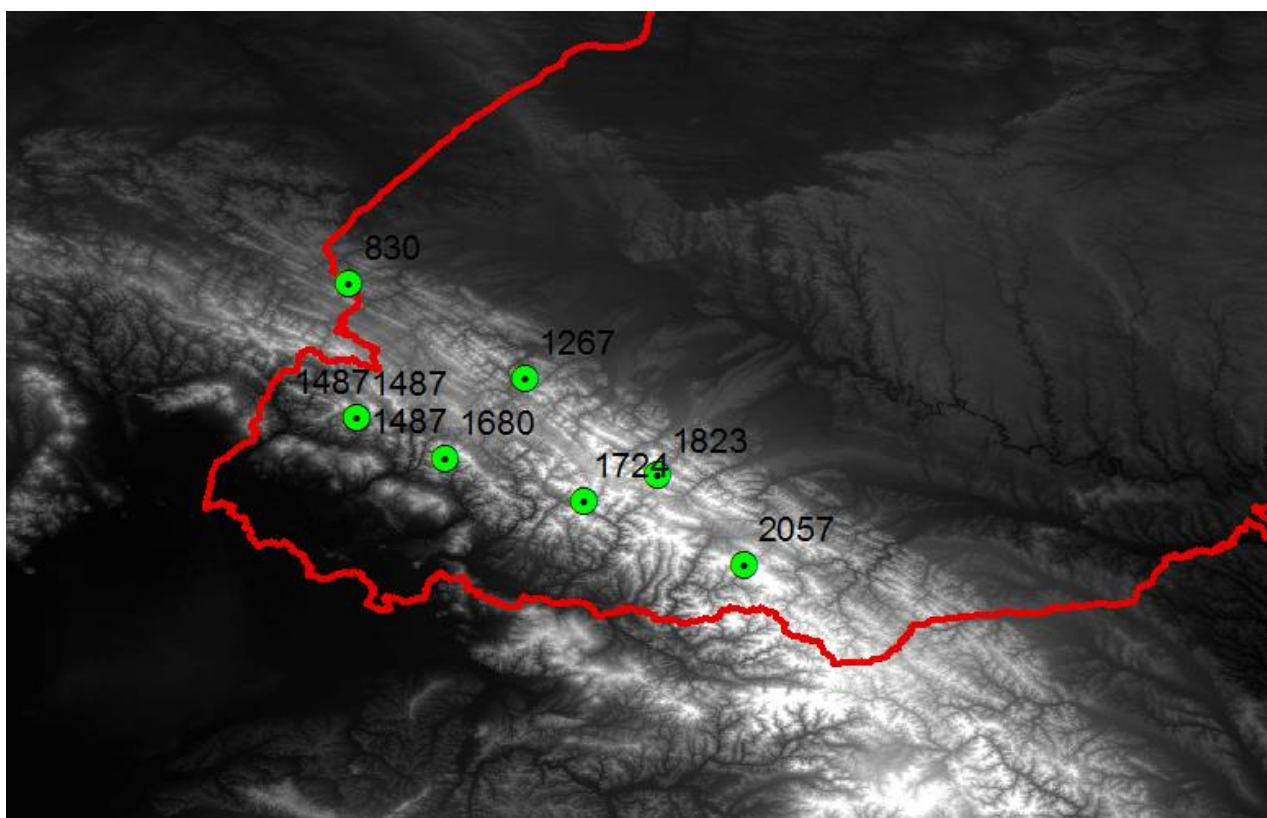


Рисунок 4.35 – Виділені висоти в Українських Карпатах

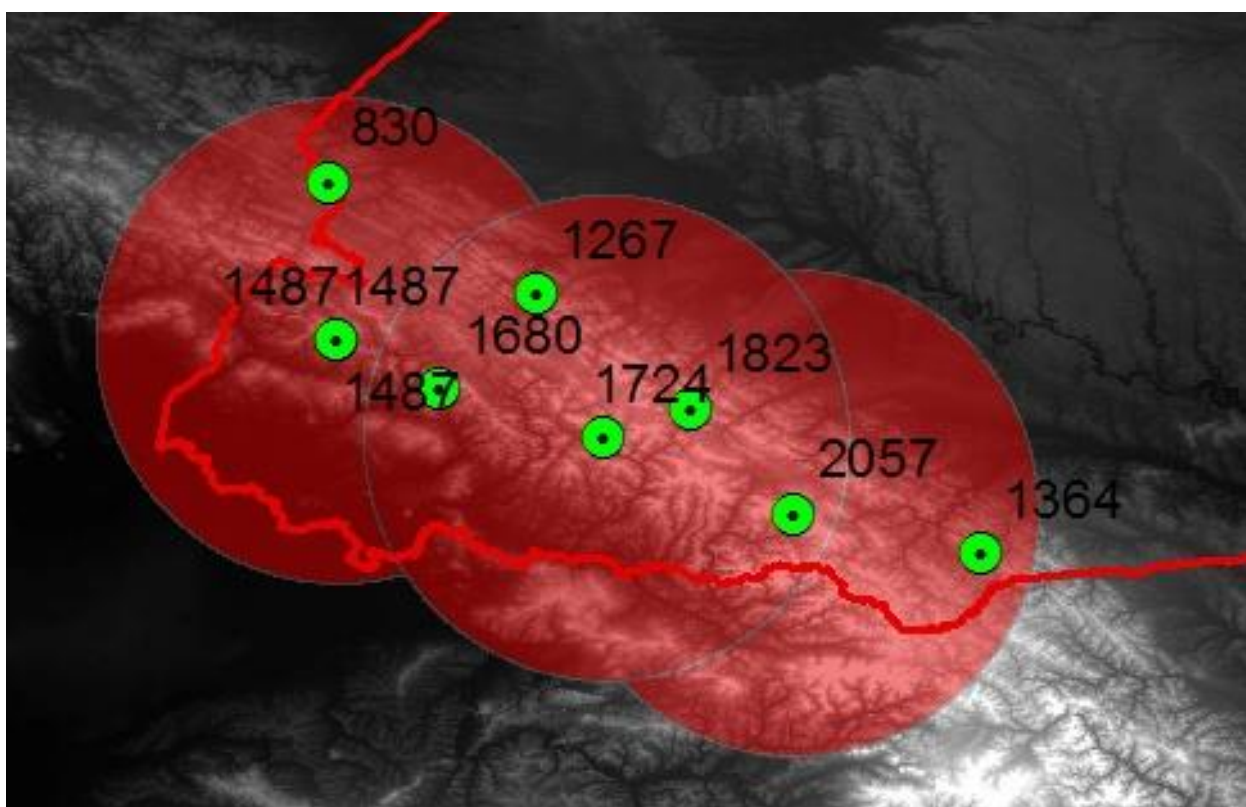


Рисунок 4.36 – Зона спостереження локаторів в Українських Карпатах

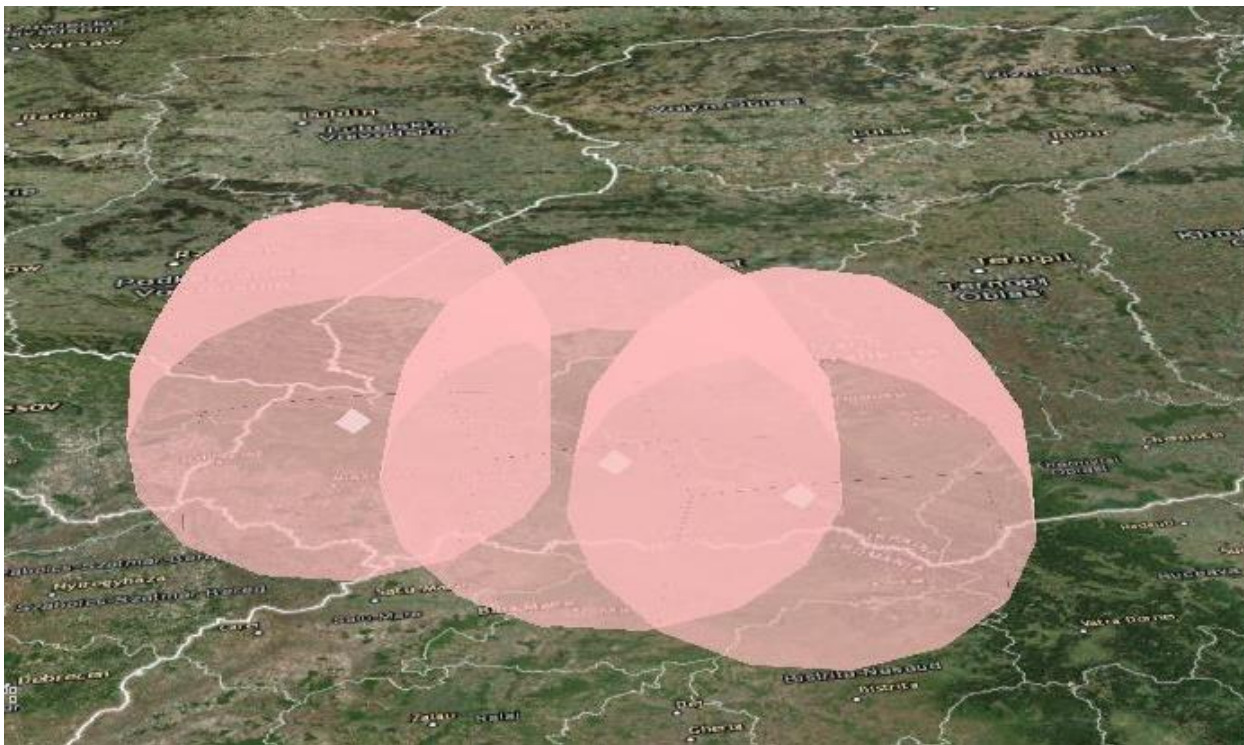


Рисунок 4.37 – Радіолокаційне поле в Українських Карпатах

4.2.6 Аналіз отриманих результатів

Базові функції ГІС не зовсім задовільняють отриманими результатами.

Створення 3D-модель регіону, та накладання на неї об'єктів, отриманих при дослідженні, дають змогу обрати позицію для розміщення, але все в ручному режимі та повторюваному аналізу при кожному переміщенні місця розстановки радіолокатора. В ГІС можна змодельовати розміщений локатор на позиції та візуально відобразити його роботу та кути закриття. Цей процес дуже довгий. Результат який потрібен був від ГІС – виділення ліній хребта по висоті та отримання точок максимальних висот на цьому хребті. Ці висотні точки на хребті були б місцями куди можна було б перемістити локатор, при виявленні якихось труднощів розміщення та великих витрат. Відносно цих висот на лінії хребтів, на горах, ми б мали змогу переміщати локатори для оптимальних розміщень.

На прикладі накладених водотоків і лініаментів виділених ГІС Geomatica 2018 в 3D модуляції ми не можемо чітко побачити лінії хребтів і як вони пролягають (рис. 4.38).

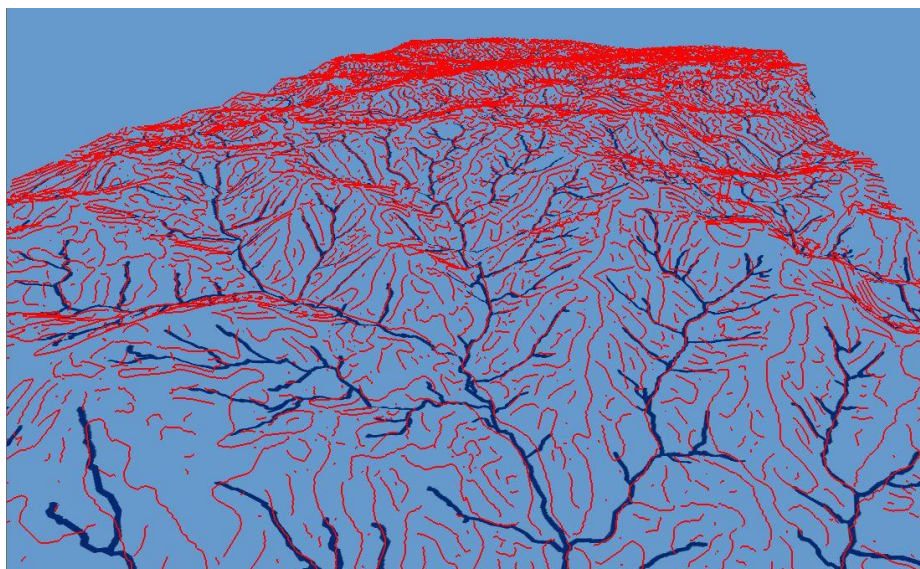


Рисунок 4.38 – Лінеаменти виділені в ГІС Geomatica накладені на водотоки

А при накладанні водотоків і лінеаментів на 3D-модель рельєфу - бачимо де пролягає хребти та ребра , також бачимо, що ГІС виділив нам багато зайвих об'єктів та виділив лінії долин, які збігаються з водотоками. Так, цей лінеамент дає змогу зрозуміти що це гора та трішки показати як пролягає хребет, що дає змогу зрозуміти де можна розмістити МРЛ, але тільки при накладанні на 3D-модель рельєфу (рис. 4.39, рис. 4.40, рис. 4.41). Такий лінеаментний аналіз не підходить для поставлених задач при створенні радіолокаційного поля, він не дає змоги відобразити оптимальні вершини на хребті.

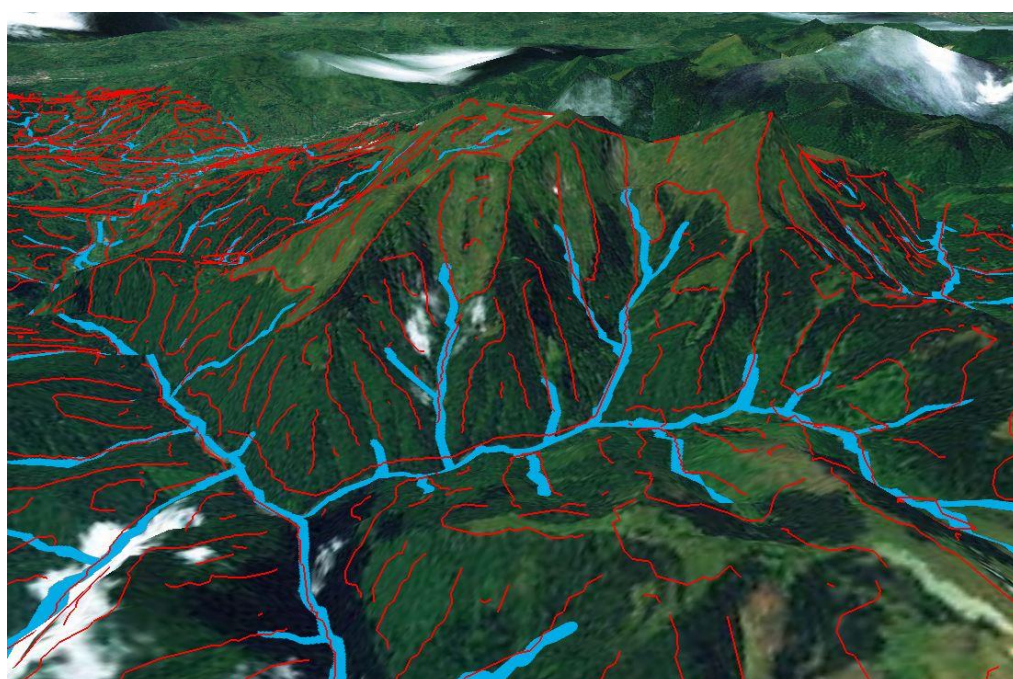


Рисунок 4.39 – Лінеamenti виділені ГІС Geomatica та водотоки

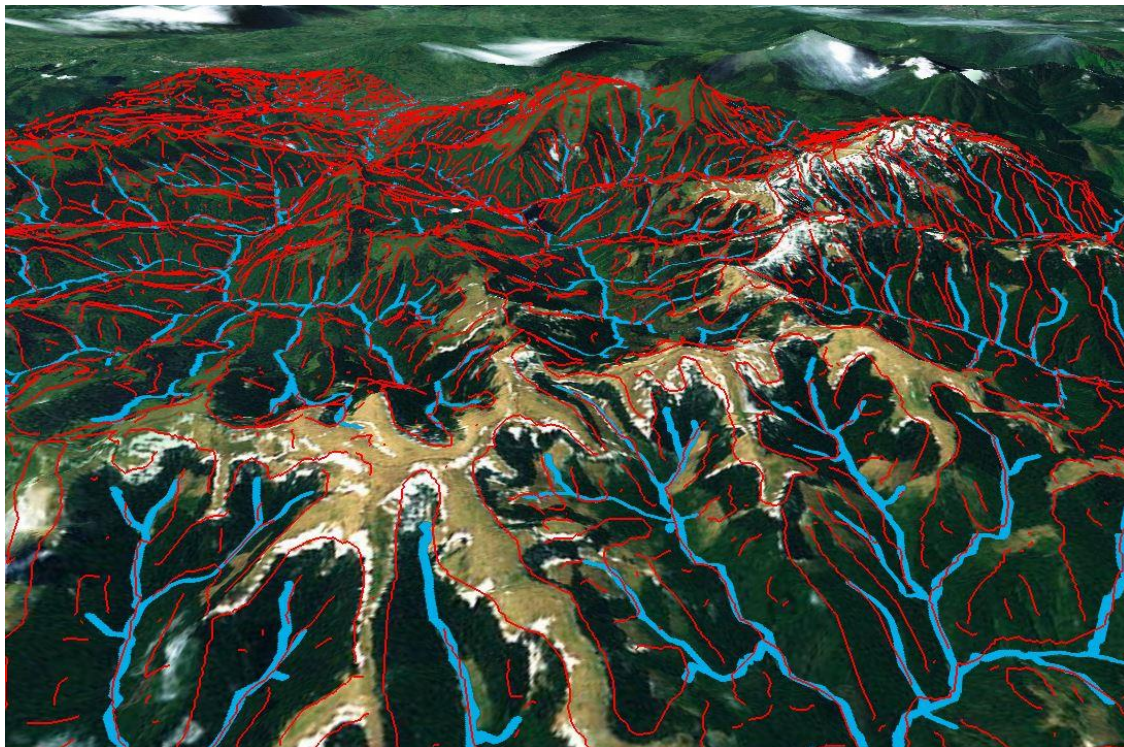


Рисунок 4.40 – Лінеamenti виділені ГІС Geomatica та водотоки накладені на 3D-модель рельєфу з іншого ракурсу

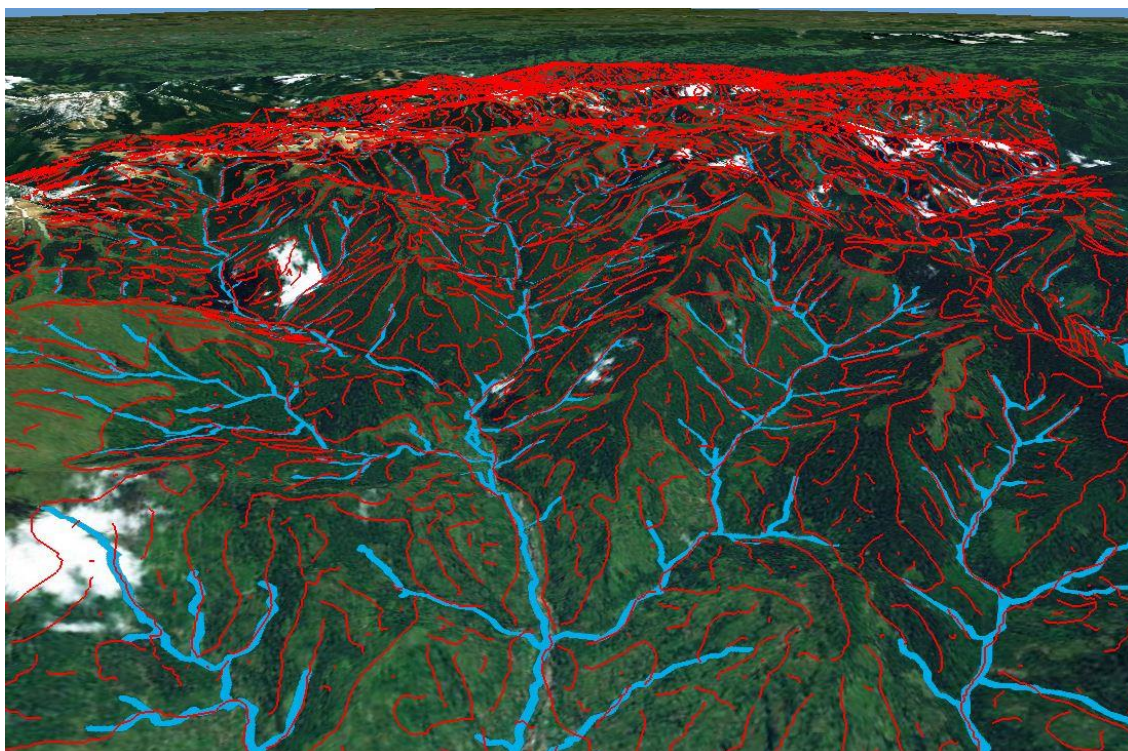


Рисунок 4.41– Лінеamenti виділені ГІС Geomatica та водотоки накладені на 3D-модель рельєфу з західної частини

Отримані результати при виділенні ліній хребтів та ребер в ГІС ArcGis, також не задовільняють для поставлених цілей. Так само потрібно накладати 3D-модель рельєфу і аналізувати кожну позицію вручну, аналогічно виділенню лінеamentів в ГІС Geomatica 2018, хоча в порівнянні по виділенню потрібних нам об'єктів (ребер і хребтів) ГІС ArcGis, більш точно відображає їх, без зайвих об'єктів в вигляді долин та річок (рис. 4.42, рис. 4.43, рис. 4.44).

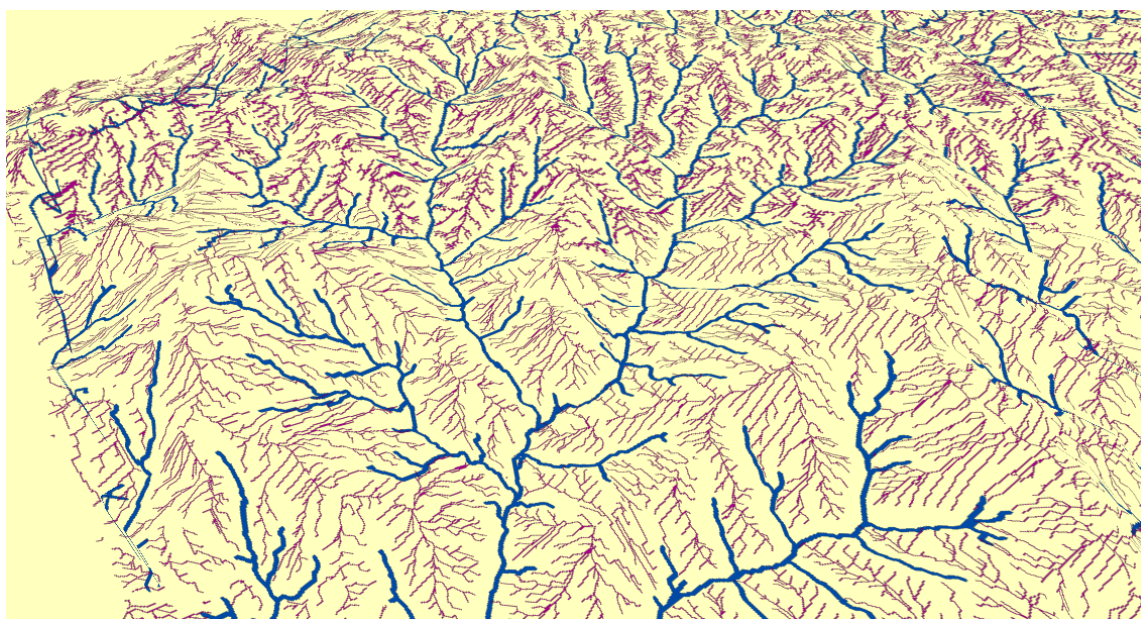


Рисунок 4.42 – Лінеamenti виділені в ГІС ArcGis накладені на водотоки

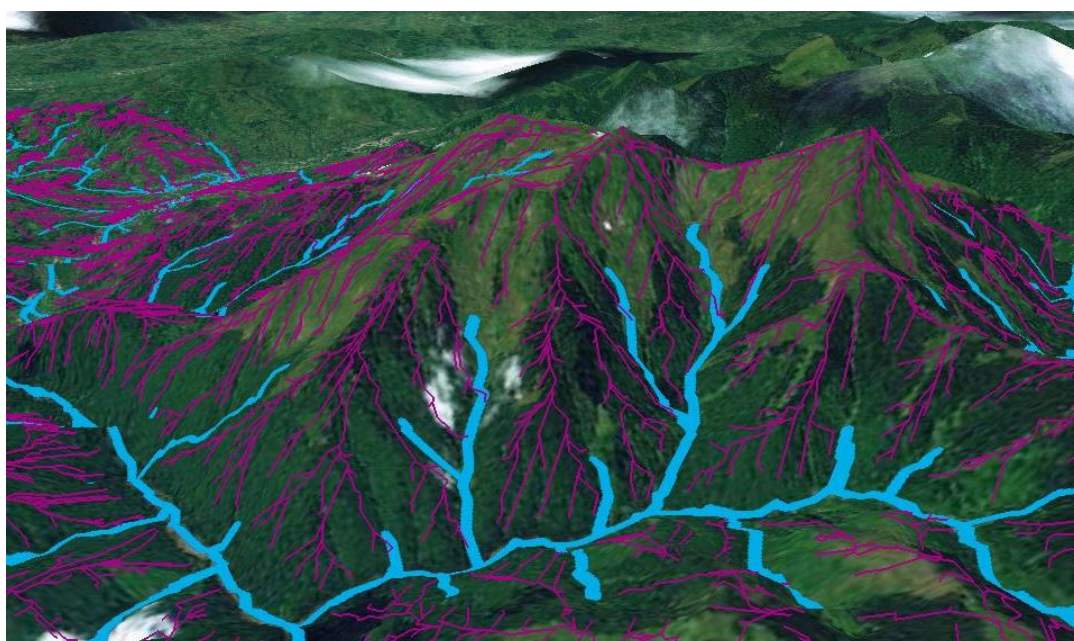


Рисунок 4.43 – Лінеamenti виділені в ГІС ArcGis та водотоки накладені на гору в 3D-моделі рельєфу

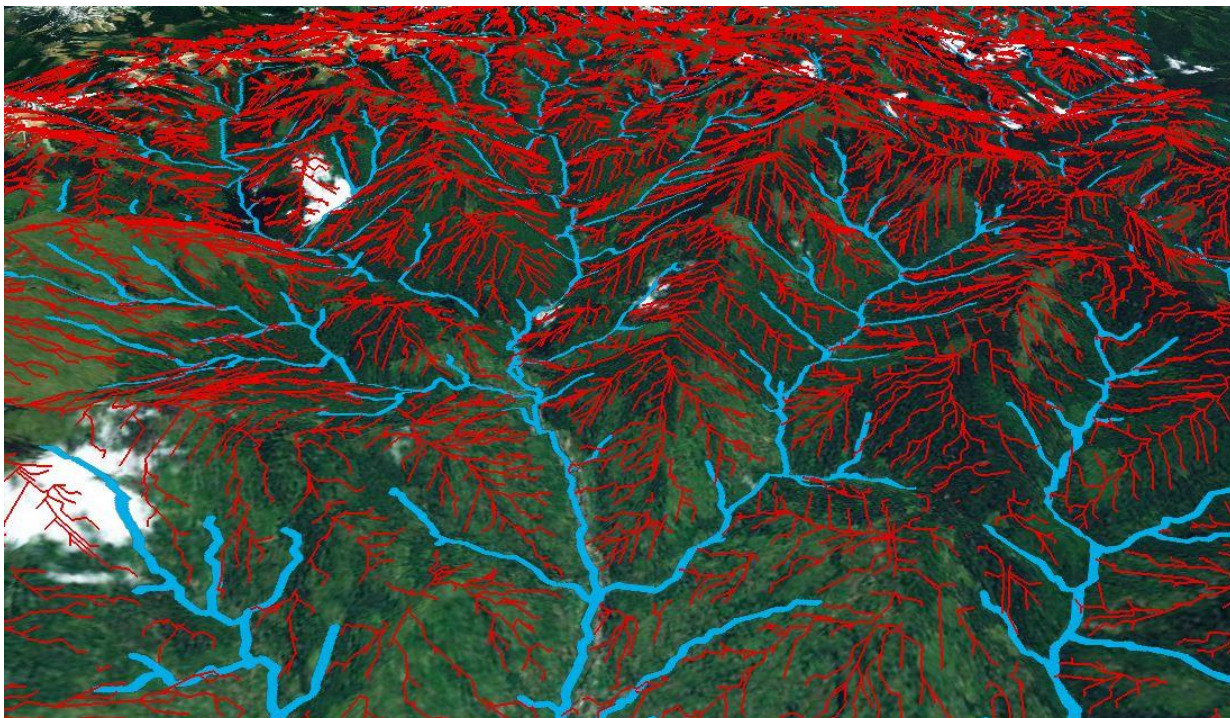


Рисунок 4.44 – Лінеamenti виділені в ГІС ArcGis та водотоки накладені на 3D-модель рельєфу з різних ракурсів

Накладання виділених лінементів з Geomatica та ArcGis один на одного не дають ніяких результатів для поставлених цілей та потребують накладання 3D-моделі, для вибору позицій розташування локаторів (рис. 4.45, рис. 4.46, рис. 4.47).

За допомогою 3D-моделі можна розмістити МРЛ з урахуванням зони закриття, але такий метод потребує ручного моделювання, переміщення позицій по карті. Такий метод задовільняє коли потрібно розмістити один чи два локатори, але не тоді коли потрібно створити радіолокаційне поле.

Для створення радіолокаційного поля, нам потрібно було виділити хребти гір, та відмітити на них основні висоти, куди б при аналізі кутів закриття ми могли б перемістити локатор, на який впливав би фактор доступності місця. Ручне виділення хребтів гір в такому регіону безглузде, на це підуть роки, ліній хребтів повинні промальовуватись по висоті.

Нажаль існуючі ГІСи не можуть чітко виділити по висотам гірські хребти.

Таким чином, проведений аналіз показав, що при використанні даних геоінформаційних систем, потрібні додаткові трудовитрати по суміщенню

результатів лінеamentного аналізу з 3D-моделлю рельєфу, який дозволяє безперешкодно обрати позицію для розміщення метеорологічних радіолокаторів.

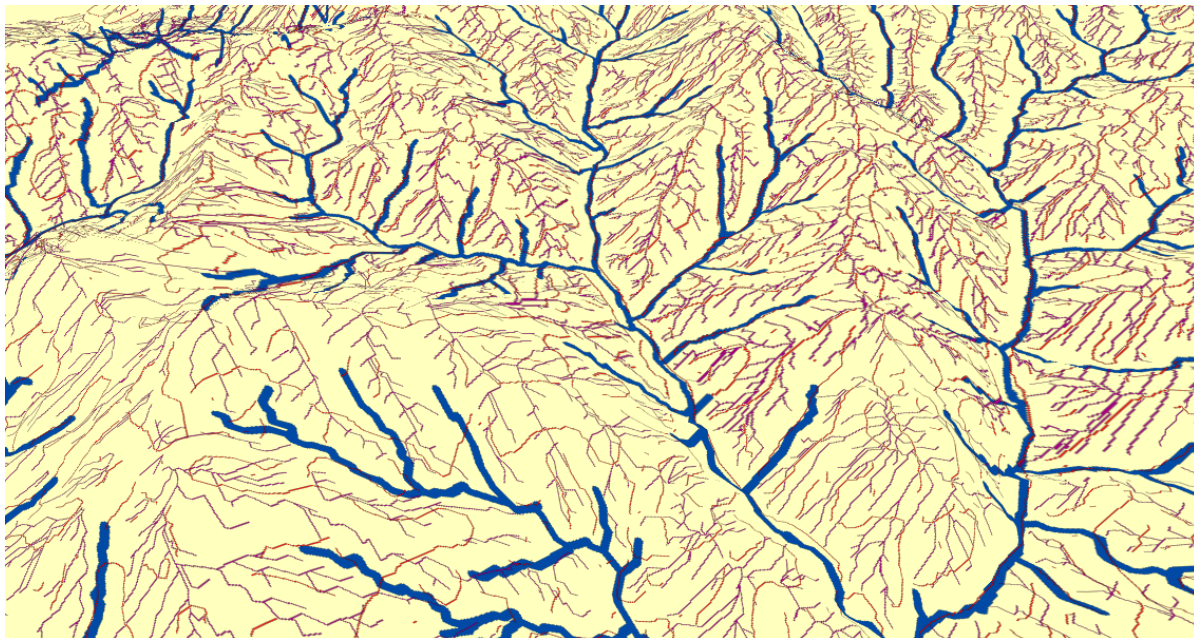


Рисунок 4.45 – Накладання виділених лінеamentів з Geomatica та ArcGis

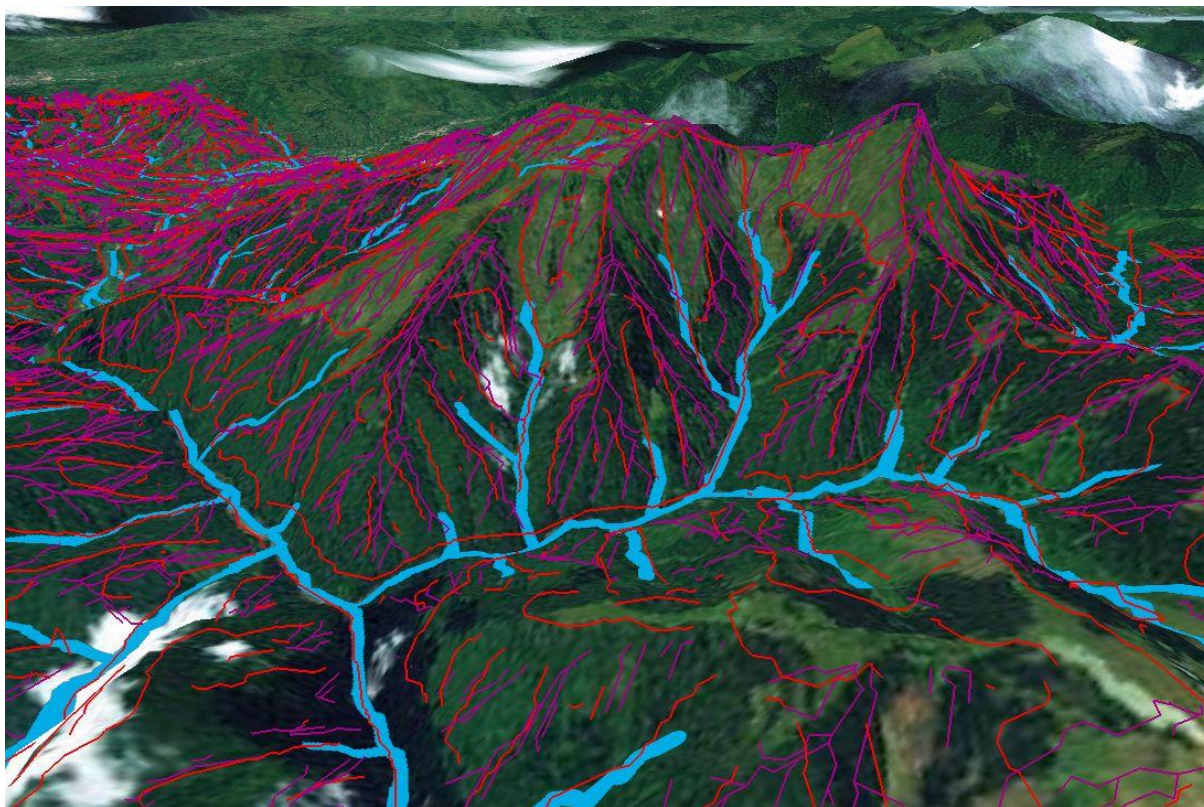


Рисунок 4.46 – Лінеamenti виділені ГІС ArcGis та Geomatica накладені на 3D-модель рельєфу з різних ракурсів

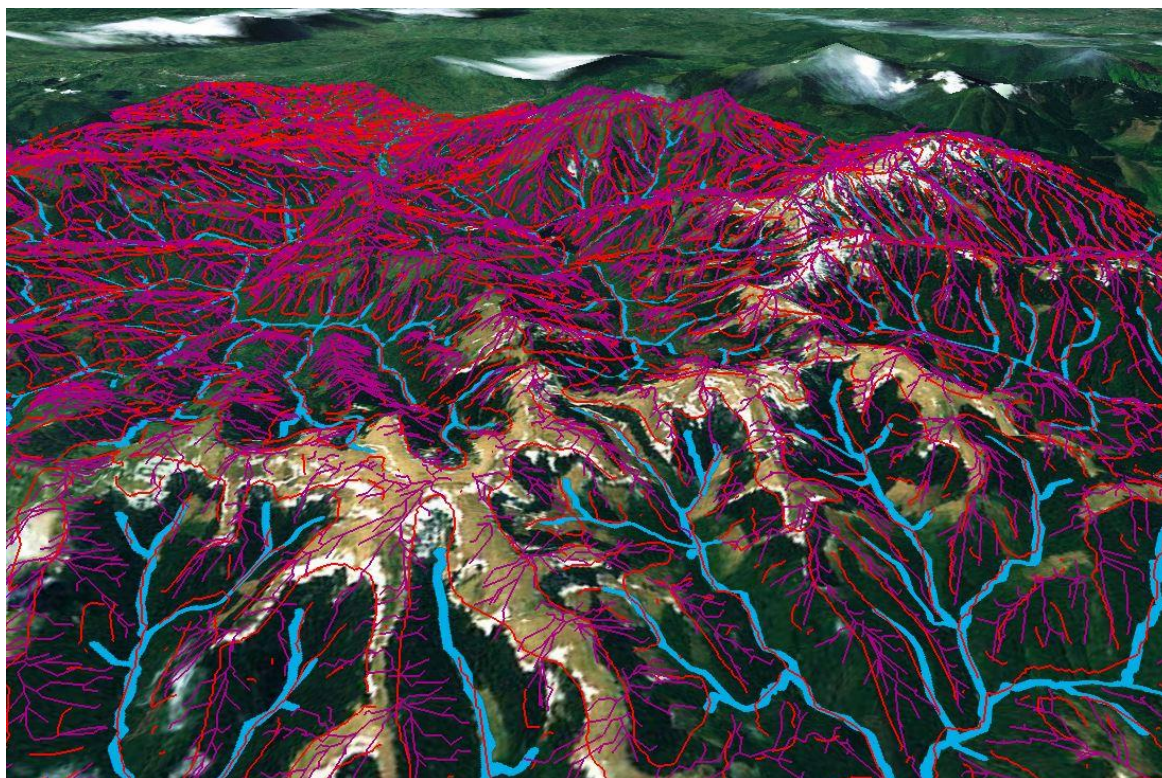


Рисунок 4.47 – Лінеamenti виділені ГІС ArcGis та Geomatica накладені на 3D-модель рельєфу з різних ракурсів

5 УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТОМ

Проект – унікальний набір процесів, що складаються зі скоординованих і керованих завдань з початковою і кінцевою датами, вжитих для досягнення мети. Досягнення мети проекту вимагає отримання результатів, що відповідають певним заздалегідь поставленим вимогам, у тому числі обмеження на отримання результатів, таких як час, гроші і ресурси.

Управління проектом – область діяльності, в ході якої визначаються та досягаються чіткі цілі проекту при балансуванні між обсягом робіт, ресурсами (такими як гроші, праця, матеріали, енергія, простір та ін.), часом, якістю та ризиками. Ключовим фактором успіху проектного управління є наявність чіткого заздалегідь визначеного плану, мінімізації ризиків і відхилень від плану, ефективного управління змінами [33].

5.1 Планування проекту

Для поставленої задачі планування використовувалася програма MS Project 2010. Microsoft Project (або MSP) – програма керування проектами, розроблена компанією Microsoft.

Microsoft Project створений, щоб допомогти менеджеру проекту в розробці планів, розподілі ресурсів за завданнями, відстеженні прогресу і аналізі обсягів робіт. Microsoft Project створює розклад критичного шляху. Розклади можуть бути складені з урахуванням використовуваних ресурсів. Ланцюжок візуалізується на діаграмі Ганта [33].

Проект дозволяє досягти певного результату в певні терміни і за певні гроші. План проекту складається для того, щоб визначити, за допомогою яких робіт буде досягатися результат проекту, які люди й устаткування потрібні для виконання цих робіт, в який час ці люди й устаткування будуть зайняті роботою по проекту. Тому проектний план містить три основні елементи: завдання (task), ресурси (resource) і призначення (assignment).

У табл. 5.1 наведений план проекту, відповідно до якого велася його розробка і реалізація.

Дана таблиця містить всі завдання, які виконувалися при побудові радіолокаційної системи гідрометеорологічного моніторингу Карпатського регіону, тривалість кожної з задач, терміни її виконання, а також які ресурси

для цього використовувалися.

Таблиця 5.1 – План проекту

Назва задачі	Термін	Початок	Кінець	Назва ресурсів
1	2	3	4	5
Початок реалізації проекту	0 днів	04.09.17	04.09.17	
Проектування системи	18 днів	04.09.17	21.09.17	
Ознайомлення з предметною областю	3 днів	04.09.17	07.09.17	Шелест Б. Ю.
Постановка задачі	2 днів	08.09.17	10.09.17	Шелест Б. Ю.
Аналіз предметної області	4 днів	11.09.17	15.09.17	Шелест Б. Ю.
Побудова плану реалізації	3 днів	16.09.17	19.09.17	Шелест Б. Ю.
Інші роботи	2 днів	20.09.17	22.09.17	Шелест Б. Ю.
Проектування завершено	0 днів	22.09.17	22.09.17	
Реалізація системи	291 днів	23.09.17	14.11.18	
Ознайомлення з Карпатським регіоном	3 днів	23.09.17	26.10.17	Шелест Б. Ю.
Дослідження місцевості	7 днів	27.09.17	04.10.17	Шелест Б. Ю.
Аналіз місцевості	5 днів	05.10.17	10.10.17	Шелест Б. Ю.
Виявлення недоліків місцевості	3 днів	11.10.17	14.10.17	Шелест Б. Ю.
Ознайомлення з структурою гідрометеорологічного моніторингу	15 днів	15.10.17	30.10.18	Шелест Б. Ю.
Дослідження особливостей моніторингу в гірській місцевості	18 днів	31.10.17	18.11.17	Шелест Б. Ю.
Ознайомлення з особливостями радіолокаційного моніторингу	21 днів	19.11.18	10.12.18	Шелест Б. Ю.
Вивчення особливостей використання МРЛ в гірській місцевості	17 днів	11.12.18	28.12.18	Шелест Б. Ю.

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
Вивчення побудови радіолокаційного поля	17 днів	29.12.17	14.01.18	Шелест Б. Ю.
Пошук існуючих систем	4 днів	15.01.18	19.01.18	Шелест Б. Ю.
Аналіз розміщення МРЛ в рівнинній місцевості	9 днів	20.01.18	29.01.18	Шелест Б. Ю.
Аналіз розміщення МРЛ в гірській місцевості	13 днів	30.01.18	12.02.18	Шелест Б. Ю.
Вивчення лінеamentного аналізу	15 днів	13.02.18	28.02.18	Шелест Б. Ю.
Аналіз доступних ГІС	12 днів	01.03.18	13.03.18	Шелест Б. Ю.
Пошук та викачування супутникових зображень	8 днів	14.03.18	22.03.18	Шелест Б. Ю.
Дослідження ГІС Geomatica	12 днів	23.03.18	04.04.18	Шелест Б. Ю.
Виділення лінеamentів в Geomatica	14 днів	05.04.18	19.04.18	Шелест Б. Ю.
Виявлення лінеamentів в ГІС ArcGis	35 днів	20.04.18	25.05.18	Шелест Б. Ю.
Виділення лінеamentів в ArcGis	10 днів	26.05.18	06.06.18	Шелест Б. Ю.
Аналіз виділених лінеamentів	13 днів	07.06.18	20.06.18	Шелест Б. Ю.
Побудова 3D-моделі Карпатського регіону	30 днів	21.06.18	21.07.18	Шелест Б. Ю.
Виділення водотоків регіону	20 днів	11.08.18	31.08.18	Шелест Б. Ю..
Створення контуру регіону	9 днів	01.09.18	09.09.18	Шелест Б. Ю.
Виділення основних висот місцевості	14 днів	10.09.18	24.09.18	Шелест Б. Ю.
Аналіз отриманих результатів	15 днів	25.09.18	10.10.18	Шелест Б. Ю.
Моделювання розміщення МРЛ	13 днів	11.10.18	25.10.18	Шелест Б. Ю.

Аналіз розміщення РЛС	10 днів	26.10.18	06.11.18	Шелест Б. Ю.
-----------------------	---------	----------	----------	--------------

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
Аналіз розміщення РЛС	10 днів	26.10.18	06.11.18	Шелест Б. Ю.
Інші роботи	7 днів	07.11.18	14.11.18	Шелест Б. Ю.
Реалізація закінчена	0 днів	14.11.18	14.11.18	
Відладка розробленої системи	15 днів	15.11.18	30.11.18	
Аналіз розробленої системи	7 днів	01.09.18	26.12.18	Шелест Б. Ю.
Висновки по розробленій системі	5 днів	11.12.17	24.12.18	Шелест Б. Ю.
Інші роботи	4 днів	30.11.18	30.11.18	Шелест Б. Ю.
Відладка завершена	0 днів	30.11.18	30.11.18	
Кінець проекту	0 днів	30.11.18	30.11.18	

5.2 Управління ризиками проекту

Причиною виникнення ризиків є невизначеності, існуючі в кожному проекті. Ризики можуть бути відомі – ті, які визначені, оцінені, для яких можливе планування. Ризики невідомі – ті, які не ідентифіковані і не можуть бути передбачені. Хоча специфічні ризики й умови їх виникнення не визначені, менеджери проекту знають, виходячи з минулого досвіду, що більшу частину ризиків можна передбачити.

Реалізуючи проекти, що мають високий ступінь невизначеності в таких елементах, як цілі і технології їх досягнення багато компаній приділяють увагу розробці та застосуванню корпоративних методів управління ризиками. Дані методи враховують як специфіку проектів, так і корпоративних методів управління [32].

Управління ризиками – це процеси, пов'язані з ідентифікацією, аналізом ризиків та прийняттям рішень, які включають максимізацію позитивних і мінімізацію негативних наслідків настання ризикових подій. Процес управління ризиками проекту зазвичай включає виконання наступних

процедур:

- 1) планування управління ризиками – вибір підходів та планування діяльності по керуванню ризиками проекту;
- 2) ідентифікація ризиків – визначення ризиків, здатних впливати на проект і документування їх характеристик;
- 3) якісна оцінка ризиків – якісний аналіз ризиків і умов їх виникнення з метою визначення їх впливу на успіх проекту;
- 4) кількісна оцінка – кількісний аналіз ймовірності виникнення і впливу наслідків ризиків на проект;
- 5) планування реагування на ризики – визначення процедур і методів з послаблення негативних наслідків ризикових подій і використання можливих переваг;
- 6) моніторинг і контроль ризиків – моніторинг ризиків, визначення ризиків, що залишаються, виконання плану керування ризиками проекту і оцінка ефективності дій з мінімізації ризиків.

Всі ці процедури взаємодіють одна з одною, а також з іншими процедурами. Кожна процедура виконується, принаймні, один раз в кожному проекті. Незважаючи на те, що процедури розглядаються як дискретні елементи з чітко визначеними характеристиками, на практиці вони можуть частково збігатися і взаємодіяти [33].

При розробці даного наукового проекту не здійснювалося серйозне управління ризиками, проте враховувалася можливість виникнення певних форс-мажорів, таких як хвороба виконавця, забуті роботи і т.п. Для цього в кожен етап була додана фіктивна задача з мінімальним пріоритетом, під назвою «інші роботи» для кожного ресурсу, що можна побачити в табл. 5.1. Після вирівнювання ресурсів ці завдання виявляються в кінці етапу. Тривалість цих завдань залежить від імовірності виникнення і ступеня впливу ризиків, вона залежить від способу визначення оцінок тривалості задач, здоров'я виконавця та інших факторів.

Тривалість «інших робіт» для кожного етапу розробки виставлялася приблизно до чверті довжини етапу. Такий метод обліку ризиків дозволяє, по-перше назвати терміни виконання проекту та його етапів, причому аргументовано і з високим ступенем достовірності, і по-друге оцінити зразкові трудовитрати по проекту.

5.3 Оцінка трудомісткості і швидкості розробки системи

На даному етапі необхідно визначити, скільки часу буде займати реалізація проекту і в які терміни необхідно вирішити ту чи іншу задачу. Це, в свою чергу, визначить, коли саме потрібно залучити ті чи інші ресурси і як буде контролюватися розподіл коштів проекту.

Варто відзначити, що в управлінні термінами пріоритетним є визначення взаємозв'язків задач проекту і способів їх реалізації; саме це і впливає в першу чергу на те, як вибудовуються завдання в календарному плані робіт. Даний підхід має ряд переваг.

По-перше, робота повинна визначати графік, а не навпаки, тому що досить легко розробити календарний план, який на ділі буде розходитися з намірами.

По-друге, даний підхід повністю співпадає з інструментами управління проектами, такими як Microsoft Project.

По-третє, використовуючи даний підхід, можна одержати цілком реалістичний графік результатів, менш схильних до змін, на відміну від графіків робіт, які є більш гнучкими і визначаються іншими способами.

Таким чином, процеси управління термінами проекту включають в себе наступні фази:

- 1) визначення складу операцій – виявлення всіх планових операцій, які необхідно здійснити. Це досягається за допомогою таких методів, як: декомпозиція, шаблони, планування методом хвилі що набігає, експертна оцінка і т.д.;

- 2) визначення взаємозв'язків операцій включає ідентифікацію і документування логічних взаємозв'язків між плановими операціями. Завдання послідовності може бути виконане за допомогою програмного забезпечення для керування проектами або вручну;

- 3) оцінка ресурсів операцій повинна визначати, які ресурси (людські, матеріальні і т.д.) будуть використовуватися і в якій кількості, та коли кожен з цих ресурсів буде доступний для виконання проектних рішень;

- 4) оцінка тривалості операцій використовує інформацію про склад робіт планової операції, типах необхідних ресурсів, розрахунковій кількості ресурсів і календарях ресурсів з указівкою їх доступності;

- 5) розробка розкладу здійснюється за допомогою визначення планових дат початку і кінця кожної з операцій на проекті. Розробка розкладу здійснюється безперервно по всьому проекті по мірі виконання робіт, зміни плану керування проектом і виникненні або припиненні очікуваних ризиків або виявленні нових;

б) керування розкладом інтегрує в собі усі вищенаведені фази.

Коли всі плановані результати відображені на діаграмі, то не важко визначити початок і закінчення кожного результату.

Сама рання дата початку виконання завдання у відповідності з логікою і обмеженнями розкладу називається «ранній старт». Її початок залежить від того, чи повинна попередня задача бути завершена або достатньо її почати. Додаючи до дати «раннього старту» відрізок часу, призначений на виконання завдання, можна знайти дату «раннього фінішу», або найбільш раннього терміну завершення завдання у відповідності з логікою і обмеженнями розкладу. Таким чином, можна визначити ранній старт і фініш для кожної з задач на діаграмі. Такий метод називається «прямий прохід». Він має на увазі прочитання діаграми зліва направо [33].

Отже, використовуючи метод прямого проходу, можна також дізнатися яка загальна тривалість всього проекту, і в який час знадобляться ресурси для виконання проектних завдань. Отримані для даного проекту результати статистики проекту показані на рис. 5.1.

Статистика проекта для 'Проект1'			
	Начало		Окончание
Текущее	Пн 04.09.17		Пт 30.11.18
Базовое	НД		НД
Фактическое	Пн 04.09.17		Пт 30.11.18
Отклонение	0д		0д
	Длительность	Трудозатраты	Затраты
Текущие	324д	1 415ч	0,00₴
Базовые	0д	0ч	0,00₴
Фактические	324д	1 415ч	0,00₴
Оставшиеся	0д	0ч	0,00₴
Процент завершения			
Длительность: 100%		Трудозатраты: 100%	
			Заккрыть

Рисунок 5.1 – Статистика розробленого проекту

Як видно за статистикою, проект був повністю завершений у строки з 30 листопаду 2018 року, як і було заплановано. Загальна тривалість розробки і реалізації проекту склала 324 днів, або 1415 годин. Під час розробки були задіяні всі наявні ресурси.

Для оцінки трудомісткості були складені зведений звіт про трудовитрати і ресурси та звіт про базові трудовитрати ресурсів. Результати

цих двох звітів наведені на рис. 5.2 та рис. 5.3.

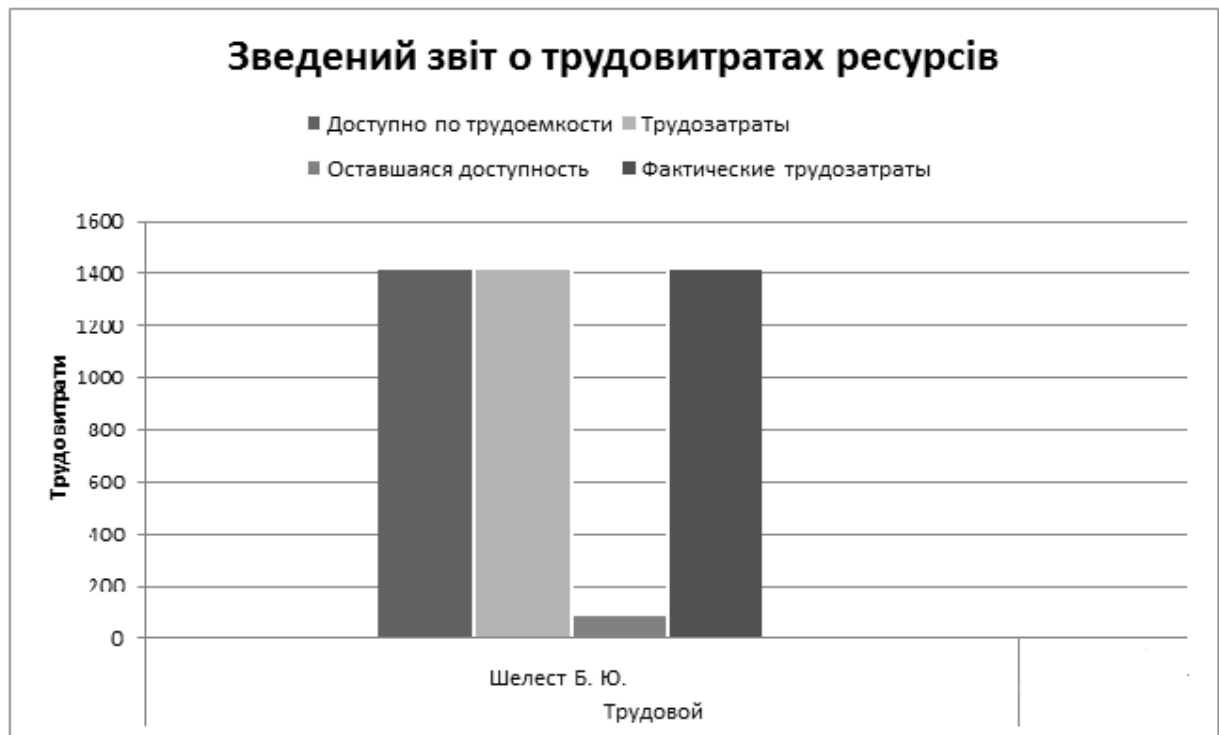


Рисунок 5.2 – Зведений звіт по трудовитратах ресурсів

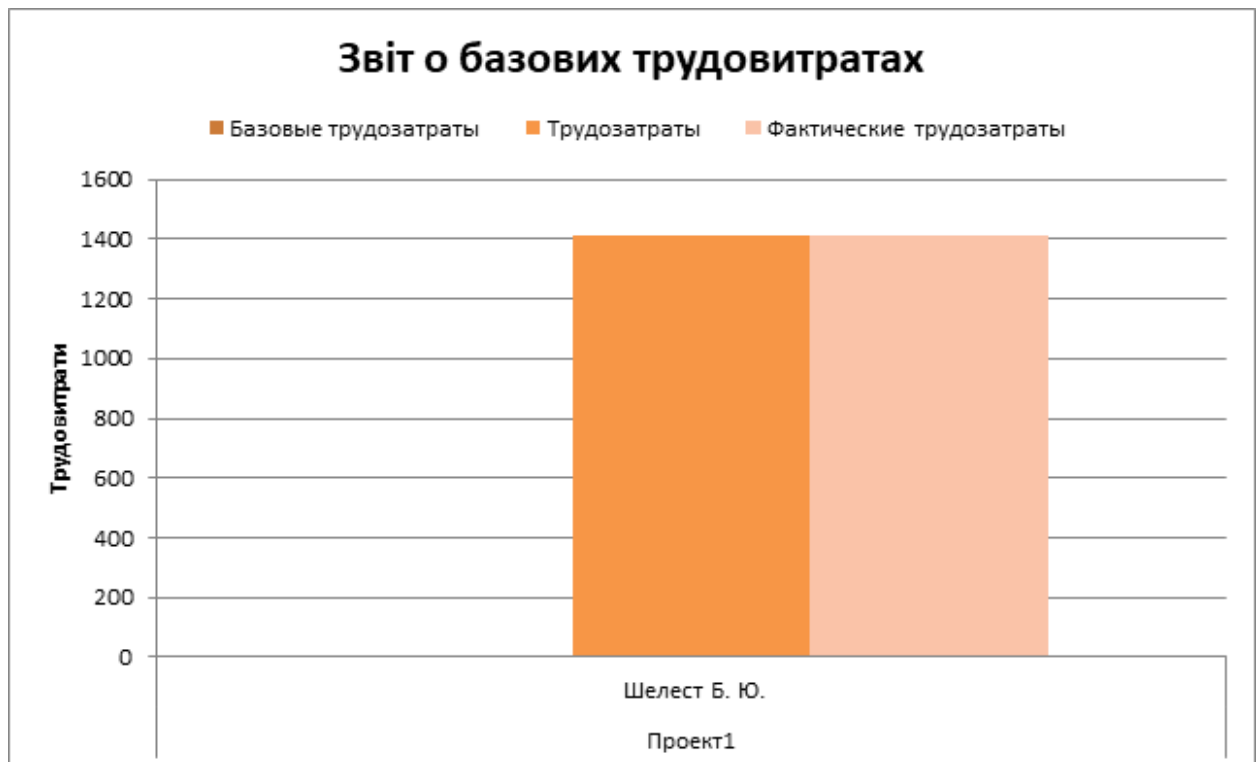


Рисунок 5.3 – Звіт про базові трудовитрати

5.4 Організаційне забезпечення проекту

Організаційне забезпечення – сукупність методів і засобів, що регламентують взаємодію працівників з технічними засобами і між собою в процесі розробки і експлуатації інформаційної системи [33].

Організацію виконання завдань по розробці і реалізації даного проекту можна наочно побачити на діаграмі Ганта (рис. 5.4). Діаграма Ганта побудована на підставі даних з табл. 5.1.

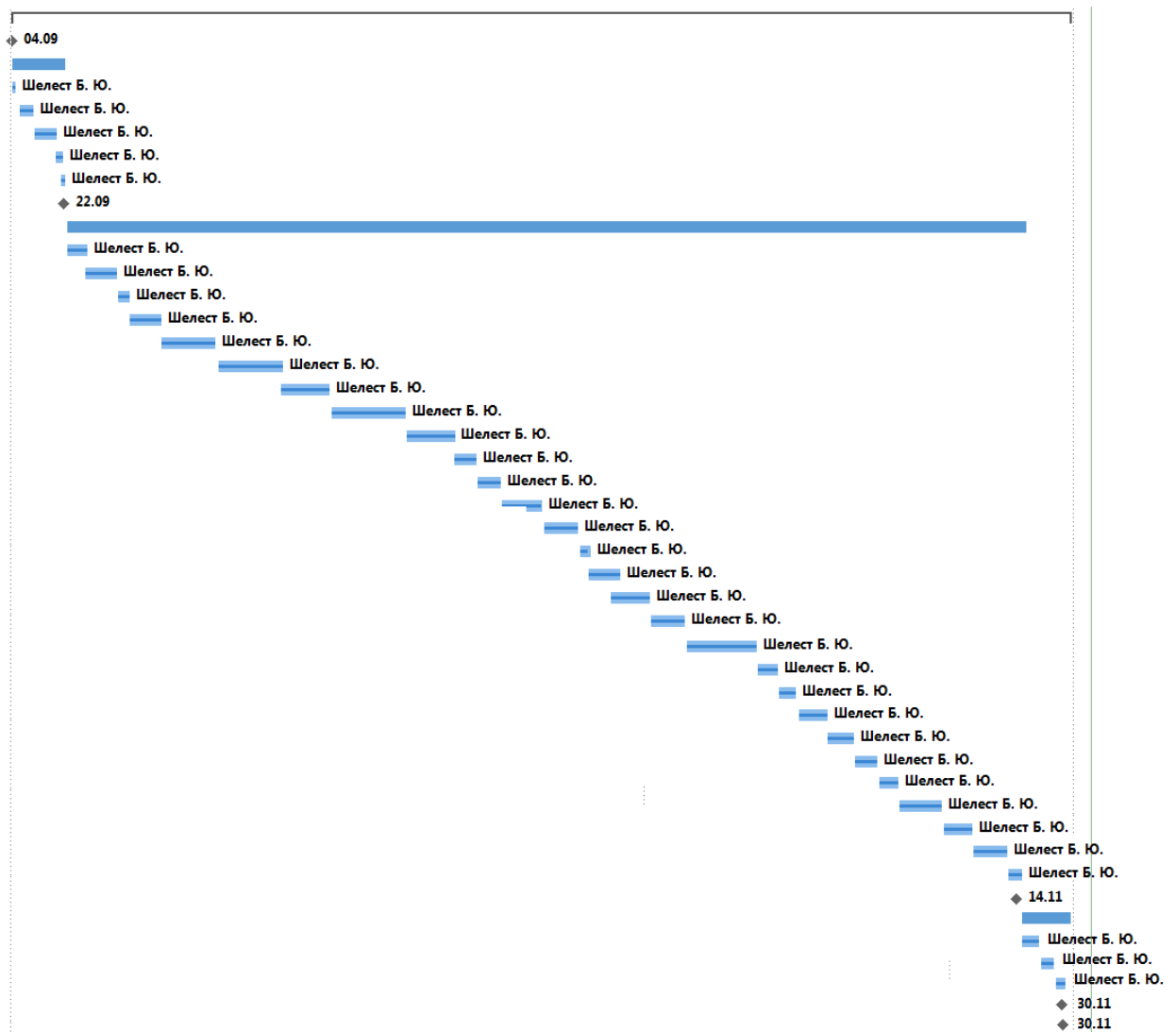


Рисунок 5.4 – Діаграма Ганта

У табл. 5.2 приведений детальний звіт про використані трудовитрати.

Таблиця 5.2 - Використання ресурсів проекту

Назва задачі	Трудовитрати
1	2
Шелест Б.Ю.	1415 г
Початок реалізації проекту	40 г
Ознайомлення з предметною областю	8 г
Постановка задачі	10 г
Аналіз предметної області	5 г
Побудова плану реалізації	13 г
Інші роботи	4 г
Реалізація системи	1326 г
Ознайомлення з Карпатським регіоном	15 г
Дослідження місцевості	14 г
Аналіз місцевості	10 г
Виявлення недоліків місцевості	17 г
Ознайомлення з структурою гідрометеорологічного моніторингу	30 г
Дослідження особливостей моніторингу в гірській місцевості	28 г
Ознайомлення з особливостями радіолокаційного моніторингу	29 г
Вивчення особливостей використання МРЛ в гірській місцевості	30 г
Вивчення побудови радіолокаційного поля	29
Пошук існуючих систем	50
Аналіз розміщення МРЛ в рівнинній місцевості	30 г
Аналіз розміщення МРЛ в гірській місцевості	35 г
Вивчення лінеаментного аналізу	60 г
Аналіз доступних ГІС	25 г
Пошук та викачування супутникових зображень	40 г
Дослідження ГІС Geomatica	25 г
Виділення лінеаментів в Geomatica	100 г
Дослідження ГІС ArcGis	150 г
Виділення лінеаментів в ArcGis	80 г
Аналіз виділених лінеаментів	30 г
Побудова 3D-моделі Карпатського регіону	130 г
Виділення водотоків регіону	160 г

Створення контуру регіону	100 г
---------------------------	-------

Продовження таблиці 5.2

1	2
Виділення основних висот місцевості	96 г
Аналіз отриманих результатів	30 г
Моделювання розміщення МРЛ	50 г
Аналіз розміщення РЛС	30 г
Інші роботи	14 г
Відладка розробленої системи	49 г
Аналіз розробленої системи	19 г
Висновки по розробленій системі	20 г
Інші роботи	10 г

ВИСНОВКИ

Для здійснення моніторингу атмосфери гірської місцевості необхідно встановлювати метеорологічні радіолокатори таким чином, щоб особливості такого регіону не створювали кути закриття.

Аналіз Карпатського регіону показав, що гірська місцевість дуже складна для розміщення радіолокаторів, через свої особливості гірських висот та пролягання гір, які безпосередньо впливають на кути закриття. Створення 3D-моделі такого регіону, для розміщення локатора, дозволила проаналізувати та вибрати місце розташування, але такий аналіз не дає змоги маневрувати при виборі позицій розміщення, в разі труднощів щодо забезпечення умов функціонування.

Існуючі ГІСи не зовсім підходять для вирішення задач по побудові радіолокаційного поля, а саме через відсутність можливості виявляти хребти гір, на яких тільки можна ставити локатори.

Потрібні додаткові зусилля для створенню комплексу, або окремого інструменту для ГІС, які б дозволяли виділити ці хребти гір спільно з аналізом їх висот, що дало б змогу автоматизувати вирішення цих задач по розміщенню локаторів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч.1. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 103 с.
2. Хромов С. П., Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1955. 352 с.
3. Карасев И. Ф., Васильев А. В., Субботина Е. С. Гидрометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 127 с.
4. Основные виды предоставляемой метеорологической информации [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://maripogoda.ru/vidi-informacii>
5. Бакулев П.А., Радиолокационные системы. Учебник для вузов– М.: Радиотехника, 2004. 230 с.
6. Т. А. Базлова, Н. В. Бочарников, Г. Б. Брылёв, А. В. Каргальский, А. Г. Линева, А. С. Лялюшкин, В. А. Оленев, Т. В. Паркин, А. С. Солонин, В. К. Устинов, В. И. Фролов, Н. А. Якимайнен; под ред. А. С. Солонина. Радиолокационные метеорологические наблюдения — СПб.: Наука, 2010.— Часть I. 312 с.
7. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений ВМО-№ 8, 2014. 788 с.
8. Коростелева А.А., Ключев Н.Ф., Мельник Ю.Ф. Теоретические Основы Радиолокации., «Сов. Радио», 1978. 608 с.
9. Брылев Г.Б., Гашина СБ., Низдойминова Г.Л. Радиолокационные характеристики облаков и осадков. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. 232 с.
10. Брылев Г.Б. Метеорологические автоматизированные радиолокационные сети – Отв. Ред. //СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 331 с.
11. Serafin R.J., Wilson J.W. Operational weather radar in the U.S .: Progress and Opportunity. - COST 75, 1998, p. 35 – 61 с.
12. Curtis J., Brodzik S., Edmon H., House R., Yuter S. Mountain Zebra: real-time archival and 4D visualization of radar volumes over complex terrain. - COST 75, 1998, p. 306 с.
13. Бакуменко Б. В., Боровий В. І., Ковкін В. В. та ін. Тактика радіотехнічних військ: Навчальний посібник / За ред. Б. В. Бакуменка. - Харків: ХУПС, 2007. 228 с.
14. Кольєр К.Г. Створення мережі метеорологічних радіолокаторів в Європі - проект COST-73 Комісії європейського співтовариства. - Бюлетень ВМО, 1991, т. 40, № 4, 522 с.

15. Абшаев М.Т., Вовшін Б.М., Вилегжаніна І.С. та ін. Доплеровський метеорологічний радіолокатор з поляризационной селекцією сигналу для дослідження хмар і опадів. Збірник доповідей 23-й Всеросійській науковій конференції "Поширення радіохвиль", Йошкар-Ола, 2011, Т. с.107 - 110.

16. Керівництво з виробництва спостережень і застосування інформації з неавтоматизованих радіолокаторів МРЛ-1 і МРЛ-2. - Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 344 с.

17. Clift G.A. Use of radar in meteorology. - WMO technical note, 1985, No. 625, 90 p.

18. Brownscombe J.L., Hems B.D. Comparison of radar precipitation measurements with a dense network - COST 73, 1989, p. 433 – 442 с.

19. Anderson T., Lindstrom B., Ullerstig A. Operative experience of a development plans for SMHIs Doppler weather radar. - COST 72, 1985, p. 199 – 221 с.

20. Бакулев П.А., Радиолокационные системы. Учебник для вузов– М.: Радиотехника, 2004. 230 с.

21. Леонов А.И., Васенев В.Н., Гайдуков Ю.И. Моделирование в радиолокации – М.: Сов. Радио, 1979. 264 с.

22. Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф. Основы линеamentной тектоники – М.: Недра, 1986. 144 с.

23. Полетаев А.И. Линеamentная делимость земной коры. – М.: МГП «Геоинформмарк», 1994. 48 с.

24. Махорин А.А., Полетаев А.И. Значение линеamentного анализа горных территорий для изучения экзогенных геологических процессов (на примере Северного Кавказа) // Изв. ВУЗов. Геол. и разведка, 1989, №1, с.133 –136.

25. Карпаты. Геологическое описание / ред.: Н. П. Семененко [и др.]. – 1966. 538 с.

26. Горная энциклопедия / [Электронный ресурс] Доступ: <http://www.mining-enc.ru/>

27. Geomatica-help / [Электронный ресурс] Доступ: <http://www.pcigeomatics.com/geomatica-help>

28. Продукты компании ESRI / [Электронный ресурс] Доступ: <http://gis.web.tstu.ru>

29. ArcGis Resource/ [Электронный ресурс] Доступ: <http://resources.arcgis.com>

30. «METI and NASA Release ASTER Global DEM». Archived from the original on 29 May 2009. Retrieved 2009-07-01. 19 с.

31. Jump up de Ferranti, Jonathan. «ASTER Digital Elevation Data». Viewfinder Panoramas, UK. Retrieved 21 December 2013. 50 с.

32. ArcGis Desktop / [Электронный ресурс] Доступ <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/>

33. Проект / [Электронный ресурс] – Режим доступа:<http://ru.wikipedia.org/Проект>.

34. Герасимов В.В., Чередникова Л.Е. Управление проектами: задачи, методы и инструменты. Учеб. пособие. – Новосибирск: НОУ ВПО «Сибирская академия финансов и банковского дела», 2007. 256 с.

Додаток А

Графічна частина магістерської роботи

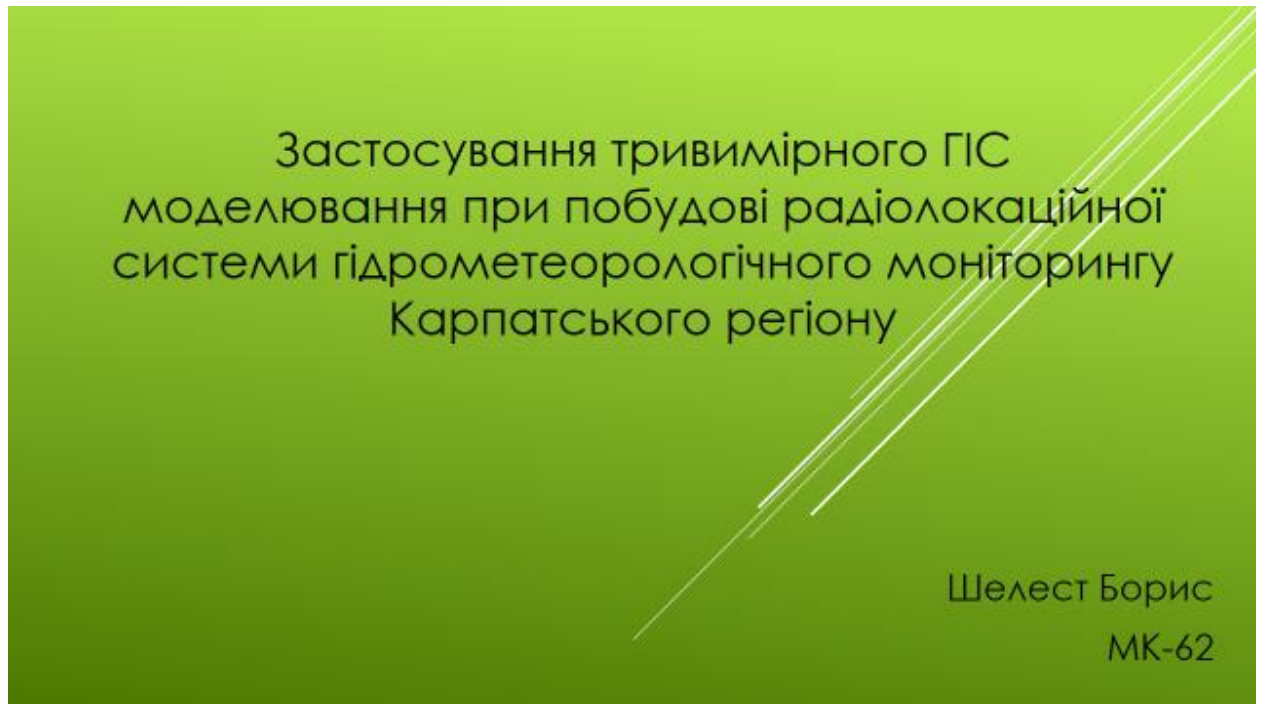


Рисунок А.1 – Початок презентації

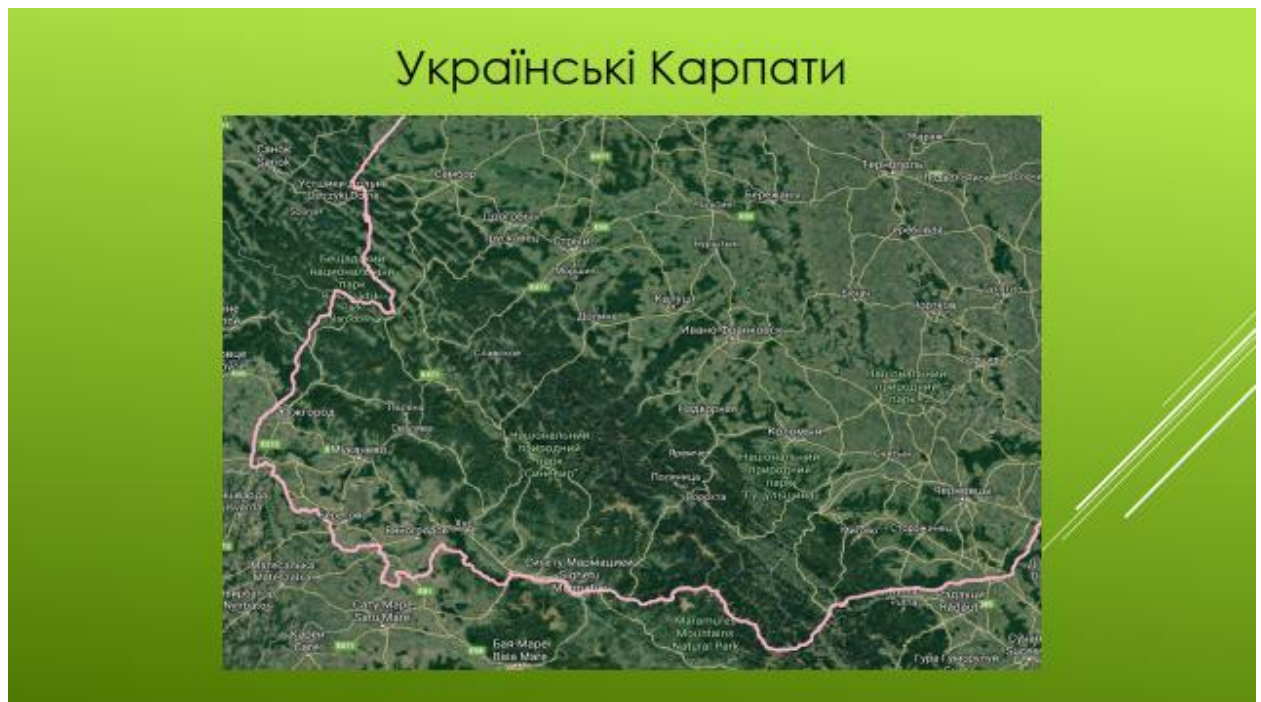


Рисунок А.2 – Українські Карпати



Рисунок А.3 – Особливості рельєфу



Рисунок А.4 – Особливості побудови радіолокаційного поля в гірській місцевості

Лінеаментний аналіз



Приклад виділених лінеаментів

Рисунок А.5 – Лінеаментний аналіз

Супутниковий знімок частини Карпатського регіону



Рисунок А.6 – Супутниковий знімок

Виділені лінеаменти в ГІС Geomatica

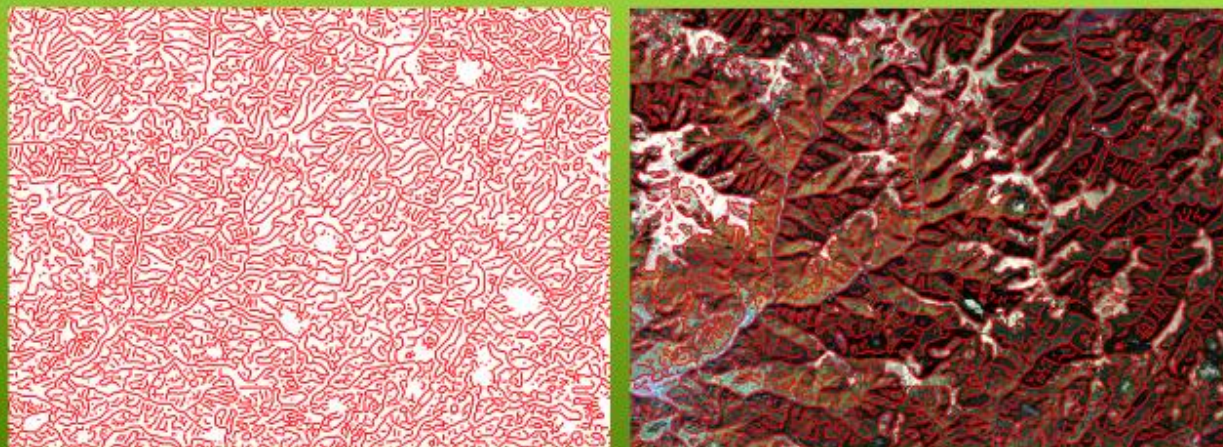


Рисунок А.7 – Виділені лінеаменти в ГІС Geomatica

Виділені лінеаменти на вершині гори

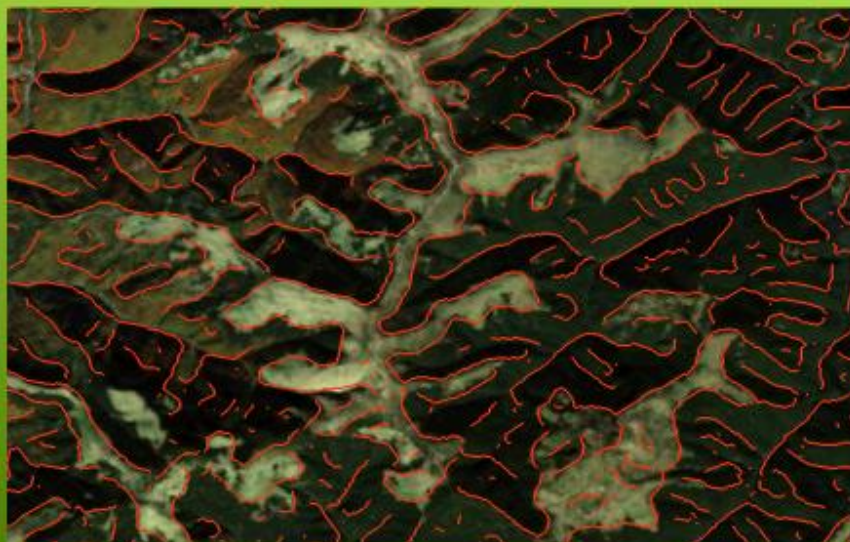


Рисунок А.8 – Виділені лінеаменти в ГІС Geomatica накладені на вершину гори



Рисунок А.9 – Процес виділення лінеаментів в ГІС ArcGis



Рисунок А.10 – Виділенні лінеаменти в ГІС ArcGis

Накладені лінеamenti на супутниковий знімок

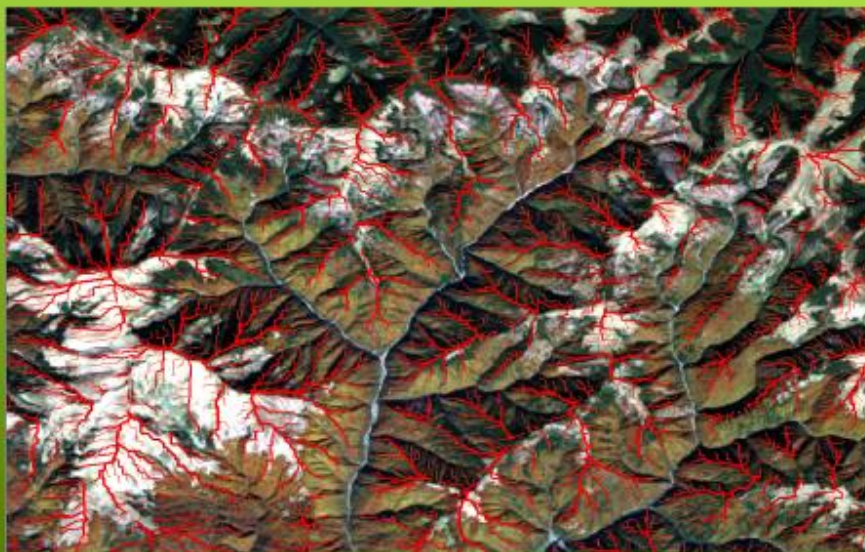


Рисунок А.11 – Виділення лінементів в ГІС ArcGis накладені на супутникових знімок

3D-модель Карпатського регіону

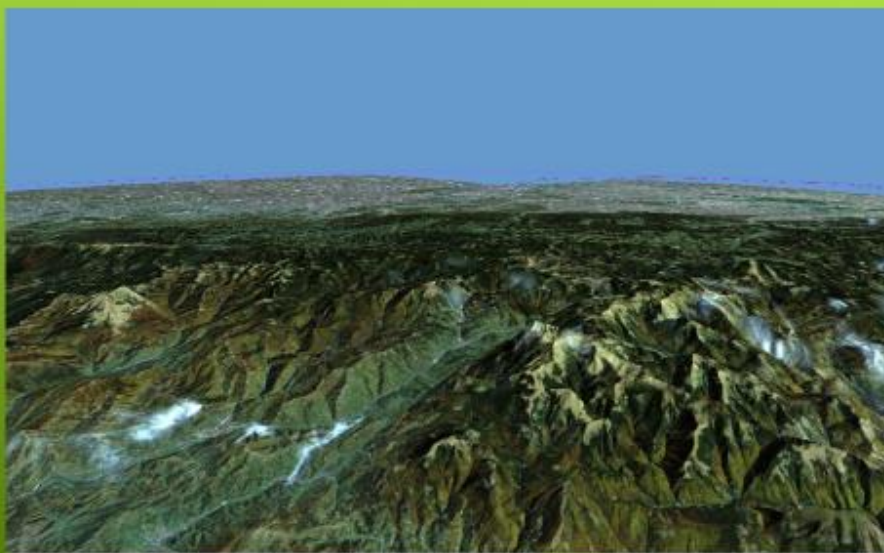


Рисунок А.12– 3D-модель Карпатського регіону

3D-модель Карпатського регіону

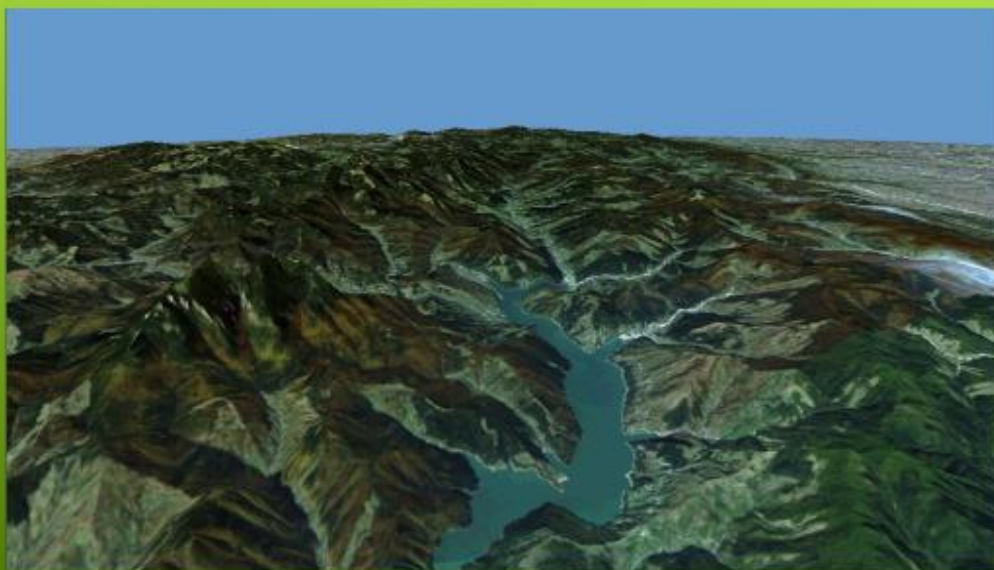


Рисунок А.13 – Вигляд Карпатського регіону в 3D-моделі

Лінеamenti виділені в Geomatica на 3D-моделі

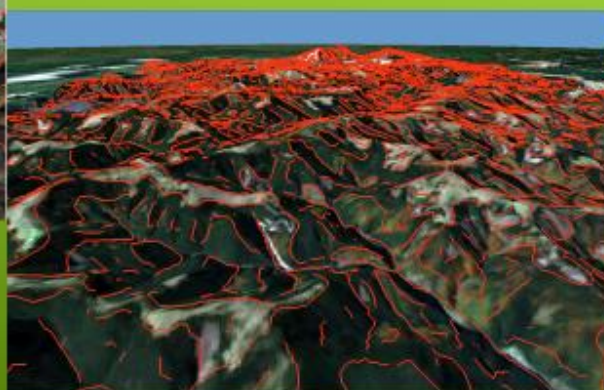
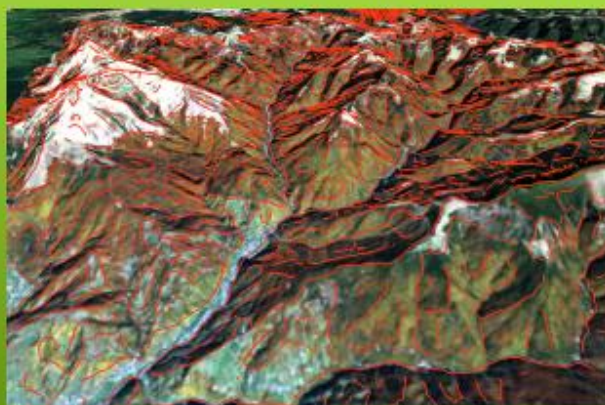


Рисунок А.14 – Накладання та недоліки виділення лінементів в ГІС Geomatica

Лінеаменти виділені в ArcGis на 3D-моделі



Рисунок А.15 – Накладання та недоліки виділення лінеаментів в ГІС Geomatica

Виділені водотоки Карпатського регіону

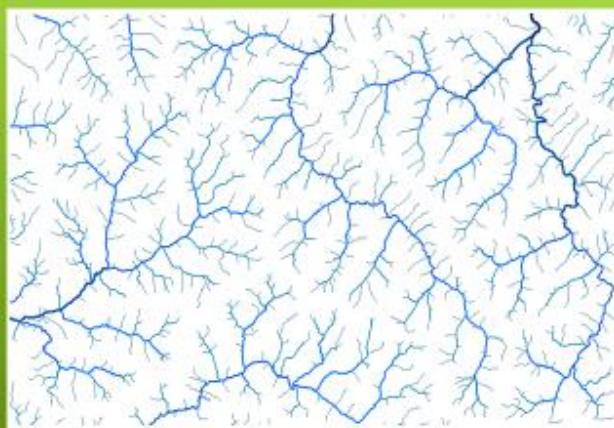


Рисунок А.16 – Виділені водотоки

Виділені водотоки по всьому Карпатському регіону

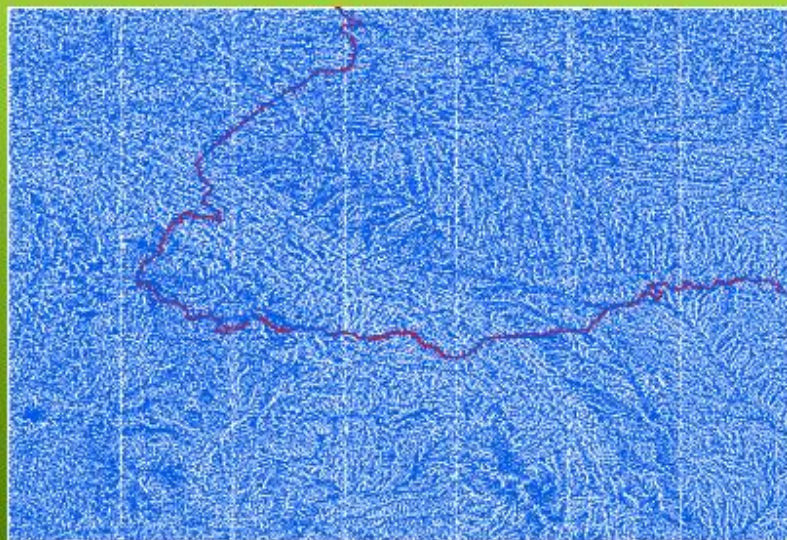
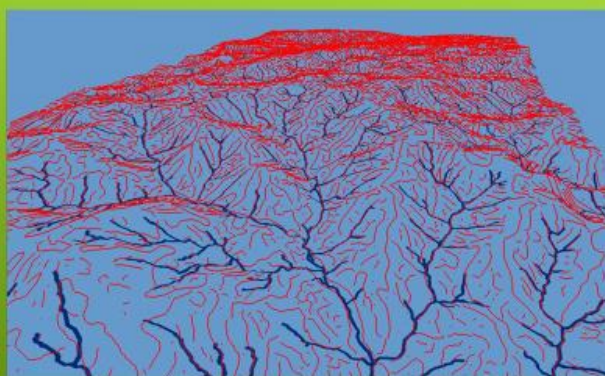
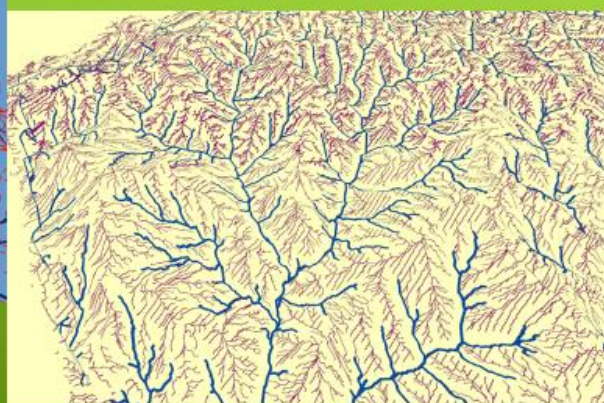


Рисунок А.17 – Виділені водотоки на всьому Карпатському регіоні

Спільний аналіз лінеаментів та водотоків в 3D-відображенні



Лінеаменти виділені в Geomatica



Лінеаменти виділені в ArcGis

Рисунок А.18 – Водотоки і лінеаменти в 3D-моделі



Рисунок А.19 – Водотоки і лінеаменти накладені на 3D-модель рельєфу



Рисунок А.20 – Водотоки і лінеаменти накладені на 3D-модель рельєфу з західної частини регіону

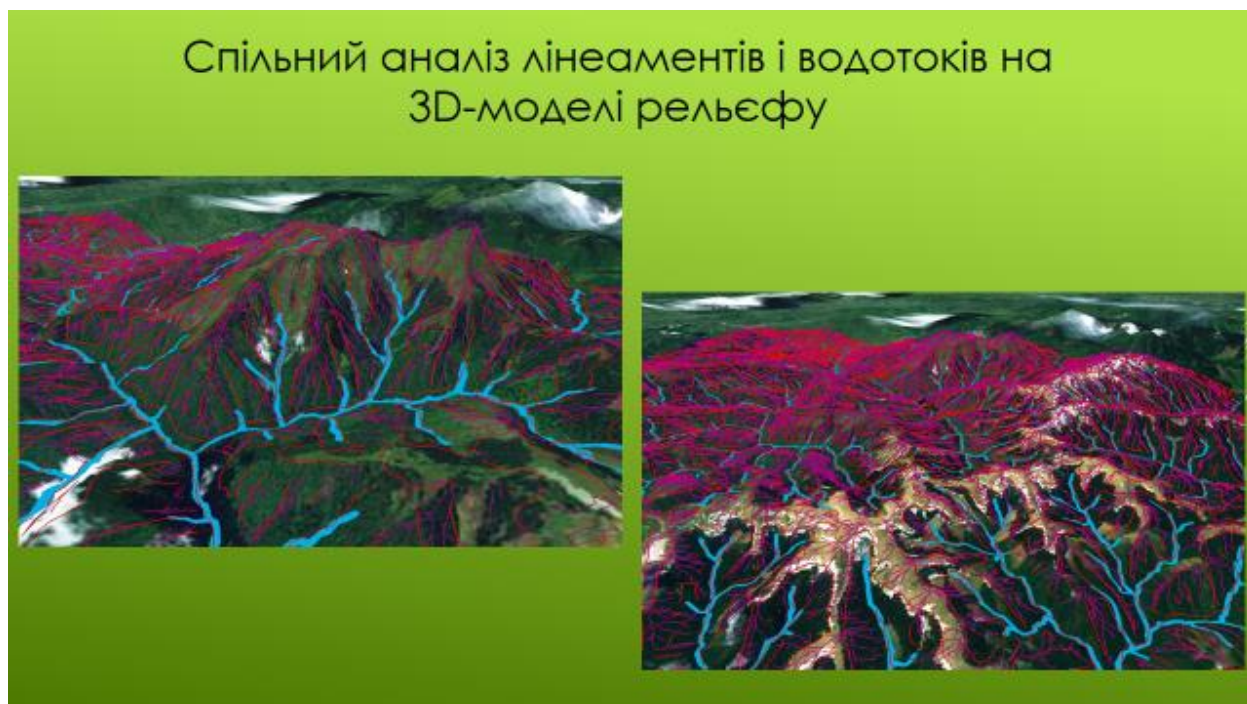


Рисунок А.21 – Лінеаменти виділені з ГІС Geomatica та ГІС ArcGis накладені один на одного на 3D-модель рельєфу



Рисунок А.22 – Виділення основних висот в Українських Карпатах

Радіолокаційне поле в Українських Карпатах

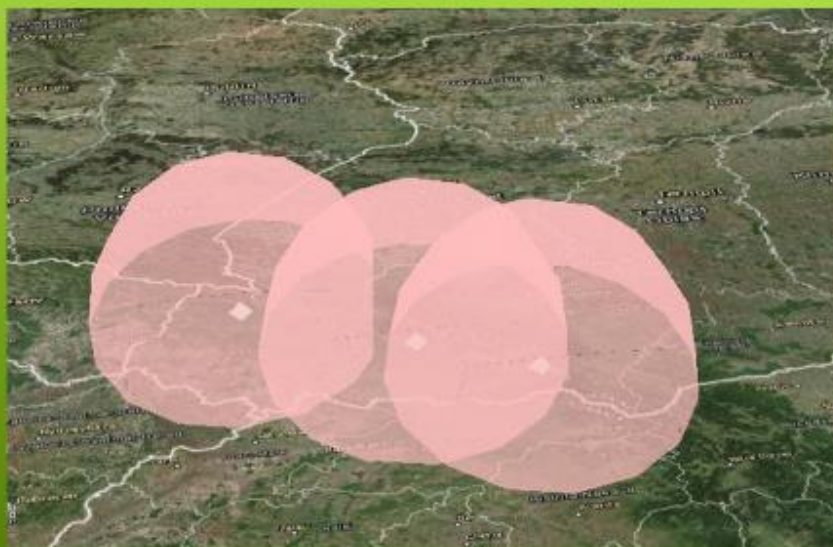


Рисунок А.23 – Радіолокаційне поле в українських Карпатах

Дякую за увагу

Рисунок А.24 – Кінець презентації