

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва (ІФНТУНГ-ДонНАБА)
Кафедра геодезії та землеустрою

Александрук Ростислав Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 551.3:551.435.6(477.87)
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Застосування ГІС –технологій для побудови цифрової моделі рельєфу території
села Заріччя
(назва роботи)

Геодезія та землеустрій

(назва освітньої програми)

193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів
мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня _____ Александрук Р.І. _____
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ Багрій С.М., к.геол.н., доцент _____
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

проф. _____ М. М. Приходько _____
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут архітектури та будівництва (ІФНТУНГ-ДонНАБА)

Кафедра геодезії та землеустрою

Освітній

рівень бакалавр

Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ГКЗ

Микола ПРИХОДЬКО

« » 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Александрук Ростислав Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Застосування ГІС –технологій для побудови цифрової моделі рельєфу території села Заріччя

керівник роботи Багрій Сергій Михайлович, кандидат геол. н., доцент,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від "06" червня 2025 року № 327/7

2. Строк подання студентом роботи 17.06.2025

3. Вихідні дані до роботи картографічні матеріали, веб-ресурси, літературні джерела, відкриті джерела даних,

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

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ; 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ; 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ GOLDEN SOFTWARE SURFER ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ; 4 ПОБУДОВА ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

РЕФЕРАТ

У межах виконання бакалаврської роботи проведено опрацювання картографічних матеріалів території дослідження. Підготовлено дані для створення цифрових моделей рельєфу Делятинської ОТГ та окремо села Заріччя. При побудові цифрових моделей рельєфу використано різні підходи до моделювання. За результатами моделювання отримано просторові моделі із перерізом рельєфу 5 та 25 метрів. Такі моделі можуть бути використані при плануванні будівництва, прокладанні транспортних та інженерних мереж, водогосподарських об'єктів і заходів протипаводкового захисту для Делятинської об'єднаної територіальної громади та зокрема для села Заріччя.

Ключові слова: ІНТЕРПОЛЯЦІЯ, ЕКСТРАПОЛЯЦІЯ, ЦИФРОВА МОДЕЛЬ РЕЛЬЄФУ, МОДЕЛЮВАННЯ.

ABSTRACT

As part of the bachelor's thesis, cartographic materials of the study area were processed. Data were prepared for the creation of digital elevation models (DEMs) for the Deliatyn United Territorial Community and separately for the village of Zarichchia. Various modeling approaches were applied in the construction of the digital elevation models. As a result, spatial models with terrain resolution of 5 and 25 meters were obtained. These models can be used for construction planning, the design of transportation and engineering networks, water management infrastructure, and flood protection measures for the Deliatyn community and specifically for the village of Zarichchia.

Keywords: INTERPOLATION, EXTRAPOLATION, DIGITAL ELEVATION MODEL, MODELING.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1 Фізико-географічна характеристика Делятинської ОТГ	9
2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ	14
2.1 Стереоскопічні 3-D зображення (аерофотознімки, оптичні супутникові знімки)	16
2.2 Радар (SRTM і Terra SAR-x).....	17
2.3 Повітряне лазерне сканування (LiDAR).....	19
2.4 Застосування цифрової моделі рельєфу	20
3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ GOLDEN SOFTWARE SURFER ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ	23
4. ПОБУДОВА ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ	29
4.1 Підготовка даних до створення grid-файл	29
4.2 Побудова векторних карт, 3D каркасів і поверхонь	33
ВИСНОВКИ.....	37
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА	39

ВСТУП

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) є важливим інструментом для відображення та аналізу поверхні землі в цифровому вигляді. Її побудова дає змогу точно моделювати геоморфологічні особливості території, що необхідно для геологічних, геофізичних, інженерних та екологічних досліджень. ЦМР використовується для виявлення тектонічних структур, аналізу схилів, прогнозування ерозійних і зсувних процесів, а також для гідрологічного аналізу та оцінки ризиків природних катастроф.

У прикладних галузях цифрові моделі рельєфу широко застосовуються при проектуванні інфраструктури, містобудуванні, водогосподарському плануванні та в аграрному секторі. Їх інтеграція в геоінформаційні системи (ГІС) забезпечує зручний просторовий аналіз, підвищення точності розрахунків і зменшення витрат на польові дослідження. Джерелами даних для побудови ЦМР є супутникові знімки, аерофотозйомка, лідар, топографічні карти та GPS-вимірювання, що дозволяє створювати моделі різної точності залежно від потреб користувача.

Мета дослідження є створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР) для територій села Заріччя та Делятинської об'єднаної територіальної громади із використанням сучасних програмних комплексів на прикладі Golden Software Surfer.

Завдання дослідження:

- Створити вихідні файли із ізолініями та абсолютними відмітками для подальшого моделювання території ;
- Побудова сіткових файлів (моделей) території с. Заріччя та Делятинської ОТГ;
- Отримати просторові моделі рельєфу для території дослідження.

Об'єкт дослідження є просторові та висотні характеристики території Делятинської об'єднаної територіальної громади.

Предмет дослідження — геоінформаційні методи аналізу та картографування.

Методи дослідження включають:

- Аналіз даних у середовищі Golden Software Surfer;
- візуалізація отриманих результатів у вигляді цифрових моделей рельєфу та 3 Д моделей.

Практичне значення використання цифрових моделей рельєфу (ЦМР) полягає у підвищенні точності, ефективності та наочності при аналізі та прийнятті рішень у різних галузях. Завдяки ЦМР можна швидко й детально оцінити рельєф території, що є критично важливим для планування будівництва, прокладання транспортних та інженерних мереж, водогосподарських об'єктів і заходів протипаводкового захисту.

1. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Фізико-географічна характеристика Делятинської ОТГ

Делятинська територіальна громада є адміністративно-територіальною одиницею в межах Івано-Франківської області, утвореною в результаті адміністративно-територіальної реформи в Україні. До складу громади входить селище міського типу Делятин, яке виконує функції адміністративного центру, а також низка прилеглих сільських населених пунктів. Загальна чисельність населених пунктів громади складає понад 20 одиниць, що забезпечує комплексне соціально-економічне та культурне об'єднання територій. Така структура громади сприяє підвищенню рівня управління місцевим розвитком, координації бюджетних процесів та оптимізації надання адміністративних послуг населенню.

Територія Делятинської громади розташована у західній частині України, в Івано-Франківській області, в межах передгірських та нижніх гірських районів Українських Карпат. Координати громади орієнтовані на південний захід області, що визначає її природно-географічні особливості та кліматичні умови.

Загальна площа громади становить 206,9 км², а чисельність населення — 21 451 особа.

Центр громади — селище Делятин — знаходиться на відстані близько 13 км від міста Надвірна та приблизно 50 км від обласного центру — міста Івано-Франківськ.

Делятинська територіальна громада об'єднує селище Делятин та чотири села: Заріччя, Білі Ослави, Чорні Ослави і Чорний Потік.

Рельєф громади характеризується хвилястою гірсько-передгірською формою, що переходить у середньогірські висоти. Основною геоморфологічною складовою є низькогірні хребти, вкриті лісами, та широкі річкові долини. Абсолютні висоти коливаються від 300 до 900 метрів над рівнем моря. Такий рельєф створює сприятливі умови для ведення сільського господарства, туризму та збереження біорізноманіття.

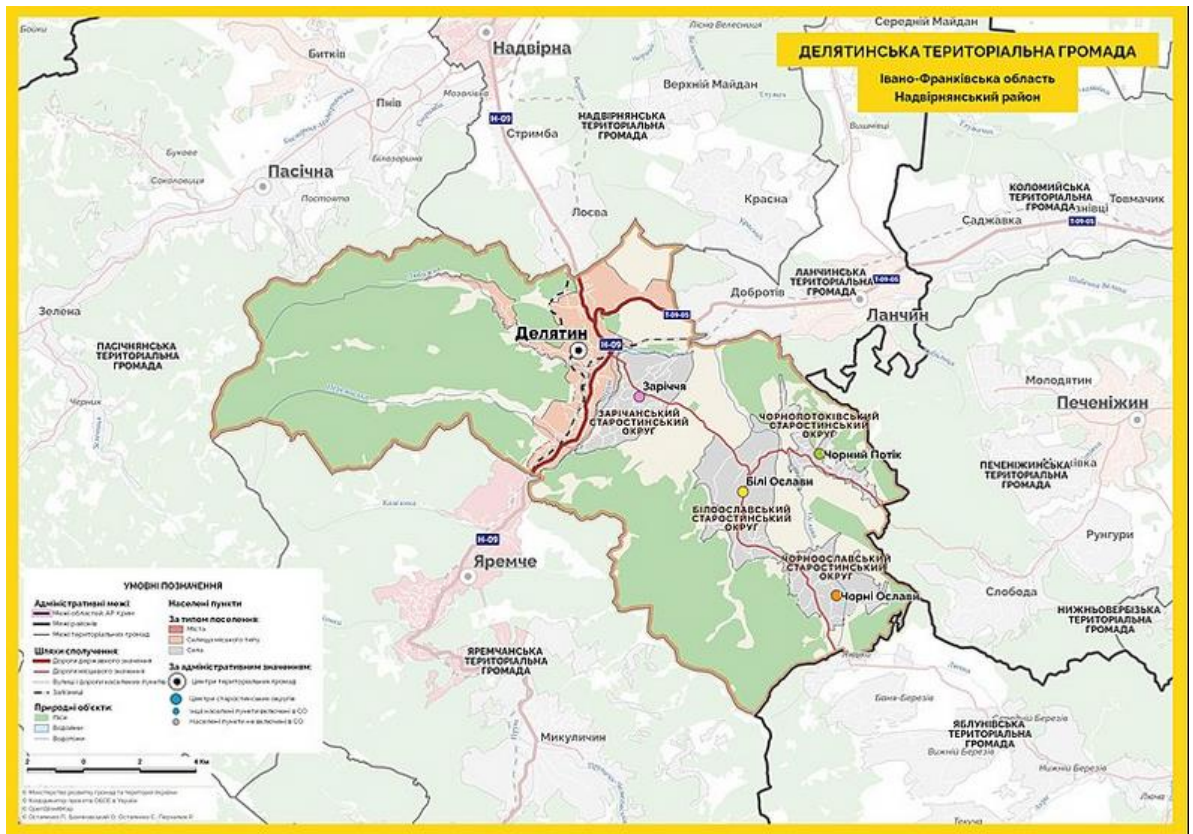


Рисунок 1.1 Розташування Делятинської територіальної громади

Клімат Делятинської територіальної громади є помірно-континентальним з виразними ознаками гірського клімату. Зими характеризуються відносно холодними температурами, із середньою температурою січня близько $-5...-7$ °С, а літо тепле, із середньою температурою липня $+18...+20$ °С. Оподи розподіляються протягом року відносно рівномірно, із загальним річним рівнем близько 800–1000 мм, що сприяє розвитку лісового покриву та сільського господарства.

Територія громади багата на маловодні річки та численні струмки, які є притоками річки Прут. Водні об'єкти відіграють важливу роль у забезпеченні питної води, іригації сільськогосподарських угідь, а також мають потенціал для розвитку мілководного гідроенергетичного комплексу та рекреації. Водозбірні басейни перебувають у задовільному стані, що свідчить про достатній рівень екологічної безпеки.

Природні ресурси Делятинської громади представлені значними лісовими масивами, які є джерелом деревини, лікарських рослин, ягід та грибів. Ліси мають значення не лише економічне, а й екологічне, виконуючи функції регуляції клімату та підтримки біорізноманіття. Крім того, територія має значний туристичний потенціал завдяки розташуванню у Карпатах, наявності мальовничих ландшафтів, історико-культурних об'єктів та умов для активного відпочинку (пішохідний туризм, лижний спорт, екологічний туризм).

Територією громади, між населеними пунктами Делятин і Заріччя, протікає річка Прут — одна з найбільших річок регіону, яка впадає у Дунай. Також через громаду проходять менші водотоки, зокрема річки Любіжня, Перемийська, Мала Річка, Ослава Чорна, Ославка, а також потік Чорнянка та струмки Водичний і Раковець.

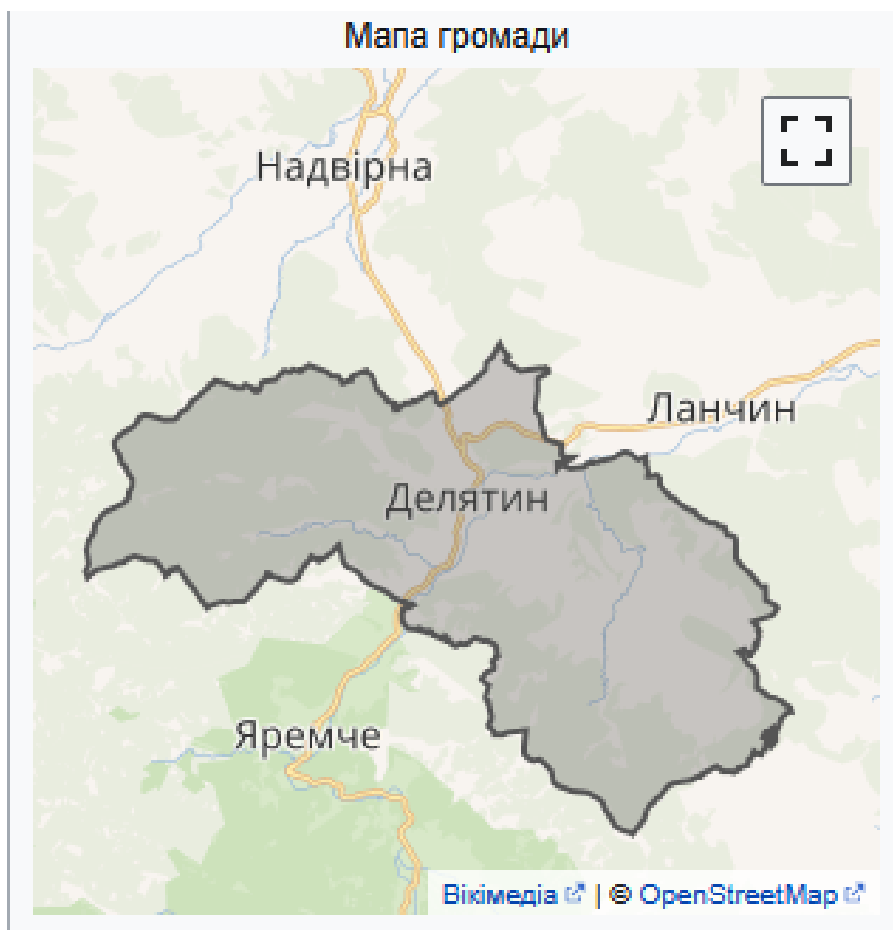


Рисунок 1.2 Територія дослідження Делятинської ОТГ

Село розташоване в Покутському передгір'ї, приблизно за 14 км від міста Надвірна та за 5 км від залізничної станції Делятин. На сході Заріччя межує з селом Білі Ослави, а на півдні — з горами Маливо (висота 848 м) та Яворова (1001 м).

Населений пункт простягається на рівнинній місцевості завдовжки близько 8 км та шириною від 1 до 4 км.

Через територію села проходить автомобільна дорога Івано-Франківськ — Яблунів.



Рисунок 1.3 Територія дослідження с. Заріччя

Заріччя розташоване вздовж правого берега річки Прут на відстані близько 4 км. На струмку Ясиновець, який є правою притокою Прута, знаходиться мальовничий Зарічанський водоспад заввишки 2 метри.

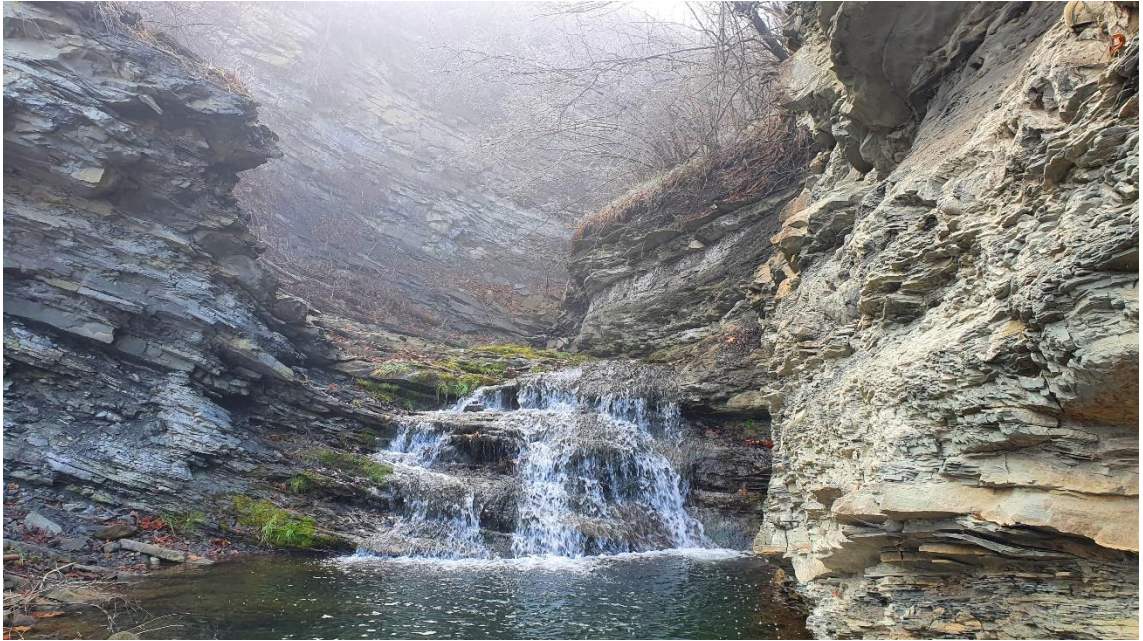


Рисунок 1.4 - Зарічанський водоспад.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ

Цифрова модель висоти (DEM) - це чисельне представлення поверхні Землі, яке містить фактичні точки висоти, що представляють топографію, а також метод розрахунку висоти між точками висоти. Як правило, DEM зберігається в системі даних як звичайна сітка або трикутна нерегулярна мережа (TIN). В обговоренні, пов'язаній з DEM, загальними термінами є цифрова модель місцевості (DTM) і цифрова модель поверхні (DSM).

Цифрова модель рельєфу (DTM) - це модель, яка представляє поверхню Землі разом з іншою топографічною інформацією, такою як дані про земельний покрив, схили та аспекти місцевості. Найважливішим елементом DTM є DEM.

Цифрова поверхнева модель (DSM) - це концепція, яка стала поширеною завдяки широкому використанню повітряного лазерного сканування. Це означає модель, яка представляє найвищу висоту місцевості. Таким чином, DSM представляє поверхню Землі тільки на відкритих ділянках, в той час як в інших регіонах модель слідує за лісовим навісом і дахами будівель.

Digital Elevation Model (DEM) - це винахід, який звільнив збір та зберігання даних про висоту від принципів традиційної картографії. До поширення використання DEM-даних по всій країні зберігалися на контурних лініях у друкованих пластинах та паперових картах. Хоча контури все ще є дійсним методом візуалізації топографії, з точки зору зберігання даних, вони мають два недоліки:

Контури є безперервним відображенням місцевості, в якій поверхня утворюється між вибраним контурним інтервалом, невідомі.

Покоління контурів обумовлено візуалізацією, яка передбачає використання правил картографічного узагальнення. У цьому процесі деякі деталі топографії видаляються, в той час як інші форми навмисно надмірно підкреслюються.

Різні джерела даних про висоту над рівнем моря

- Дані про висоту точки
- Контурні та поперечні дані
- Дані про висоту з космічного та повітряного дистанційного зондування

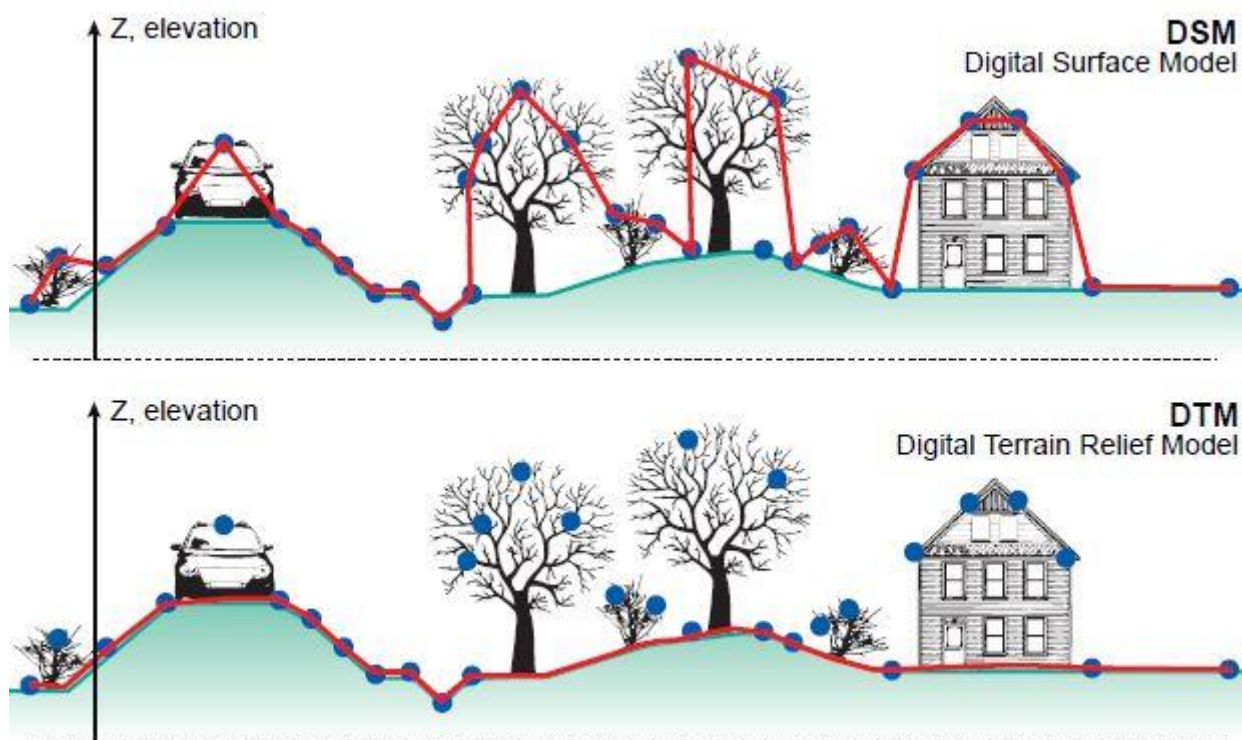


Рисунок 2:1 Різниця між DSM і DTM.

Оскільки топографія є одним з основних факторів у більшості видів аналізу генерація цифрової моделі рельєфу (DEM) відіграє важливу роль. Цифрові моделі рельєфу (ЦМР) можуть бути отримані за допомогою різноманітних методів, таких як оцифровка контурів з існуючих топографічних карт, топографічне нівелювання, EDM (електронне вимірювання відстані), диференціальні вимірювання GPS, (цифрова) фотограмметрія, радіолокаційне дистанційне зондування (InSAR) та виявлення світла та дальність (LiDAR). . Багато похідних карт можуть бути створені на основі ЦМР за допомогою досить простих операцій ГІС. Сьогодні для генерації ЦМР можна вибрати широкий спектр джерел даних.

Підбір залежить від доступності даних для конкретної місцевості, ціни та сфери застосування.

2.1 Стереоскопічні 3-D зображення (аерофотознімки, оптичні супутникові знімки)

Для генерації ЦМР використовуються різні оптичні супутникові датчики, такі як Quickbird, IKONOS (роздільна здатність 2-5 м), сузір'я Pleiades 1A / 1B (роздільна здатність 1 м), WorldView-2 і GeoEye-2 (роздільна здатність 1-2 м), японський супутник передового спостереження за землею (ALOS) PRISM (2,5 м), індійський Cartosat (2,5 м), французький супутник SPOT (5-10 м) і ASTER (15-30 м). Більшість з них були використані в дослідженнях з оцінки небезпеки в місцевому або меншому масштабі.

Дуже корисним джерелом безкоштовних даних DEM середньої роздільної здатності (30 м) є Вдосконалений космічний радіометр теплового випромінювання та відбиття (ASTER), запущений у 1999 році, який передає 15 каналів, з 4 діапазонами з роздільною здатністю 15 м, 6 на 60 м і 5 на 90 м. Датчик VNIR має загалом чотири діапазони, один з яких спрямований назад, що дозволяє генерувати ЦМР з роздільною здатністю пікселів 15 м і точністю по вертикалі менше 20 метрів. ЦМР, згенеровані із зображень ASTER, тепер доступні у вільному доступі в рамках програми ASTER GDEM.

Застосування ЦМР із зображень з дуже високою роздільною здатністю (Quickbird або IKONOS) у детальних дослідженнях ускладнюється високими витратами на отримання (30-50 доларів США/км²). Нещодавно запущені дані з високою роздільною здатністю від PRISM (ALOS) і CARTOSAT-1, обидва з роздільною здатністю 2,5 м, обидві з двома панхроматичними камерами, які дозволяють майже одночасно отримувати зображення однієї і тієї ж області з двох різних кутів (уздовж стереостеофонічної доріжки), здатні створювати високоточні цифрові моделі рельєфу з витратами нижче 10 доларів США/км².

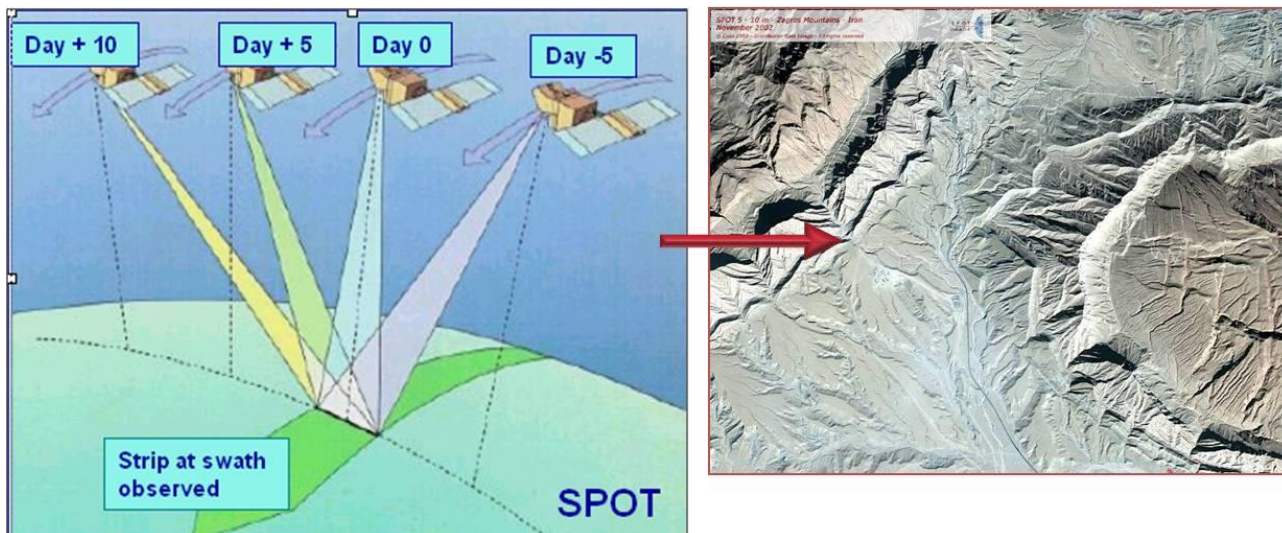


Рисунок 2.3: Можливість стерео SPOT 5 та DEM.



Рисунок 2.4: Aster DEM.

2.2 Радар (SRTM і Terra SAR-x)

Цифрові моделі рельєфу також створюються за допомогою радіолокаційних супутників, таких як RADARSAT, TerraSAR-X, ALOS PALSAR, ERS-1 I 2, ENVISAT). Радіолокаційна інтерферометрія із синтезованою апертурою (InSAR) може бути використана для генерації цифрових моделей рельєфу, але на практиці вона в основному використовується

для виявлення змін топографічних висот, пов'язаних з різними небезпечними геологічними процесами, такими як осідання ґрунту, повільні зсуви, тектонічні рухи, рух льоду та вулканічна активність. Багаточасовий аналіз InSAR з використанням таких методів, як постійні розсіювачі (PSInSAR), PSP (пари постійних розсіювачів) і SBAS (підмножина малих базових ліній) можуть бути використані для вимірювання зміщення постійних розсіювачів, таких як будівлі, з точністю до міліметра, і дозволяють відтворити історію деформацій. WorldDEM — це послідовна ЦМР™ всієї земної поверхні, з точністю по вертикалі 2 м (відносно) і 4 м (абсолютна), в межах горизонтального растру приблизно 12x12 квадратних метрів.

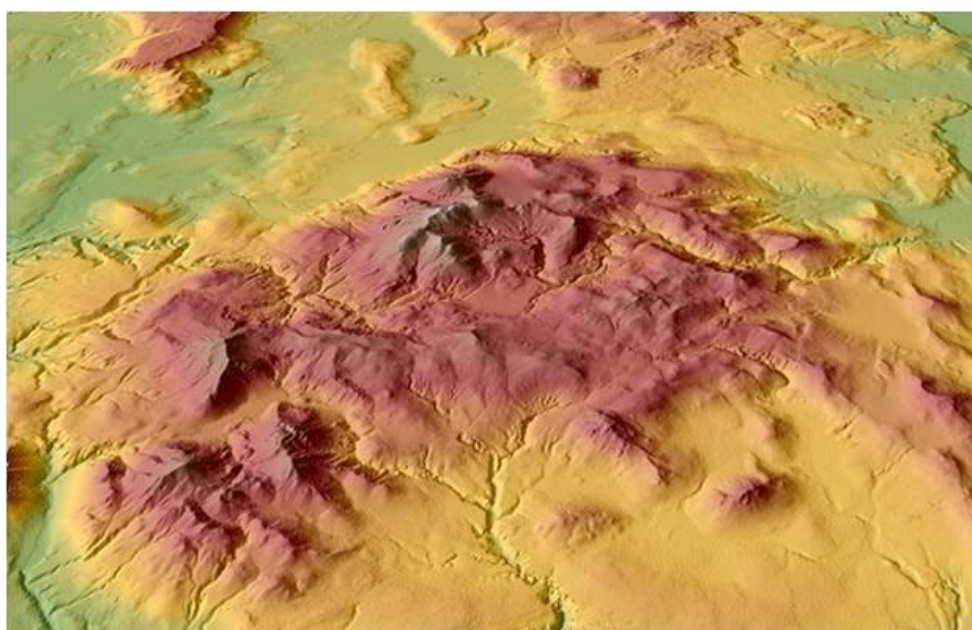
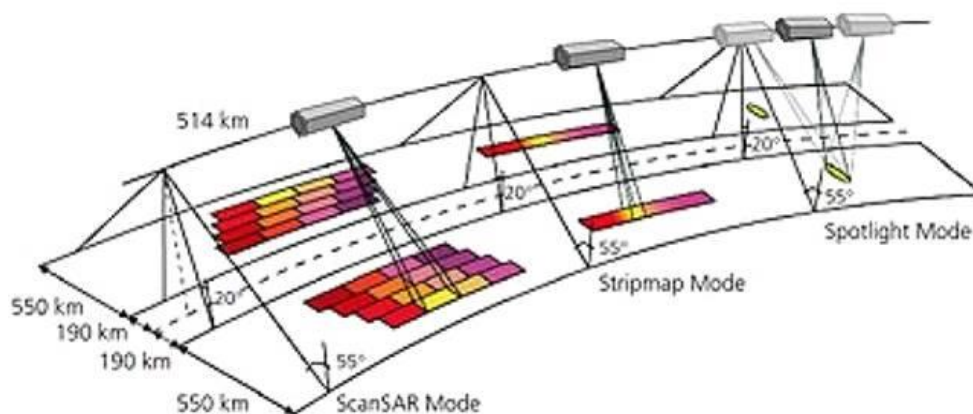


Рисунок 2.5 ЦМР створена за даними Terra SAR-X.

2.3 Повітряне лазерне сканування (LiDAR)

Більш детальні ЦМР в даний час виводяться за допомогою LiDAR (Light Detection And Ranging). Зазвичай точкові вимірювання LiDAR відображають так звані цифрові моделі поверхні (DSM), які містять інформацію про всі об'єкти поверхні Землі TM, включаючи будівлі, дерева тощо. За допомогою складних алгоритмів і остаточного ручного редагування елементи ландшафту видаляються та генерується цифрова модель місцевості (DTM). Різниця між DSM та DTM також може надати дуже корисну інформацію, наприклад, про висоту будівель, висоту рослинного покриву тощо. LiDAR вже став стандартним методом для створення ЦМР з високою роздільною здатністю в багатьох розвинених країнах, і цілком ймовірно, що більшість країн матимуть ЦМР, похідні від LiDAR, протягом десятиліття або близько того. LiDAR може вимірювати відстані дуже точно і дуже часто; тому DSM з високою щільністю точок може бути отримана з точними значеннями висот. Досяжна точність висоти (вертикальної координати) за допомогою LiDAR може становити близько 3 см для чітко визначених цільових поверхонь.

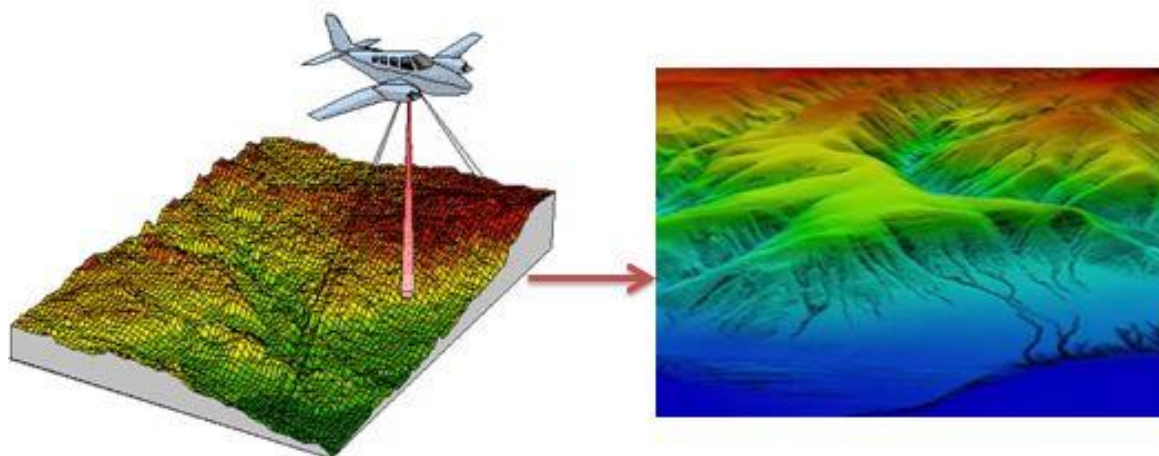


Рисунок 2.6: Створення цифрових моделей рельєфу за лазерним сканування LiDAR і DEM.

Середні витрати на LiDAR коливаються від 300 " " 800 US\$/km² в залежності від необхідної щільності точок. Дані LiDAR можуть бути отримані за допомогою бортових або наземних приладів. Бортовий лідар широко використовується для геоморфологічного картографування та класифікації місцевості. Дані LIDAR з повітря можуть бути застосовані для оцінки льодовикових небезпек на узбережжі, моделювання повеней, небезпеки ерозії ґрунту та оцінки небезпеки зсувів.

2.4 Застосування цифрової моделі рельєфу

Похідні від ЦМР можуть бути використані в евристичному аналізі на малих масштабах (наприклад, зображення затінення пагорбів для відображення як фонове зображення, фізико-географічна класифікація, внутрішній рельєф, щільність дренажу), у статистичному аналізі на регіональних масштабах (наприклад, висотні зони, градієнт схилу, напрямок схилу, площа внеску, кривизна плану, кривизна профілю, довжина схилу), у фізично обґрунтованому моделюванні на локальних масштабах (місцевий напрямок стоку, шлях потоку, градієнт схилу) і в моделюванні розкиду (детальна морфологія схилу, шлях потоку) (Moore et al., 2001). На використання карт ухилів при оцінці небезпеки значною мірою впливає рішення ЦМР (Zhou and Liu, 2004). Як правило, використання карт градієнтів схилу не рекомендується для досліджень малого масштабу (Van Westen et al., 2008). У більш масштабних дослідженнях карти схилів та інші похідні DEM, такі як аспект, довжина схилу, форма схилу тощо, можуть бути використані як вхідні коефіцієнти для евристичного або статистичного аналізу. При оцінці небезпеки за шкалою локального та локального дослідження ЦМР використовуються в гідрологічному моделюванні схилів, а карти схилів використовуються для фізичного моделювання (Kuriakose et al., 2009a). У таблиці 1 наведено огляд рекомендованих резолюцій ЦМР та джерел спостереження за Землею для топографічного картографування та оцінки небезпек та елементів, що становлять ризик.

Таблиця 2.1 Джерела ЦМР для різних застосувань у різних масштабах

Застосування	Масштаб	По горизонталі (роздільна здатність)	По вертикалі (точність)	Джерела	
Топографічна зйомка	1:200.000	30 м.	1 м.	SRTM, АСТРА	Завантажити безкоштовно
	1:50.000	10-15 м.	1 м.	WorldDEM / Terra SAR-x, СПОТ 5	Похідні від ЦМР : Затінення пагорбів
	1:10.000	5 м. або <	1 м.	Аерофото, LiDAR Світогляд2 / GeoEye2	
	1:5.000 або більше	1 м.	1 - 0,5 м.	Аерофото, LiDAR	Контурні лінії / висота плям
- Моделювання повеней	1: 5.000 або більше	0,5 - 1 м.	0,5 м або <	LiDAR DTM/ DSM	Похідні від ЦМР: Аспект нахилу
Картографування зсувів	1:2.000 або більше	0,5 м. або <	0,5 м. або <	Лідар ДТМ	Форма / довжина схлу
Картографуванн я узбережжя	1:2.000 або більше	0,5 м. або <	0,5 м. або <	Лідар ДТМ	3-D візуалізація
Детальне картографування небезпек	1:2.000 або більше	0,5 м. або <	0,5 м. або <	Лідар ДТМ	
Картографуванн яризикив	1:2.000 або більше	0,5 м. або <	0,5 м. або <	Лідар DSM	Похідні від ЦМР: Висота та об'єм будівель

У разі наявності хмар на більш високих ділянках місцевості слід використовувати радіолокаційні джерела, такі як вільно доступні SRTM (роздільна здатність 30 м) або дорожчі дані WorldDEM, отримані з радарного датчика Terra-SAR-x (роздільна здатність 12 м). На нижніх ділянках, вільних від хмари, також можуть бути застосовані оптичні EO, такі як SPOT 5, WorldView-2

і GeoEye-2, стереоскопічні ЦМР з аерофотозйомки або точкові дані активної системи LiDAR.

DEM вважаються дуже значущими наборами геопросторових даних через універсальні можливості їх використання. Вони використовуються для орто-ректювання аерофотознімків, картографічних зображень, 3D-візуалізації, геоморфологічного, біогеографічного, гідрологічного та гідравлічного аналізу та моделей, управління водними ресурсами, аналізу ландшафтної динаміки, досліджень впливу клімату та клімату, геологічних застосувань, сільського господарства та застосування лісового господарства, палеогеографічного картографування, аналізу видимості, планування доріг та гребель, аналізу викидів, автоматичного аналізу.

3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ GOLDEN SOFTWARE SURFER ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

Golden Software Surfer – сучасний засіб для моделювання та аналізу поверхонь, візуалізації ландшафту, генерування сітки, розробки тривимірних карт та інших пов'язаних операцій. Потужні інтерполяційні функції програми перетворюють розрізнені дані на чудові поверхні найвищої якості.

Golden Software Surfer налічує багате розмаїття створюваних карт: ізоліній, векторів, вихідних даних, затіненого рельєфу та інших. Різні карти можуть накладатися одна на одну, дозволяють проводити математичні операції з цифровими моделями рельєфу.

Golden Software Surfer – потужна система створення тривимірних карт, моделювання та аналізу поверхонь, візуалізації ландшафту, генерування сітки та багато іншого. Продукт дозволяє створювати реалістичні 3D моделі з урахуванням освітленості та тіней, використовувати зображення місцевості у різних форматах, експортувати створені карти у різні графічні формати. Потужні інтерполяційні функції дозволяють створювати точні поверхні найвищої якості.

Основні можливості Golden Software Surfer:

1. Широкий набір дуже точних та продуктивних алгоритмів інтерполяції даних.
2. Можливість графічного представлення поверхні як у вигляді карти ізоліній так і у вигляді тривимірного зображення з фотографічною точністю.
3. Широкі можливості налаштування для отримання реалістичних, виразних зображень, включаючи розташування джерела світла, відносний градієнт нахилу, тип затінювання та колір, а також компонування різних зображень на одному екрані.

Набір допоміжних операцій із поверхнями:

1. Обчислення обсягу між двома поверхнями;
2. Перехід від однієї регулярної сітки до іншої;
3. Перетворення поверхні за допомогою математичних операцій з матрицями;
4. Розсічення поверхні (розрахунок профілю);
5. Обчислення площі поверхні;
6. Згладжування поверхонь з використанням матричних або сплайн-методів;
7. Перетворення форматів файлів та низку інших функцій.

Набір операцій із зображеннями:

1. Отримання зображення шляхом накладання кількох прозорих та непрозорих графічних шарів;
2. Імпорт готових зображень, у тому числі отриманих в інших додатках;
3. Використання спеціальних інструментів малювання

Таблиця 3.1 Сфери застосування програми Golden Software Surfer

Галузь	Приклади використання
Геологія	Моделювання геологічних розрізів, карт пластів, товщ геодинамічних
Гідрогеологія	Побудова карт рівнів ґрунтових вод, зон фільтрації
Геофізика	Обробка магнітних, гравіметричних даних
Екологія	Візуалізація забруднення ґрунтів, повітря, води
Геодезія	Обробка знімальних даних, побудова цифрової моделі рельєфу
Гірництво	Аналіз запасів, створення моделей родовищ

Цифрове моделювання рельєфу є важливим інструментом для ефективно оцінки та раціонального використання земельних ресурсів. Створення тривимірних (3D) моделей місцевості відіграє ключову роль у прийнятті проєктних рішень щодо планування територій, розміщення об'єктів інженерної

інфраструктури, а також у сфері ландшафтного дизайну. Використання комп'ютерної графіки для 3D-візуалізації кардинально змінює підходи до просторового планування та управління територіями.

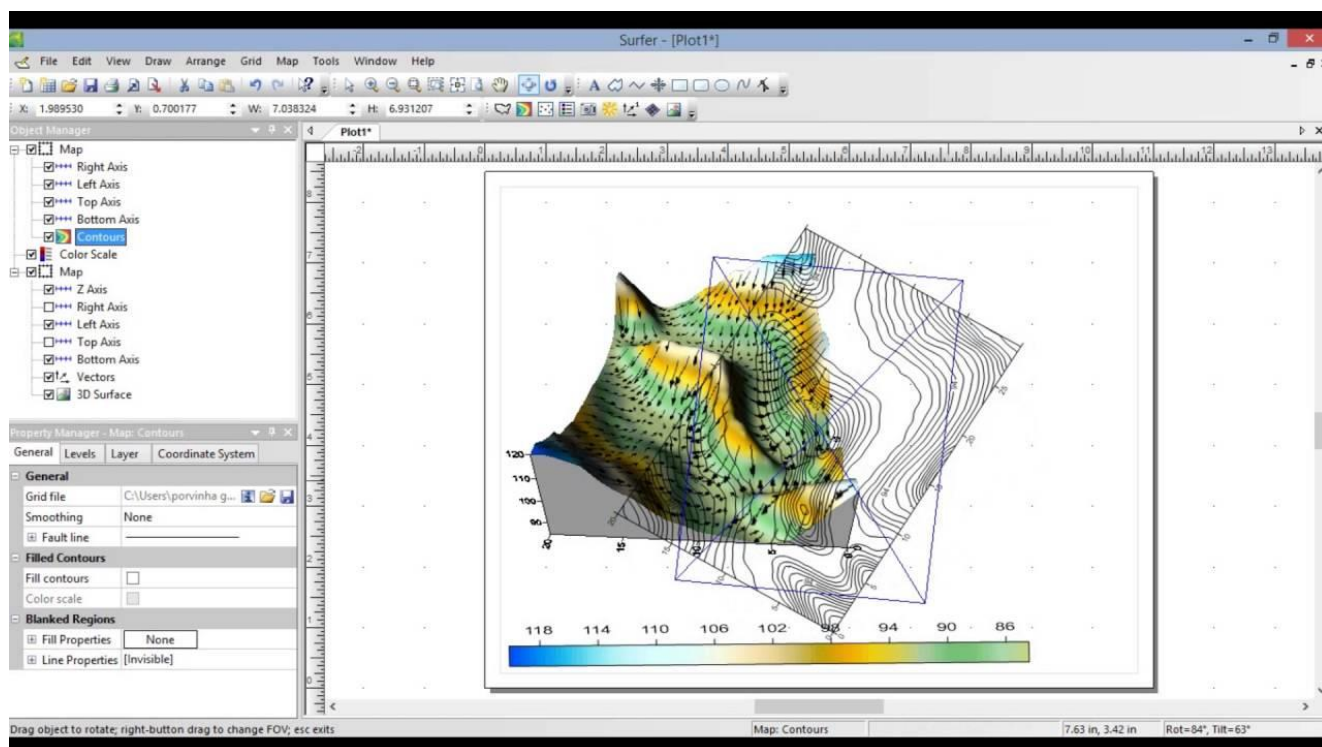


Рисунок 3.1 Програмний комплекс Golden Software Surfer

Основне призначення програми Surfer полягає в обробці та візуалізації двовимірних наборів даних, що описуються функцією виду $z = f(x, y)$. Робота з такими даними передбачає послідовні етапи: а) створення цифрової моделі поверхні; б) виконання додаткових операцій з цією моделлю; в) візуалізація отриманої поверхні. У процесі створення цифрових моделей та побудови карт застосовується цифрова модель рельєфу (ЦМР), що базується на логіко-математичній структурі та об'єднує множину опорних точок. Основними елементами ЦМР є прямокутні координати X та Y , а також висотні значення Z , які дозволяють обчислювати висоту будь-якої точки з заданою точністю за допомогою відповідного алгоритму. (таблиця 3.1)

Таблиця 3.1 Методи інтерполяції та екстраполяції Golden Software Surfer

1	Kriging, Minimum Curvature, Inverse Distance to a Power	Метод мінімальної кривизни
2	Natural Neighbor, Local Polynomial, Kriging	Природний сусід, локальний поліном, кригінг
3	Kriging, Modified Shepard Method, Radial Basis Function (Advanced Options... → Basis Function → Multilog)	Кригінг, модифікований метод Шепарда, радіальна базисна функція (Розширені опції... → Базисна функція → Мультилог)
4	Kriging, Local Polynomial, Radial Basis Function (Advanced Options... → Basis Function → Natural Cubic Spline)	Кригінг, локальний поліном, радіальна базисна функція (Розширені опції... → Базисна функція → Натуральний кубічний сплайн)
5	Minimum Curvature, Modified Shepard Method, Natural Neighbor	Мінімальна кривина, модифікований метод Шепарда, природний сусід
6	Kriging, Minimum Curvature, Modified Shepard Method	Кригінг, мінімальна кривизна, модифікований метод Шепарда
7	Kriging, Radial Basis Function, Triangulation with Linear Interpolation	Кригінг, радіальна базисна функція, триангуляція з лінійною інтерполяцією
8	Kriging, Modified Shepard Method, Inverse Distance to a Power	Кригінг, модифікований метод Шепарда, обернена відстань до потужності
9	Kriging, Natural Neighbor, Radial Basis Function (Advanced Options... → Basis Function → Thin Plate Spline)	Кригінг, Природний сусід, Функція радіального базису (Розширені опції... → Функція базису → Тонкий пластинчастий сплайн)
10	Kriging, Local Polynomial, Triangulation with Linear Interpolation	Кригінг, локальний поліном, триангуляція з лінійною інтерполяцією
11	Kriging, Minimum Curvature, Modified Shepard Method	Кригінг, мінімальна кривизна, модифікований метод Шепарда
12	Natural Neighbor, Kriging, Radial Basis Function (Advanced Options... → Basis Function → Multilog)	Природний сусід, кригінг, радіально-базисна функція (Розширені опції... → Базисна функція → Мультилог)
13	Local Polynomial, Kriging, Nearest Neighbor	Локальний поліном, кригінг, найближчий сусід
14	Kriging, Natural Neighbor, Polynomial Regression (Advanced Options... → Surface Definition → Cubic surface)	Кригінг, природний сусід, поліноміальна регресія (Розширені опції... → Визначення поверхні → Кубічна поверхня)
15	Kriging, Natural Neighbor, Polynomial Regression (Advanced Options... → Surface Definition → Quadratic surface)	ригінг, природний сусід, поліноміальна регресія (Розширені опції... → Визначення поверхні → Квадратична поверхня)

Розглянемо основні методи які будемо використовувати при моделюванні, а саме метод Triangulation with Linear Interpolation та метод кригінгу (Kriging)

Метод Triangulation with Linear Interpolation використовується для оцінки значень у невідомих точках, спочатку розбиваючи дані на трикутники, а потім застосовуючи лінійну інтерполяцію в межах кожного трикутника. Цей метод особливо корисний для моделювання поверхонь або полів, де точки даних розподілені нерівномірно. Перший крок передбачає створення тріангуляції точок даних, часто з використанням алгоритму тріангуляції Делоне.

Тріангуляція Делоне гарантує, що жодна точка даних не лежить всередині кола будь-якого трикутника, що допомагає мінімізувати трикутники і підвищити точність інтерполяції. Результатом є мережа трикутників, яка покриває область, що нас цікавить. Після завершення тріангуляції кожен трикутник являє собою площину, визначену трьома точками даних у його вершинах. Щоб оцінити значення в невідомій точці всередині трикутника, застосовується лінійна інтерполяція. Для цього потрібно знайти положення точки в трикутнику (використовуючи барицентричні координати), а потім обчислити інтерпольоване значення на основі значень у вершинах трикутника.

Формула лінійної інтерполяції в трикутнику базується на середньозваженому значенні значень у вершинах, де ваги визначаються барицентричними координатами.

Формула для лінійної інтерполяції на відрізку між двома точками:

$$x = x_1 + t * (x_2 - x_1)$$

$$y = y_1 + t * (y_2 - y_1)$$

$$f(x, y) = f(x_1, y_1) + t * (f(x_2, y_2) - f(x_1, y_1)),$$

де t - параметр, що змінюється від 0 до 1. Значення t відповідає відносному положенню точки на відрізку (наприклад, якщо $t=0$, то це перша точка, якщо $t=1$ - друга, якщо $t=0.5$ - середина).

Метод кригінгу (Kriging) - це геостатистичний метод інтерполяції, що використовується для оцінки невідомих значень у просторі на основі відомих даних з огляду на просторову кореляцію між ними. Він особливо корисний, коли потрібно створити гладку поверхню або карту на основі точкових даних, з огляду на те, що значення поблизу одне одного, імовірно, будуть більш схожими, ніж значення далеко одне від одного.

Кригінг припускає, що значення в просторі корельовані між собою, і що ближчі точки одна до одної, то сильніша кореляція. Метод використовує варіограму для моделювання цієї просторової залежності. Варіограма описує, як змінюється напівваріація між точками даних у міру збільшення відстані між ними.

Кригінг використовує інформацію з варіограми для привласнення ваг кожній точці даних під час інтерполяції значення в невідомій точці. Ближчі точки з більшою просторовою кореляцією отримують більшу вагу.

Формула кригінгу в загальному вигляді:

$$Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s),$$

де:

$Z(s)$ значення в точці s ;

$\mu(s)$ - детермінована функція, що представляє середнє значення в точці s , яка може бути константою або функцією координат;

$\varepsilon(s)$ - випадкова змінна, що представляє випадкову складову, пов'язану з просторовою мінливістю.

4. ПОБУДОВА ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Підготовка даних до створення grid-файл

Програма Surfer за замовчуванням сприймає перший стовпчик (A) як координату X, B - як Y, C - як Z (рис.4.1).

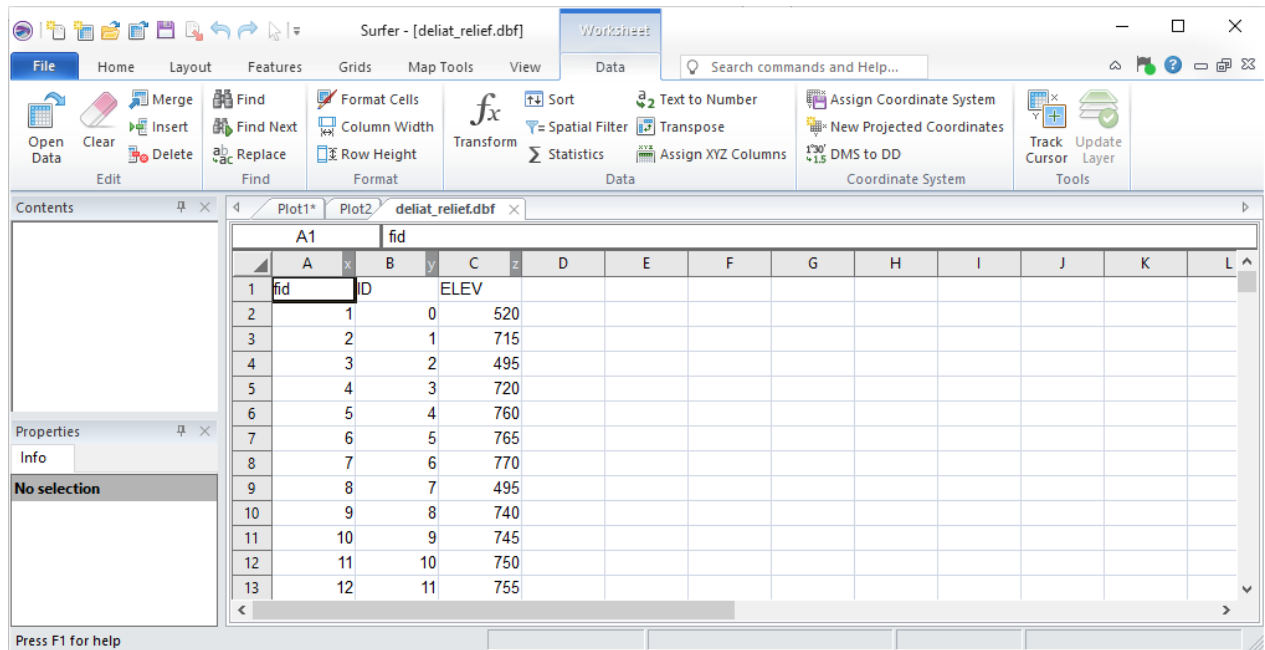


Рис. 4.1 Вікно електронної таблиці Worksheet із координатами.

Координати після введення зберігають в форматі даних : DAT Data (*.dat), TXT Text Data (*.txt), XLS Excel Spreadsheet (*.xls) тощо. Далі в меню File вибирають New | Plot, після чого Grid | Data. У діалозі Open Data, що відкривається, вибирають збережений файл із даними. У діалозі Grid Data необхідно вибрати координати X та Y (широта та довгота) та Z (абсолютна відмітка поверхні). (рис.4.2).

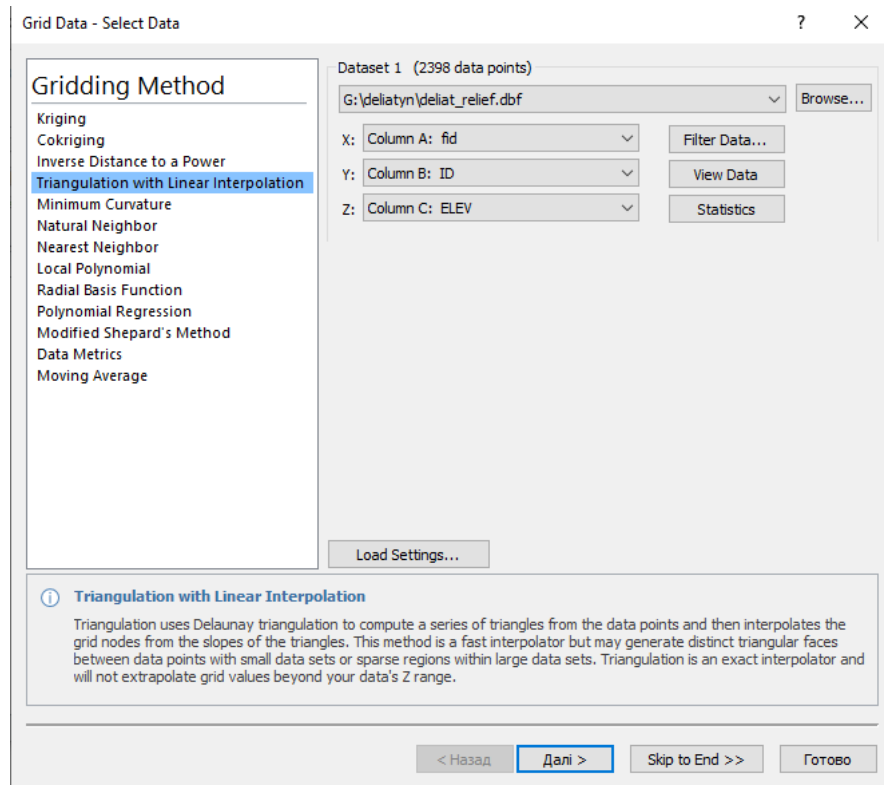


Рисунок 4.2 –Фрагмент діалогового вікна Grid Data підменю Data

У групі Gridding Method є 15 методів інтерполяції та екстраполяції даних, а саме (Inverse Distance to a Power, Kriging, Minimum Curvature, Modified Shepard Method, Natural Neighbor, Nearest Neighbor, Polynomial Regression, Radial Basis Function, Triangulation with Linear Interpolation, Moving Average, Data Metrics, Local Polynomial). Для моделювання будемо використовувати методи Kriging та Triangulation with Linear Interpolation. Після створення сіткового файлу перейдемо до побудови контурних карт. Щоб отримати контурну карт у меню Map вибирають Contour Map | New Contour Map. У діалозі Open Grid вибираємо сітковий файл. У результаті буде отримано карту ізоліній з використанням методу інтерполяції Triangulation with Linear Interpolation (рис.4.3) та Kriging (рис. 4.4).

Для коригування орієнтації підписів горизонталей, висоти перерізів необхідно клацнути двічі по отриманому зображенню у діалозі Property Manager - Map: Contours, щоб отримати доступ до параметрів General, Levels, Layer, Coordinate System.

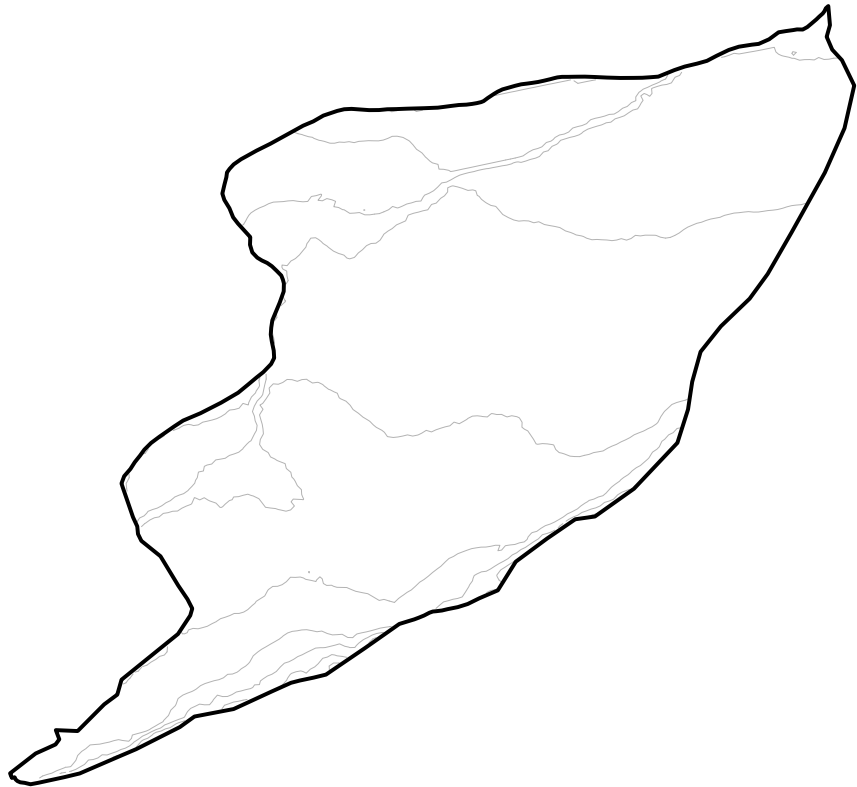


Рисунок 4.3 – Побудова контурної карти методом Kriging, для с. Заріччя.



Рисунок 4.4 – Побудова контурної карти методом Kriging, для Делятинської ОТГ.

Висота перерізу рельєфу встановлюється залежно від мінімальної та максимальної висоти на ділянці, та залежить від особливостей рельєфу. У нашому випадку для с. Заріччя січення ізоліній складає 5 метрів а для Делятинської ОТГ 25 м. (рис.4.5 та рис.4.6)

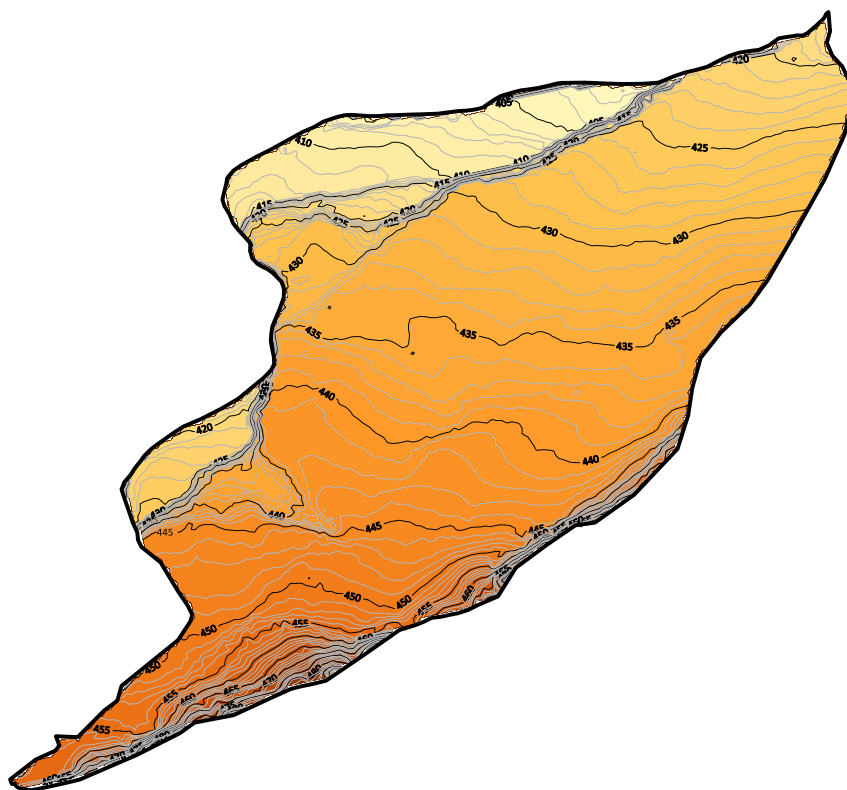


Рисунок 4.5 – Побудова контурної карти методом Kriging, для с. Заріччя з перерізом ізоліній 5 метрів.

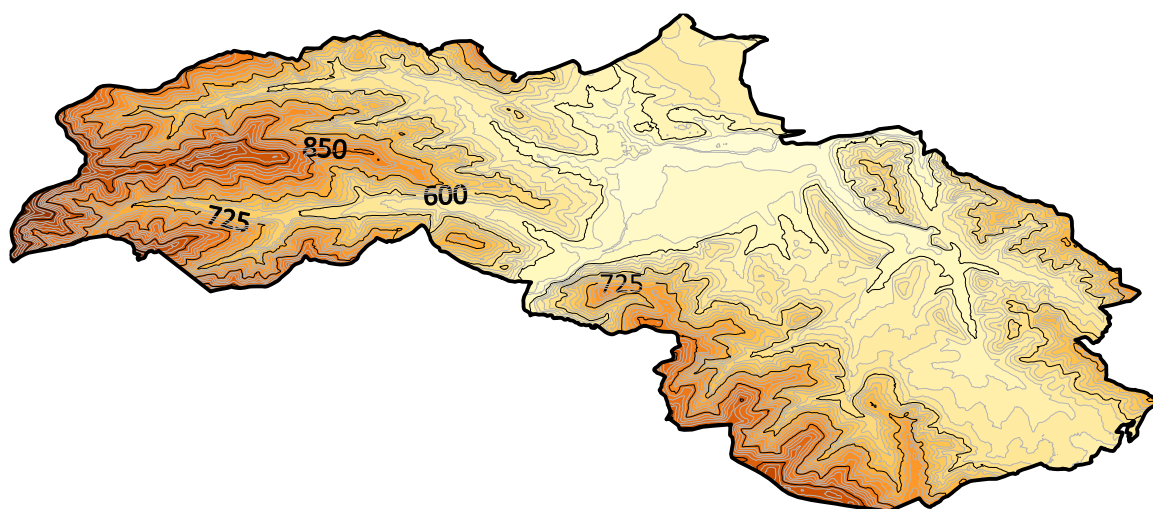


Рисунок 4.6 – Побудова контурної карти методом Kriging, для Делятинської ОТГ з перерізом 25 метрів.

4.2 Побудова векторних карт, 3D каркасів і поверхонь

Векторна карта (Vector Image) - складається зі спрямованих векторів, що показують напрямок та інтенсивність зміни координати Z . Для створення такої карти необхідно вибрати команди Map | New | 1-Grid Vector Map і відкрити сітковий файл . У результаті отримаємо векторну карту, побудовану за методом інтерполяції Kriging (рис. 4.7) та Triangulation with Linear Interpolation (рис. 4.8).

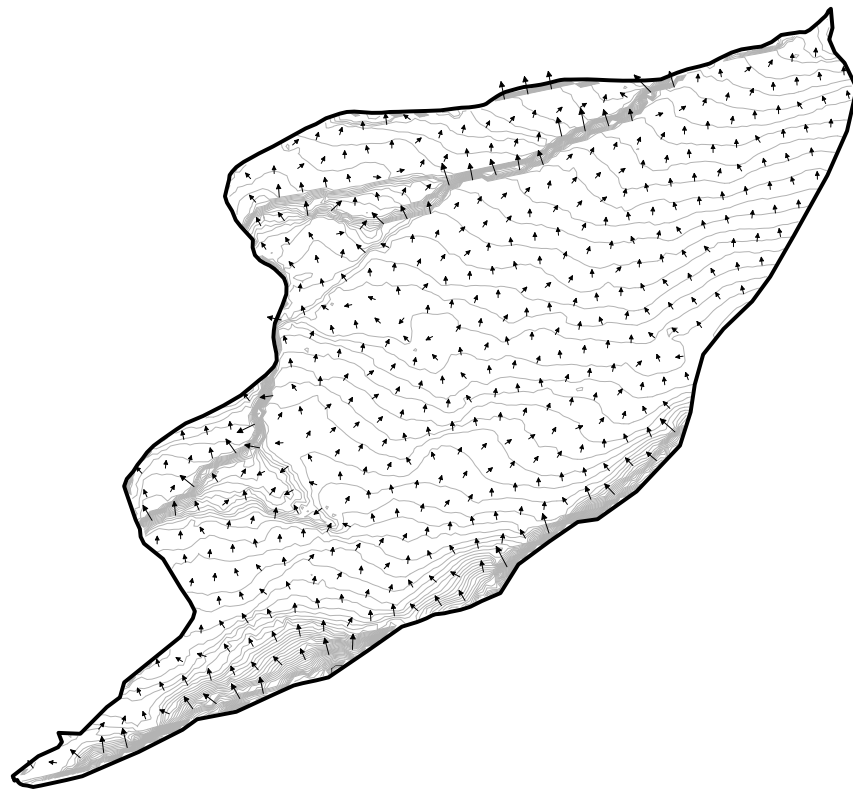


Рисунок 4.7 – Побудова карти векторів методом Kriging, для с. Заріччя з перерізом ізоліній 5 метрів.

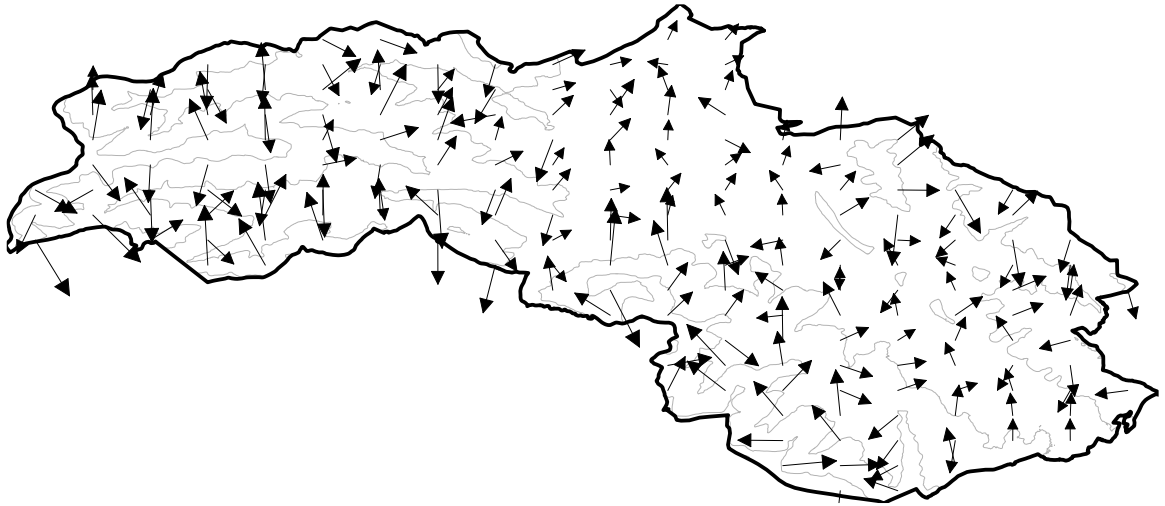


Рисунок 4.8 – Побудова карти векторів методом Kriging для Делятинської ОТГ з перерізом 25 метрів.

Для побудови тривимірного зображення рельєфу у вигляді каркаса (3D Wireframe) необхідно вибрати меню Map | New | 3D Wireframe, далі вказати grid-файл. У результаті буде отримано 3D каркасну карту, побудовану за методом інтерполяції Kriging. Наступним кроком є побудова 3D-моделі поверхні рельєфу (3D Surface) у вікні необхідно вибрати меню Map | New | 3D Surface, далі вказати grid-файл. У результаті буде отримано 3D поверхню рельєфу, побудовану за методом інтерполяції Kriging (рис. 4.9- 4.10).

3D Wireframe і 3D Surface можна обертати і повертати під найрізноманітнішими кутами. Для цього зображення потрібно виділити і натиснути кнопку Trackball на панелі інструментів, потім затиснути курсором зображення і рухати мишею до потрібного напрямку і кута повороту моделі.

У Surfer можна об'єднувати кілька карт в єдину карту (оверлей), наприклад, карту ізоліній з поверхнею. З включеними в оверлей картами виконуються операції як з єдиним об'єктом.

Вертикальний масштаб 3D-моделі можна збільшувати або зменшувати в Менеджері властивостей для об'єкта Map закладки Scale в опції Z Scale і рядку Length (page units).

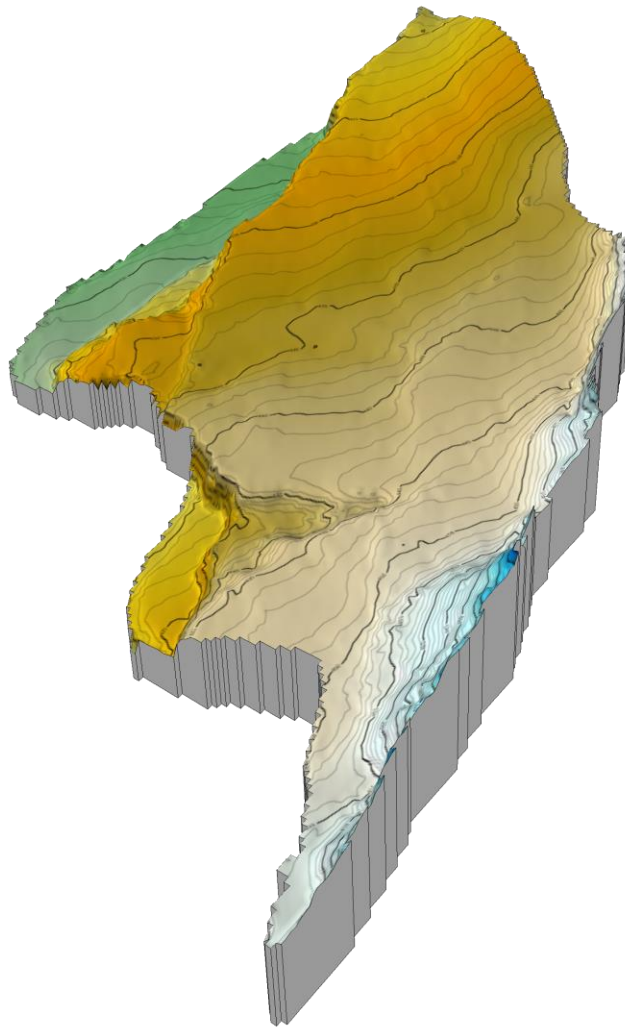


Рисунок 4.9 – Просторова модель рельєфу методом Kriging, для с. Заріччя з перерізом ізоліній 5 метрів.

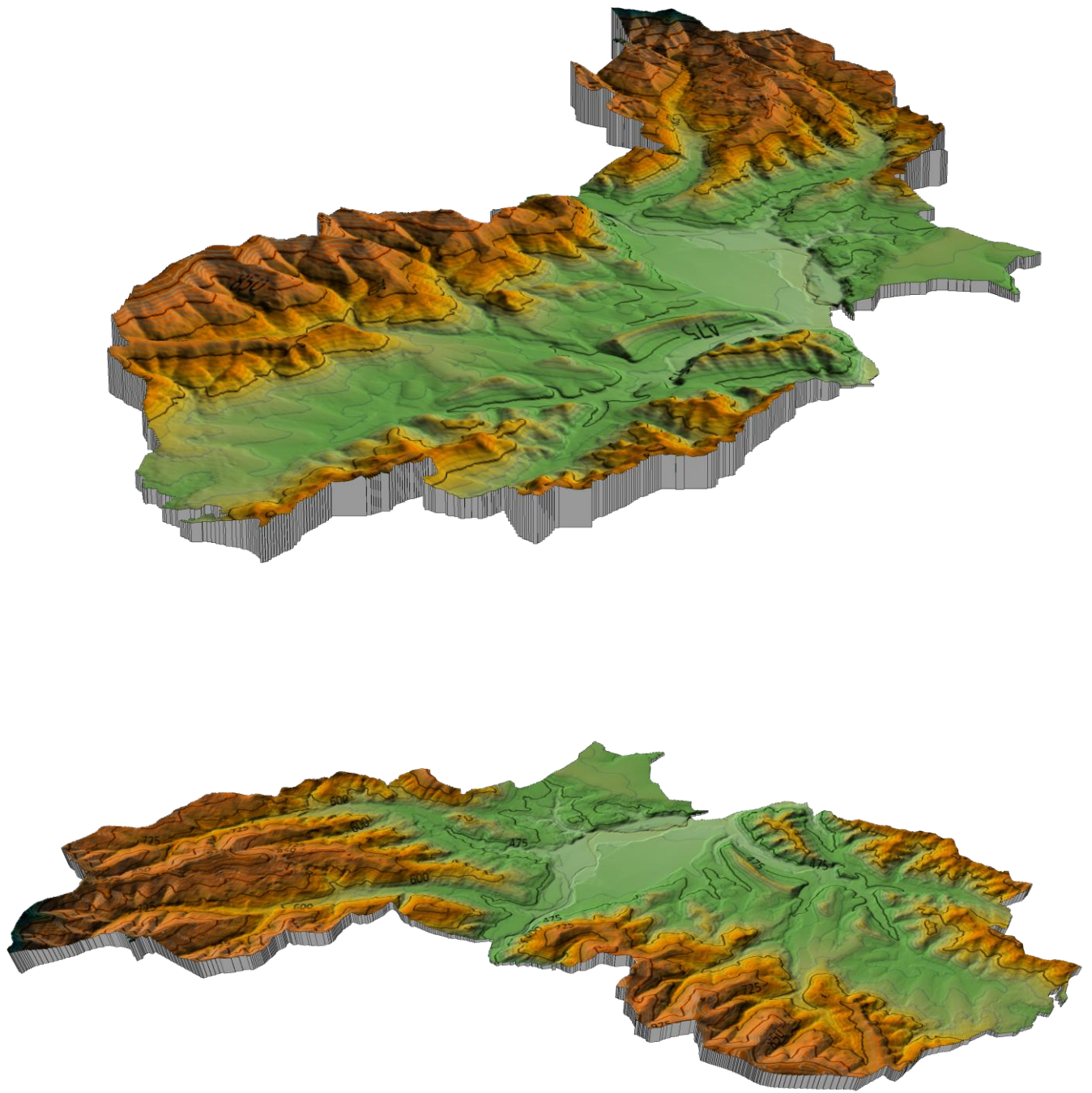


Рис. 4.10 – Просторова модель рельєфу методом Kriging, для
Делятинської ОТГ з перерізом ізоліній 25 метрів.

ВИСНОВКИ

Проведено детальний аналіз щодо ділянки дослідження. Встановлено що на території присутній складний рельєф із гірськими та передгірськими формами. Регіон має помірно континентальний клімат і розвинену річкову мережу, зокрема притоки р. Прут, що важливо для водогосподарських потреб і оцінки паводкових ризиків. Фізико-географічні особливості створюють сприятливі умови для просторового аналізу та побудови цифрових моделей рельєфу.

За результатами опрацювання теоретичної частини встановлено, що цифрові моделі рельєфу є ефективним інструментом для просторового аналізу та моделювання поверхні землі. В розділі розглянуто основні типи ЦМР, методи їх побудови (інтерполяційні, аналітичні, фотограмметричні, лідарні тощо), а також джерела вихідних даних, зокрема топографічні карти, супутникові знімки.

В роботі продемонстровано переваги програмного забезпечення **Golden Software Surfer**. Представлено широкий спектр методів інтерполяції, які дозволяють ефективно працювати з різними форматами просторових даних, будувати сітки висот і генерувати тривимірні зображення рельєфу.

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) є ключовим засобом для цифрового представлення та дослідження земної поверхні. Її створення дозволяє детально відтворювати геоморфологічні характеристики місцевості, що є надзвичайно важливим у геологічних, геофізичних, екологічних та інженерних дослідженнях. ЦМР застосовується для виявлення тектонічних порушень, оцінки крутизни схилів, прогнозування ерозійних процесів і зсувів, а також у гідрологічному моделюванні та визначенні зон потенційної небезпеки природного походження.

У ході побудови цифрових моделей рельєфу території дослідження було опрацьовано вхідні картографічні дані та застосовано різні методи інтерполяції для отримання просторових моделей з роздільною здатністю 5 та 25 метрів. В

результаті сформовано цифрові моделі рельєфу для Делятинської ОТГ та окремо для села Заріччя, що відображають особливості рельєфу досліджуваної місцевості. Отримані моделі дозволяють детально аналізувати морфологію поверхні та можуть бути використані для просторового планування, проектування інженерних об'єктів, оцінки ризиків природного походження та вирішення водогосподарських завдань.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Конгальтон, Р. Г. (1991). Огляд оцінки точності класифікацій даних дистанційного зондування Землі. Дистанційне зондування навколишнього середовища, 37, 35-46.
2. Безпалько Р. І. Основи землевпорядкування і землекористування. Навчальний посібник. Частина 1. / Р. І. Безпалько, В. Р. Черлінка – Чернівці : Рута, 2004. – 105 с.
3. Шевченко Р. Ю. Картографія: Електронний підручник / Шевченко Роман Юрійович. — К.: ЦНМВ «Кий», 2015. — 230 с.
4. Іщук О. О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС : Навчальний посібник / О. О. Іщук, М. М. Коржнев, О. Є. Кошляков – К. : ВПЦ «Київський університет», 2003. – 200 с.
5. Світличний О.О. Основи геоінформатики: навчальний посібник / О. О. Світличний, С. В. Плотницький – Суми : ВТД «Університетська книга», 2006. – 295 с.
6. Вдовина О.П. Геоінформаційна система GoldenSoftwareSurfer8 / ІФНТУНГ, 2008. – 66с.
7. Kazachenko L. M., Musinko I. V. (2018). Stagnation of GIS-technologies and robots of the tacheometer for reconstruction of the bridge structure. News of technologies in buduvnystvi. No. 35. K.: NDIBV, 41–47.
8. Perovich L. M., Perovich L. L., Martinyuk T. V., Peresolyak R. V. (2019). Prior to the nutrition of the rating of the index of quality to the root in the process of maintenance of automobile roads. Visnik KhNADU, vip. 86, Kh.:KhNADU, vol. II, 49–53..2013 No. 646.
9. Sella A., Dixon H., Mao A. (2002). REVEL: A model for Recent plate velocities from space geodesy. Journal of geophysical reserch, Louisiana, Vol. 107, No. B4, 93–108.

10. Tavernier G., Fagard H., Feissel M. (2006). The International DORIS Service. Genesis and early achievements. *Journal of Geodesy*, No. 80, 8–11, 403–428.
11. Rabus R. B., Eineder M., Roth A., Bamler R. (2003). The shuttle radar topography mission – A new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Photogrammetric Remote Sensory*, No. 57, 241–262.
12. The westward drift of the lithosphere: a rotational drag? (2006). [B. Scoppola, D. Boccaletti, M. Bevis et al.]. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, No. 2, Vol. 118, 199–209.
13. Rogister Y., Valette B. (2009). Influence of liquid core dynamics on rotational modes. *Geophysical Journal International*, No. 176(2), 368–388.
14. Romanowicz B., Dziewonski A. *Seismology and the Structure of the Earth*, 858 p.
15. Sella A., Dixon H., Mao A. (2002). REVEL: A model for Recent plate velocities from space geodesy. *Journal of geophysical research, Louisiana*, Vol. 107, No. B4, 93–108.
16. Spencer R. E. (1991). Very Long Baseline Interferometry: current status and future prospects. *Vistas in Astronomy*, Vol. 34, Part 1, 61–68.
17. Tavernier G., Fagard H., Feissel M. (2006). The International DORIS Service. Genesis and early achievements. *Journal of Geodesy*, No. 80, 8–11, 403–428