

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

До захисту допущено
В. о. завідувача кафедри
к.е.н., доцент
_____ Оксана МАЛАЩУК
« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Геодезія та землеустрій»
за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій»

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ

Науковий керівник:
_____ Дмитро СОПОВ

Рецензент:
_____ Юрій КИСЕЛЬОВ

Виконала здобувачка другого
(магістерського) рівня вищої освіти
денної форми навчання:
_____ Дар'я ЗАГОРЕВСЬКА

Засвідчую, що кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей і текстів інших авторів має посилання на відповідне джерело.

_____ Дар'я ЗАГОРЕВСЬКА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет геодезії, землеустрою та агроінженерії
Кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру
Освітній рівень другий (магістерський)
Освітня програма «Геодезія та землеустрій»
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. зав. кафедри _____ Фоменко В. А.
« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу
здобувач: Загоревська Дар'я Володимирівна

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Теоретичні та практичні аспекти формування цифрової моделі місцевості із застосуванням ГІС-технологій».
2. Керівник кваліфікаційної роботи: доцент Сопов Д. С., затверджений наказом по університету від « ____ » _____ 20 ____ р. № ____.
3. Строк подання роботи здобувачем « ____ » _____ 20 ____ р.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-методична література, періодичні видання, матеріали конференцій, растрова підоснова, дані знімань місцевості, інтернет джерела, картографічний матеріал (фондовий).
5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки кваліфікаційної роботи (орієнтовний перелік питань, які потрібно розробити):
 - 1) Теоретичні засади використання геоінформаційних систем у землевпорядкуванні;
 - 2) Практичні аспекти застосування ГІС-технологій у землевпорядному проектуванні;
 - 3) Розробка та реалізація ГІС-проєкту для землевпорядних завдань.
6. Перелік графічного матеріалу: слайди презентації.

7. Консультанти за розділами роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Перший розділ			
Другий розділ			
Третій розділ			

8. Дата видачі завдання « ____ » _____ 20__ р.

Календарний план виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Примітка
1	Розробка та написання першого розділу роботи		
2	Розробка та написання другого розділу роботи		
3	Розробка та написання третього розділу роботи		
4	Оформлення кваліфікаційної роботи в цілому		
5	Попередній захист роботи на кафедрі		
6	Захист кваліфікаційної роботи у ЕК		

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Дар'я ЗАГОРЕВСЬКА

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Дмитро СОПОВ

РЕФЕРАТ

Теоретичні та практичні аспекти формування цифрової моделі місцевості із застосуванням ГІС-технологій. Загоревська Д. В. Кваліфікаційна робота. ОДАУ. Кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру. 2025. 60 сторінок текстової частини, 26 рисунків, 36 джерел списку літератури, 16 слайдів презентації.

Об'єкт дослідження кваліфікаційної (магістерської) роботи – конкретна земельна ділянка, розташована на території Рокитнянського району Київської області. Саме ця територія була обрана для вивчення процесів моделювання місцевості з метою подальшого прийняття ефективних рішень у сфері землеустрою.

Предметом дослідження є процес розробки цифрових моделей місцевості (ЦММ), які є основою для прийняття обґрунтованих управлінських та планувальних рішень у сфері землевпорядкування з використанням сучасних геоінформаційних систем (ГІС).

Метою роботи є аналіз, дослідження та виявлення особливостей впровадження геоінформаційних технологій у процес створення цифрових моделей місцевості. Зокрема, визначено шляхи підвищення точності, надійності та ефективності цифрового моделювання на прикладі території Рокитнянського району.

Методи дослідження включають використання статистичних методів для збору первинних просторових даних, а також аналітичні прийоми їх опрацювання. У дослідженні застосовано методи ГІС-аналізу, моделювання рельєфу, просторову візуалізацію та порівняльний аналіз результатів.

Наукова новизна полягає в удосконаленні методичних підходів до застосування геоінформаційних технологій під час побудови цифрових моделей місцевості. Уперше для території Рокитнянського району реалізовано комплексний підхід до цифрового моделювання з використанням новітніх ГІС-технологій, що дозволило підвищити точність і якість просторового аналізу.

Практичне значення одержаних результатів визначається розробкою конкретних, науково обґрунтованих рекомендацій щодо застосування ГІС для моделювання місцевості в землевпорядних роботах. Застосування цих рекомендацій у практичній діяльності сприятиме удосконаленню процесів землеустрою, покращенню управління земельними ресурсами, а також підвищенню ефективності прийняття управлінських рішень на основі просторових даних.

Апробація. Окремі положення магістерського дослідження пройшли апробацію на Всеукраїнській науковій конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Біотехнологія, екологія, тваринництво та природокористування: сучасні виклики та забезпечення сталого розвитку» (11 листопада 2025 р., м. Харків):

1) Криштопова Н. А., **Загоревська Д. В.**, Сопов Д. С. Управління земельними ресурсами територіальних громад: виклики та шляхи подолання проблем. *Біотехнологія, екологія, тваринництво та природокористування: сучасні виклики та забезпечення сталого розвитку* : матеріали Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, 11 листопада 2025 р., Харків: Державний біотехнологічний університет, 2025. С. 115–119.

Ключові слова: ГІС-технології, цифрова модель місцевості, землеустрій, землевпорядне проєктування, SURFER, ARCGIS.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННІ	12
1.1. Основні напрями та сфери використання ГІС у системі землевпорядкування	12
1.2. Аналіз сучасного програмного забезпечення, що використовується для створення та впровадження ГІС у землевпорядних процесах	21
1.3. Візуалізаційні можливості геоінформаційних систем та принципи роботи з просторово-атрибутивними базами даних	29
РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ГІС- ТЕХНОЛОГІЙ У ЗЕМЛЕВПОРЯДНОМУ ПРОЄКТУВАННІ	32
2.1. Методичні підходи до використання геоінформаційних технологій у проєктуванні та організації територій	32
2.2. Технологічна послідовність переведення растрових матеріалів у векторний формат з використанням ГІС	35
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ГІС-ПРОЄКТУ ДЛЯ ЗЕМЛЕВПОРЯДНИХ ЗАВДАНЬ	41
3.1. Моделювання цифрової поверхні рельєфу з використанням TIN та побудова ізоліній	41
3.2. Порівняльний аналіз інтерполяційних методів у програмних середовищах SURFER та ArcGIS	44
3.3. Генерація та візуалізація профільних графіків у програмному середовищі ArcGIS	50
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Моделювання – це процес дослідження об’єктів навколишнього середовища шляхом створення моделей, які відображають їхні властивості, структуру та поведінку. У сфері землеустрою моделювання використовується для аналізу просторових характеристик територій, планування землекористування, оцінки стану земельних ресурсів тощо. Особливу роль у цьому процесі відіграють **геоінформаційні системи (ГІС)**, які забезпечують комплексний підхід до обробки, аналізу й візуалізації просторової інформації [26].

Модель – це фізичний або абстрактний об’єкт, що відтворює основні властивості досліджуваного явища чи предмета. У межах цифрового картографування та просторового аналізу, такими моделями можуть виступати **цифрові моделі місцевості (ЦММ)**, які описують форму рельєфу, особливості земної поверхні, гідрографію, мережу доріг тощо. ЦММ є основою для створення тематичних карт, зонування територій та моделювання природних або антропогенних процесів [27].

Персональний комп’ютер (ПК) є основним технічним засобом для створення, обробки та візуалізації цифрових моделей і карт. Зокрема, у професійній діяльності землеустрою широко застосовуються сучасні ГІС-програми, серед яких однією з найпоширеніших є **ArcGIS** – потужне програмне забезпечення, яке дозволяє здійснювати просторовий аналіз, будувати **цифрові моделі місцевості**, створювати шари атрибутивної інформації та інтегрувати різноманітні джерела геоданих [17].

Цифрова карта – це електронна форма відображення географічної або тематичної інформації у векторному чи растровому форматі. Вона створюється на основі геоданих, які зберігаються та обробляються в середовищі ГІС. Цифрові карти є базовим інструментом у проектуванні, аналізі та прийнятті рішень у галузі землеустрою, оскільки вони дозволяють ефективно

візуалізувати результати моделювання, забезпечити просторову точність та зручність редагування [26].

Геоінформаційна система (ГІС) – це інтегрована апаратно-програмна система, призначена для збирання, зберігання, аналізу, моделювання та візуалізації просторових (географічно прив'язаних) даних [22]. У сфері землеустрою ГІС забезпечує комплексне управління геопросторовою інформацією, дозволяє створювати цифрові карти, аналізувати територіальні зміни, моделювати сценарії розвитку територій та підтримувати прийняття рішень щодо раціонального використання земельних ресурсів [16].

Землеустрій – це система організаційно-правових, технічних та економічних заходів, спрямованих на раціональне використання та охорону земель, встановлення меж землеволодінь і землекористувань, проєктування територіальної організації сільськогосподарських і несільськогосподарських угідь [15]. У сучасних умовах ефективного здійснення землеустрою нерозривно пов'язане з використанням цифрових технологій, зокрема ГІС, що дає змогу створювати детальні просторові моделі територій, оцінювати якість земель та здійснювати моніторинг їх стану [10].

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій **автоматизація землеустрою** стала ключовим фактором підвищення ефективності, якості та оперативності виконання землевпорядних робіт. Використання комп'ютерної техніки, програмних рішень, а також новітніх методів обробки просторової інформації суттєво трансформувало підходи до планування та реалізації землеустрою, перевівши процеси в нову – **цифрову** – площину [8; 9].

Центральне місце у цій трансформації належить **геоінформаційним системам (ГІС)**, які забезпечують комплексне управління просторовими та атрибутивними даними, створення **цифрових моделей місцевості (ЦММ)**, побудову карт, проведення аналітичних розрахунків, візуалізацію змін території тощо. Застосування таких програм, як ArcGIS [17], дало змогу вирішувати не лише окремі технічні завдання, а й створювати інтегровані проекти з високою точністю і функціональністю [16].

Геоінформаційна система (ГІС) – це програмно-апаратний комплекс, який забезпечує збирання, зберігання, аналіз, відображення та оновлення просторової інформації про об'єкти на поверхні землі. ГІС поєднує в собі картографічні, кадастрові, статистичні та екологічні дані, що дозволяє реалізовувати багатofункціональні завдання в межах одного середовища [24].

Історично автоматизація землевпорядного виробництва в Україні пройшла кілька етапів:

✓ **Перший етап (1970-ті роки)** характеризувався автоматизацією обчислювальних процесів: формування техніко-економічного обґрунтування проектів, складання кошторисів, табличних розрахунків тощо. На основі заданих вихідних параметрів та нормативів за допомогою спеціалізованих програм на ПК виконувались автоматизовані розрахунки, зокрема: експлікації земель, баланси кормів і трудових ресурсів, оцінка родючості ґрунтів тощо.

✓ **Другий етап (1980-ті роки)** включав не лише автоматизацію розрахунків, а й змістовне проектування з використанням **економіко-**

математичних моделей. Застосовувалися оптимізаційні та імітаційні моделі, які дозволяли обґрунтовувати структуру землекористування з урахуванням економічних, екологічних та соціальних чинників [12].

✓ **Третій етап (1990-ті роки)** ознаменувався активним впровадженням **ГІС та систем автоматизованого проєктування**, зокрема ArcGIS [17], MapInfo, GeoMedia тощо. Саме в цей період з'явилась можливість створення повноцінних **цифрових моделей місцевості**, які стали базою для автоматизованого землеустрою. Поєднання графічної та атрибутивної інформації дало змогу створювати цифрові карти, автоматично формувати аналітичні звіти, проводити моделювання сценаріїв територіального розвитку [11].

Застосування **цифрових карт** у ГІС має низку переваг над традиційними паперовими носіями [13]:

- ✓ забезпечення високої точності даних, незалежної від людського фактору;
- ✓ можливість оперативного редагування, оновлення та обміну даними;
- ✓ просторовий аналіз (наприклад, пошук найкоротшого маршруту або виявлення територій з найкращими агрокліматичними умовами) [14];
- ✓ автоматичне створення картограм на основі статистичної інформації;
- ✓ пошук об'єктів за просторовим розташуванням або базою даних;
- ✓ можливість публікації в мережі Інтернет та друку на різних носіях;
- ✓ мінімізація простору зберігання та максимальна зручність візуалізації.

Розвиток геоінформаційних технологій значно посилив потребу в **цифрових кадастрах**, зокрема земельному [29]. Сьогодні ГІС застосовуються на всіх етапах – від польового збору інформації до створення фінальної землевпорядної документації. В умовах активної трансформації земельних відносин в Україні, що включає зміну форм власності, межування, перерозподіл ресурсів і розвиток ринку землі, **автоматизовані ГІС-рішення** стали не просто доцільними, а необхідними [21].

Світовий досвід показує, що ключовими вимогами до сучасного землеустрою є [11]:

- ✓ динамічне оновлення баз даних;
- ✓ взаємодія з іншими державними реєстрами;
- ✓ оперативна візуалізація будь-яких змін на місцевості;
- ✓ інтеграція з супутниковими та аерофотознімками;
- ✓ високий рівень просторової аналітики.

Завдяки своїм можливостям **ArcGIS** як один із провідних ГІС-продуктів дозволяє не тільки створювати **цифрові моделі місцевості**, а й проводити складний просторовий аналіз, будувати профілі, генерувати 3D-моделі, здійснювати багаторівневу класифікацію землекористувань, аналіз рельєфу, зони ризику тощо [12].

У підсумку, **впровадження автоматизованих та геоінформаційних технологій** у сфері землеустрою є не лише технологічною інновацією, але й стратегічною необхідністю, що визначає якість просторового планування, ефективність використання земельних ресурсів і прозорість управлінських рішень на різних рівнях [16].

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННІ

1.1. Основні напрями та сфери використання ГІС у системі землевпорядкування

Розробка автоматизованих систем у сфері землеустрою неможлива без активного впровадження геоінформаційних систем (ГІС) – спеціалізованих комп'ютерних технологій, які поєднують технічні засоби, програмне забезпечення та стандартизовані процедури для збору, зберігання, аналізу й візуалізації великих обсягів просторово прив'язаних графічних і текстових даних [11].

У структурі геоінформаційних систем ключову роль відіграють електронні карти та плани територій, створені на основі цифрових моделей рельєфу (ЦМР), які відображають тривимірне положення об'єктів у просторі. Просторові дані активно застосовуються в багатьох програмних засобах, зокрема в системах автоматизованого проєктування, таких як AutoCAD чи Surfer. Проте саме ГІС мають унікальні функціональні можливості, що дозволяють ефективно підтримувати широкий спектр управлінських завдань [16]. Зокрема, ці системи дають змогу не лише збирати нову інформацію та оновлювати наявні дані, а й здійснювати їх гнучке редагування, просторово-часовий аналіз, моделювання об'єктів та їх розміщення у географічному середовищі. Результати обробки можна представити як у цифровій формі (інтерактивні карти, діаграми, бази даних), так і в традиційному вигляді – **друкованих картографічних та аналітичних матеріалів [1].**

Історія розвитку геоінформаційних систем бере свій початок наприкінці 1960-х років, проте лише у 1990-х роках вони набули масового поширення. Це стало можливим завдяки інтенсивному розвитку обчислювальної техніки, здешевленню її компонентів, а також появі високопродуктивних периферійних пристроїв для введення, виведення та обробки просторової інформації.

Система введення даних складається з програмного модуля, який відповідає за прийом інформації, а також відповідних апаратних засобів: дигітайзерів (пристроїв для оцифрування), сканерів, що зчитують зображення у вигляді растрових файлів, електронних геодезичних приладів (тахеометрів, теодолитів, нівелірів), зовнішніх комп'ютерних систем та засобів введення, таких як клавіатура, миша і сенсорні екрани.

Будь-яка ГІС оперує двома типами баз даних: графічними та атрибутивними (тематичними) [24].

Графічна база даних включає цифрову картографічну основу системи – **електронні карти або плани з метричними параметрами** [1].

Атрибутивна база даних містить інформаційне наповнення карти та додаткові відомості, що пов'язані з просторовими даними, але безпосередньо не можуть бути відображені на карті (наприклад, описи території або дані, наведені у звітах і довідниках). Обидва види баз даних представлені у вигляді комп'ютерних файлів спеціального формату, для роботи з якими використовуються спеціалізовані програми – **системи управління базами даних (СУБД)**. Вони забезпечують пошук, сортування, додавання та редагування інформації, що зберігається на електронних носіях [16].

Система візуалізації відповідає за виведення на екран монітора карт, таблиць, схем та інших видів даних.

Система обробки та аналізу дає можливість структуровано групувати інформацію, виконувати її оцінку та проводити детальний аналіз великих обсягів даних.

Система виведення забезпечує подання різних даних у зручному для користувача форматі. До технічних засобів цієї системи належать плотери (графобудівники), принтери, мультимедіа-проектори та інші пристрої, які дозволяють створювати текстові і графічні документи, а також наочно демонструвати результати виконаної роботи.

Спочатку географічні інформаційні системи (ГІС) були створені для підтримки прийняття управлінських рішень, пов'язаних із вирішенням

різноманітних територіальних питань [16; 22]. Саме тому в країнах Європейського Союзу, США та Канаді їх перш за все впроваджували у міських адміністраціях. **Основні завдання, які вирішувалися за допомогою ГІС, включали [3; 26]:**

- ✓ картографування території;
- ✓ облік нерухомого майна;
- ✓ створення реєстрів нерухомості (земельних ділянок, будівель, споруд) з геоприв'язкою та визначенням точного розташування;
- ✓ перспективне та оперативне планування розвитку міст і районів, а також окремих територіальних комплексів шляхом розробки генеральних планів землекористування та охорони земель [4];
- ✓ дослідження стану природних ресурсів, оцінка екологічного стану територій і проведення еколого-економічного аналізу навколишнього середовища [2];
- ✓ отримання достовірних даних про розташування і експлуатацію доріг, інженерних мереж, об'єктів комунального господарства, а також про природні запаси корисних копалин;
- ✓ планування розміщення об'єктів виробничої та соціальної інфраструктури, організація поточного ремонту будівель і споруд, розробка маршрутів та розкладів руху громадського транспорту, оподаткування, інвестиційне планування, а також створення планів евакуації у надзвичайних ситуаціях;
- ✓ контроль стану комунального господарства, проведення моніторингу земель, а також контроль систем енергопостачання, теплопостачання, водопостачання тощо.

Таким чином, ГІС не тільки відкривала доступ до даних адміністративного характеру (розподіл власності, відомості про податки і збори, наявності комунальних мереж), але і дозволяла сформувати єдину систему просторово узгодженої інформації [27].

Сучасні географічні інформаційні системи (ГІС) можна умовно поділити на три основні категорії [22]:

✓ **Перша категорія** включає високопродуктивні системи відкритого типу, призначені для мережевого використання з широким набором програмних модулів [31]. Завдяки відкритості ці системи легко адаптуються під різні додаткові завдання, підтримують нові формати даних і забезпечують інтеграцію між різними додатками. До цієї групи належать, зокрема, ГІС від компанії Intergraph та система Frc/Info [26]. Вони мають функціональні блоки для оцифрування картографічних матеріалів у різних режимах, підтримують велику кількість зовнішніх пристроїв, здатних працювати в багатоканальному режимі, а також дозволяють налаштовувати меню й використовувати вбудовані мови програмування різного рівня складності (наприклад, C++ і Pascal) для створення користувацьких додатків [6].

✓ **Друга категорія** переважно включає також відкриті системи, орієнтовані на виконання масштабних завдань, найчастіше в сфері геодезії. Ці системи застосовуються для проведення різних вимірювань і обчислень, що забезпечують просторову прив'язку об'єктів до місцевості. Хоча їхній інтерфейс і можливості вводу інформації є менш розвиненими, вони є більш доступними за вартістю та ефективними для конкретних завдань. Прикладами таких систем є ProCart, FinGis, Gradis, Grical/Grivis System-9, які зазвичай встановлюють на потужних робочих станціях з необхідним периферійним обладнанням.

✓ **Третя категорія** включає менш потужні настільні ГІС, що працюють на звичайних персональних комп'ютерах. Вони мають обмежену або відсутню мережеву підтримку, а обсяги баз даних та швидкість обробки інформації в них значно менші [27; 31]. До цієї групи належать системи, такі як MapInfo, WinGis, ArcView, AtlasGis, GeoGraf тощо. Ці ГІС здебільшого використовуються для наукових, освітніх та довідкових цілей, а також для підготовки даних, які надалі можуть бути використані у більш потужних системах [19].

Розвиток автоматизованих систем земельного кадастру, різноманітних видів зйомок для обліку та оцінки земельних ділянок і пов'язаної з ними нерухомості, а також систем автоматизованого управління й картографування (АК) спричинив виникнення спеціалізованих земельно-інформаційних систем (ЗІС, англ. LIS), які широко застосовуються в процесі землевпорядних робіт [1].

Організація ефективного використання ріллі – основного продуктивного земельного ресурсу України – має базуватися на екологічно-ландшафтному підході, а також на використанні даних моніторингу і земельного кадастру [18]. Сучасне вирішення цих завдань можливе завдяки впровадженню геоінформаційних систем (ГІС), технологій автоматизованого проектування, а також геоінформаційних та експертних систем [33]. При цьому суттєво зростає роль і обсяг вихідної та нормативної інформації, що дає змогу максимально ефективно застосовувати сучасні комп'ютерні технології [20].

В умовах нових вимог особливо важливим стає теоретичне і методичне забезпечення організації та структурування території сівозмін із застосуванням комп'ютерних технологій, базованих на графічному землевпорядному проектуванні [8; 9].

Для землевпорядних досліджень географічні інформаційні системи (ГІС) відіграють ключову роль як інструмент збору, передачі, збереження, аналізу, відображення та подання інформації про території [27]. Зокрема, технології автоматизованого проектування у поєднанні з ГІС дають змогу акумулювати і використовувати просторово координовані дані, що стосуються конкретних територій, для цілей землевпорядного проектування [22].

Варто відзначити, що розвиток господарської діяльності ставить нові завдання у сфері організації землекористування [12]. Зокрема, в існуючих проєктах землеустрою не повною мірою враховуються матеріали внутрішньогосподарської оцінки ріллі, відсутні чіткі методики створення і застосування інформаційного забезпечення для систем автоматизованого проектування в землеустрої [11]. Також недостатньо розроблені принципи і методи формування землевпорядної системи автоматизованого проектування,

не удосконалені методичні основи виділення первинних територіальних ділянок на ріллі, відсутні методики визначення структури посівних площ на базі внутрішньогосподарської оцінки земель із використанням елементів автоматизованого проєктування, а також немає методичних положень для розрахунку економічної ефективності впровадження таких систем при організації використання ріллі та формуванні її територіальної структури [8; 9].

Запровадження нового земельного законодавства [10], різноманітність форм власності та користування землею, а також реорганізація господарських підприємств ставлять перед суспільством низку масштабних завдань з організації території. У зв'язку з цим виникла нагальна потреба в удосконаленні теоретичних основ і методів землеустрою з акцентом на застосування сучасних комп'ютерних технологій. Це є одним із пріоритетних напрямів розвитку землевпорядної науки та вдосконалення технологій виконання землевпорядних робіт.

Найкраще цим вимогам відповідає концепція географічної інформаційної системи, відомої як **«Глобальна база даних про природні ресурси Землі» (DRID)** [11].

Геоінформаційні системи інтегрують перевірені технології реляційних систем управління базами даних (СУБД) та висококласну комп'ютерну графіку для ефективного управління інформацією, що описує або стосується земної поверхні [16]. За допомогою ГІС можливо опрацьовувати різноманітні типи даних про об'єкти та характеристики земної поверхні – **координати, форми, просторові взаємозв'язки (просторова інформація), а також описові дані і числові показники (непросторова інформація)** [26]. Весь цей різноманітний масив інформації об'єднується в єдину логічну модель, а подальші інтерактивні графічні інструменти забезпечують управління даними, їх корекцію, створення запитів, аналіз і виведення результатів [24]. Таким чином, ГІС надають повний набір засобів для роботи з географічною та пов'язаною з нею інформацією.

Виходячи з викладеного, можна сформулювати таке визначення:

ГІС – це апаратно-програмні комплекси, які забезпечують збір, зберігання, обробку, візуалізацію та розповсюдження просторово скоординованих даних і пов'язаних з ними відомостей про конкретну територію. Вони призначені для ефективного застосування у вирішенні як наукових, так і практичних завдань, пов'язаних з інвентаризацією, аналізом, моделюванням, прогнозуванням та управлінням навколишнім середовищем, а також з освітніми цілями [16; 27].

ГІС знаходять застосування у широкому спектрі галузей, серед яких управління природними ресурсами, сільське господарство, ландшафтне планування, земельні інформаційні системи (кадастри), охорона навколишнього середовища і землекористування, екологія, аналіз надзвичайних ситуацій, використання міських територій, статистика і моделювання, лісове господарство, бізнес, транспорт, туристична індустрія, міське планування, геологія, освіта, охорона здоров'я тощо [12; 29].

Незалежно від типу просторової інформації або конкретної прикладної задачі, технологія ГІС має такі переваги [25]:

- ✓ інтегрована єдина модель даних спрощує керування різноманітною інформацією, усуваючи зайву роботу, що призводить до зниження кількості помилок і підвищення ефективності праці;

- ✓ наявність можливості формувати запити та аналізувати різні види просторових і непросторових даних дозволяє розв'язувати як прості, так і складні завдання, прогнозувати результати та перевіряти різні варіанти рішень, що при застосуванні традиційних методів часто буває економічно невигідно.

Основні вимоги до ГІС зазвичай охоплюють такі функції [6]:

- ✓ введення картографічної інформації за допомогою дигітайзерів, сканерів, цифрових фотокамер, миші, імпорт файлів із зовнішніх систем (включно з конвертацією форматів даних), а також напівавтоматичну інтерактивну векторизацію растрових зображень;

- ✓ управління картографічними базами даних, включаючи формування їх структури, підтримку зв'язків між картографічними й іншими об'єктами, оновлення, пошук і відбір даних;
- ✓ підтримка різних типів векторних і растрових шарів, поверхневих прошарків і тривимірних об'єктів;
- ✓ наявність вбудованої системної мови програмування, яка дає змогу користувачам створювати власні розрахункові програми, додатки, нові типи інформаційних шарів, забезпечувати прозорий доступ до інших баз даних і ГІС, а також змінювати інтерфейс системи;
- ✓ інтерактивне та пакетне перетворення систем координат, трансформація картографічних проєкцій на еліпсоїді та кулі, корекція зображень за опорними точками;
- ✓ виконання вимірювань (довжини, площі, периметри, характеристики форми об'єктів);
- ✓ побудова полігонів за певними умовами віддаленості та пошук найближчих сусідніх полігонів;
- ✓ операції над множинами картографічних об'єктів, такі як перетин, об'єднання, виключення;
- ✓ робота з графами (мережами), зокрема вибір оптимальних маршрутів;
- ✓ побудова і аналіз поверхонь на регулярних і нерегулярних сітках опорних точок;
- ✓ робота з картографічними даними в режимі віртуального приєднання, що дозволяє одночасну координацію безлічі територій із різними внутрішніми системами координат без дублювання інформації й втрати цілісності даних;
- ✓ формування архітектури геореляційних баз даних із багаторівневою вкладеністю територій, що забезпечує перехід від загального картографічного об'єкта до його великомасштабних подань;
- ✓ цифрова фотограмметрія та створення стереозображень на ПК, включно з усуненням геометричних спотворень, автоматичним формуванням цифрових моделей рельєфу в різних системах координат, лінійними

вимірюваннями, візуалізацією моно- і стереозображень із використанням анагліфічного методу та масштабуванням;

- ✓ генерація звітної документації, зокрема монохромних і кольорових карт із рамками, монтажем вставок різних масштабів і пояснювальних текстів;

- ✓ виведення графічної та текстової інформації на різні типи принтерів, плотерів, збереження у файлах та експорт у інші системи (включно з конвертацією форматів).

Інформація, з якою працюють геоінформаційні системи, складається з картографічної основи та відповідної бази даних [1]. Графічні дані вводяться в комп'ютер різними способами з різноманітних джерел. Для оцифрування карт або планів використовують метод «зняття координат» кожного об'єкта карти. Це трудомісткий і детальний процес, що потребує точності оператора і може супроводжуватися помилками. **Водночас існують відомі технології автоматизації цього процесу:**

- ✓ сканування картографічної основи, у результаті чого карта зберігається у растровому форматі – матриці, де кожен піксель відповідає певній точці;

- ✓ подальша оцифровка растрового зображення безпосередньо на екрані.

Залежно від ступеня автоматизації, програми для роботи з зображеннями на екрані поділяються на векторизатори та екранні редактори. Векторизатор виконує оцифрування автоматично, тоді як екранний редактор може замінити дигитайзер і є більш доступним за вартістю для використання в землепорядних установах.

Більшість потужних ГІС (GeoDraw, Microstation, MapEdit, EasyTrace, SpotLight, ArcInfo, Intergraph, Caddy та інші) містять спеціалізовані модулі для підтримки автоматизованого введення даних [27]. Проте ці системи коштують дорого і потребують потужного обладнання, тому багато користувачів застосовують більш доступні програми, наприклад AutoCAD, щоб знизити витрати на розробку систем автоматизованої оцифровки та їх додатків [25].

Для задач землеустрою надзвичайно важливо чітко визначити принципи формування банку даних об'єкта землевпорядного проєктування, враховуючи особливості інформації, що використовується, яка безпосередньо пов'язана з природними та антропогенними умовами конкретної території [11].

1.2. Аналіз сучасного програмного забезпечення, що використовується для створення та впровадження ГІС у землевпорядних процесах

У сучасних ринкових умовах виникає конкуренція, завдяки якій споживач отримує більш якісний товар за ту ж або нижчу ціну. Для провідних постачальників інструментальні ГІС вже стали стандартом – **вони постачають систему разом із цифровою картографічною основою регіону, де використовується продукт** [1]. Наведена раніше класифікація систем також стала реальністю. Ще близько десяти років тому функції автоматизованої векторизації та довідкових систем можна було реалізувати лише за допомогою потужних і дорогих інструментальних ГІС, таких як Arc/Info чи Intergraph [23].

Сьогодні прогресує тенденція до модульності систем, що дозволяє оптимізувати витрати під конкретний проєкт. Навіть пакети для окремих технологічних етапів, наприклад векторизатори, доступні у вигляді повних або скорочених наборів модулів, бібліотек символів тощо. Вітчизняні розробки виходять на рівень ринку, демонструючи конкурентоспроможність.

Кількість користувачів ГІС-технологій швидко зростає завдяки децентралізації бюджетного фінансування та розширенню сфер застосування [5]. Якщо до 2020 року основний ріст ринку був зосереджений на великих державних проєктах, то сьогодні головний потенціал переміщується до масового ринку. Це відповідає світовій тенденції: за даними дослідницької компанії Daratech (США), ринок ГІС для персональних комп'ютерів зараз зростає швидше за загальний ринок ГІС-рішень в 1,2–1,5 рази [23].

Такі продукти, як GeoDraw/GeoGraph, Sinteks/Tri, GeoCAD, EasyTrace, мають велику базу користувачів і вже володіють усіма ознаками повноцінного ринкового продукту з підтримкою. У державній геоінформатиці існує своєрідний критичний поріг – **близько п'ятдесяти встановлених інсталяцій**. Після досягнення цього рівня є два шляхи: **або стрімке зростання кількості користувачів, або вихід з ринку через неможливість забезпечити належну підтримку і розвиток продукту**. Цікаво, що всі згадані програми орієнтовані на нижній ціновий сегмент і забезпечують оптимальне співвідношення між ціною та функціональністю, що особливо актуально для російського ринку [24].

Географічні інформаційні системи (ГІС) своєю появою і розвитком багато в чому зобов'язані технологіям, що були спочатку створені для систем автоматизованого проєктування (САПР) [27]. Саме на базі цих передових інструментів у багатьох країнах, зокрема і в нашій, формувалися перші програмні продукти для роботи з просторовими даними [25]. І сьогодні велика частина користувачів продовжує активно застосовувати рішення, розроблені в рамках САПР, для виконання широкого спектра геоінформаційних завдань. Особливо вагомим прикладом таких систем є розширення АТІ (AutoCAD Toro Extension), яке інтегрується з AutoCAD [33]. Ці додатки не лише надають можливості для створення високоякісних графічних карт і схем, але й забезпечують взаємодію з атрибутивними базами даних, а також підтримують правильну топологію просторових об'єктів. Подібний функціонал реалізований і в окремих модулях системи CADdy, що підтверджує широку популярність і універсальність САПР-продуктів для геоінформаційної роботи [22].

Поряд з цими системами, важливе місце посідає програмне забезпечення Arc/Info, призначене для персональних комп'ютерів. Ця система сьогодні нараховує близько 320 інсталяцій в Україні, що свідчить про її значну популярність. Причини цього феномену можна пояснити з двох аспектів. По-перше, в нашій країні, на відміну від багатьох західних держав, основним типом обчислювальної техніки є персональні комп'ютери, що робить ГІС, орієнтовані саме на ПК, особливо затребуваними [26]. По-друге, Arc/Info

відома як одна з найбільш функціонально повних і гнучких ГІС-систем для ПК, що дозволяє вирішувати як прості, так і комплексні задачі аналізу, моделювання та управління просторовими даними [16]. Завдяки цим характеристикам вона продовжує утримувати лідируючі позиції серед програмних рішень для геоінформаційної роботи в нашій країні.

Таким чином, розвиток ГІС-технологій у нашому регіоні тісно пов'язаний із використанням і адаптацією САПР-продуктів, що забезпечує широкий функціонал і гнучкість у роботі з просторовими даними, а також зростаючим попитом на рішення, які можуть ефективно працювати на персональних комп'ютерах, що є основним інструментом для більшості користувачів [27]. Це дозволяє більш гнучко і економічно вигідно впроваджувати сучасні геоінформаційні технології у різних сферах діяльності [5].

Провідні світові програмні продукти у сфері ГІС, такі як MGE від компанії Intergraph або Atlas GIS від Strategic Mapping, займають відносно невелику частку вітчизняного ринку [19]. Це можна пояснити недостатньою активністю цих виробників у просуванні своїх рішень на локальному рівні, а також певними специфічними бар'єрами, пов'язаними з адаптацією та підтримкою їх продуктів для наших умов [34].

Наступну позицію на ринку посідає система Map/Info, яка налічує близько 250 інсталяцій і поставляється здебільшого безпосередньо виробниками. Вітчизняна ГІС-ПАРК від фірми «ЛАНЭКО» має близько 112 інсталяцій, що свідчить про певну популярність і впровадження локальних рішень. За вартісними показниками всі розглянуті інструментальні ГІС чітко поділяються на чотири основні цінові категорії [25].

До першої групи належать найдорожчі продукти – з вартістю понад 30 тисяч доларів. Вони призначені для роботи на потужних RISC-платформах під управлінням операційної системи Unix [26]. **Найяскравішим представником цього класу є повнофункціональна версія ARC/Info** – одна з найбільш потужних і ефективних ГІС, що підтримує розподілене зберігання даних, мультиплатформову архітектуру і містить широкий набір інструментів

географічного аналізу, включаючи спеціалізовані засоби просторового моделювання. Вартість таких систем включає всі робочі модулі, проте вона може бути знижена завдяки модульному підходу до комплектування [16].

Друга цінова категорія охоплює системи з вартістю від 4 до 30 тисяч доларів, серед яких представлені добре зарекомендували себе рішення для персональних комп'ютерів: CADdy, PC ARC/Info, PROCART, TNTmips, SPANS GIS, GIS ILVIS, а також деякі вітчизняні розробки, як CAD CREDO і Земля-Картина. Ці системи підтримують топологію, інтеграцію з атрибутивними базами даних, складні просторові запити, роботу з растровими підкладками та широкий спектр форматів імпорту і експорту [35].

До третьої групи (2,500–4,000 доларів) відносять так звані ГІС для широкого користувача – AutoCAD, MapInfo, ГІС-ПАРК, ІНФОСО, МОЄ, ArcCAD, WinGIS та інші. Характеристики цих систем дещо варіюються і загалом наближаються до другого класу, але кожна має певні обмеження за типами виконуваних операцій або функціоналом [19].

Четвертий ціновий клас, з вартістю меншою за 2,500 доларів, включає як самостійні системи, так і програмні розширення для вже існуючих продуктів, таких як AutoCAD. Прикладами є GeoDraw/GeoGraph, ADE-ATEAutoGIS (розширення для AutoCAD), Синтекс/Три, EPPL 7 [19]. Продукти цієї категорії мають спрощений функціонал, достатній для реалізації невеликих проєктів або обслуговування користувачів низового рівня у великих проєктах, працюючи паралельно з більш потужними ГІС або інформаційними базами [24].

Таким чином, ринок ГІС в Україні і регіоні демонструє широке розмаїття продуктів, які відповідають різним потребам і бюджету користувачів – від високопродуктивних комплексів для складних аналітичних задач до доступних і легких у використанні систем для повсякденних потреб та локальних проєктів. Така диференціація дозволяє максимально ефективно підбирати програмні рішення залежно від специфіки завдань, технічних можливостей і фінансових ресурсів організацій [21].

Існує широкий спектр програмних засобів для роботи з геоінформаційними системами, кожен з яких має свої унікальні особливості та можливості. **Розглянемо більш детально п'ять популярних рішень:** MapInfo Professional, ArcView, WinGIS 2000, GeoDraw, QGIS (Quantum GIS) [19; 30].

MapInfo Professional (рис. 1) – це одна з найпотужніших і водночас простих у використанні настільних картографічних систем для Windows, яка дозволяє вирішувати широкий спектр завдань у різних сферах діяльності. Вона підтримує інтеграцію з віддаленими базами даних, такими як Oracle8.0.x, DB2 і Informix, та має сумісність із Windows, що забезпечує зручний і вдосконалений інтерфейс користувача. Користувачі можуть створювати і редагувати високоякісні карти, використовуючи просторові дані, які постачаються разом із програмним забезпеченням. MapInfo відзначається легкою інтеграцією в інші додатки Windows, наприклад Excel, Access чи Word, а також має спеціальний анімаційний шар для відображення динамічних змін, що особливо корисно в системах спостереження за рухомими об'єктами. Крім того, є потужний модуль «Поверхня» для роботи з тривимірними поверхнями, ізолініями і триангуляцією Делоне. Важливою перевагою є розширена підтримка оцифровки з використанням драйверів Wintab та інструментів малювання без обмежень. Вітчизняна версія MapInfo доповнена новими утилітами, розробленими компанією «ЕСТІ МАП», які безкоштовно постачаються з оновленнями.



Рис. 1. MapInfo Professional

ArcView (рис. 2)– це одна з найпопулярніших у світі настільних ГІС, з понад 500 000 копій, що активно використовуються в різних країнах. ArcView відрізняється багатством функцій для створення електронних карт і просторового аналізу, які водночас прості у засвоєнні і застосуванні [26; 30]. Програма надає можливості для візуалізації даних із різних баз і легкого представлення результатів у вигляді друкованих карт високої якості чи інтерактивних зображень, що можуть містити діаграми, таблиці, фотографії та інші файли [24]. Останні оновлення додали покращене редагування, більш зручне управління даними і дружній інтерфейс Windows, а також інтеграцію з інструментами ArcCatalog і ArcMap для ефективної організації даних і їх обробки.



Рис. 2. ArcView

WinGIS (рис. 3), розроблений австрійською компанією Progis, – це трирівнева ГІС-система, яка перебуває у активній експлуатації з 1993 року і має версію 10.0, випущену у 2017 році. Працює на платформі Windows і поєднує простоту з потужним інструментарієм для картографування, просторового аналізу та створення промислових ГІС-проектів [3]. WinGIS та WinMAP мають спільне графічне ядро з широким набором функцій, що забезпечує зручність для картографів і спеціалістів із ГІС. Програма підтримує більшість популярних форматів баз даних, включаючи Microsoft Access, dBASE, FoxPro, Excel та Paradox [26]. Вона повністю локалізована, має звичний офісний

інтерфейс і легко налаштовується під конкретні завдання. Завдяки бібліотеці AxWinGIS користувачі можуть розробляти власні програми на різних мовах програмування (Visual Basic, Visual C, Delphi тощо), доповнювати стандартні функції та створювати унікальні рішення [19]. Можливість одночасної роботи з кількома проєктами у багатозадачному середовищі MDI робить цю систему зручною для користувачів, що працюють з великими обсягами даних.



Рис. 3. WinGIS

GeoDraw (рис. 4) – це ще одна система, яка також знаходить своє застосування у сфері геоінформаційного картографування, надаючи базові інструменти для створення карт і візуалізації даних, орієнтована на користувачів, які потребують простих і доступних рішень.



Рис. 4. GeoDraw

QGIS (Quantum GIS) (рис. 5) – вільна географічна інформаційна система, призначена для створення і використання картографії. Ця програма використовується багатьма урядовими і неурядовими організаціями для отримання необхідної інформації, що має територіальну прив'язку. Вільне розповсюдження програми стало запорукою її популярності серед бюджетних організацій, в яких часто спостерігається нестача грошових коштів.

Програмне забезпечення QGIS має ряд переваг навіть перед професійними дорогими геоінформаційними системами, серед яких виділяють [19]:

- по-перше, мультиплатформеність (можливість використання даних одночасно з різних програмних продуктів без конвертації);
- по-друге, можливість установки програми на різні операційні системи, в тому числі на Windows, MacOS, Linux і інші;
- по-третє, це можливість підвантаження космічних знімків з самих різних джерел.



Рис. 5. QGIS (Quantum GIS)

Таким чином, кожна з описаних систем має свій унікальний набір можливостей, які підходять для різних категорій користувачів – від тих, хто працює з великими і складними просторовими базами даних, до фахівців, що потребують легких і гнучких інструментів для виконання специфічних завдань

у галузі землеустрою, екології, управління природними ресурсами та інших сфер [16]. Вибір конкретної системи залежить від рівня складності завдань, необхідного функціоналу, а також технічних і фінансових можливостей користувача.

1.3. Візуалізаційні можливості геоінформаційних систем та принципи роботи з просторово-атрибутивними базами даних

Геоінформаційні системи (ГІС) володіють широким спектром візуалізаційних функцій, які забезпечують зручну та ефективну роботу з просторовими даними, поєднуючи в собі можливості потужних графічних редакторів і сучасних баз даних. Завдяки цьому користувачі можуть створювати, редагувати та аналізувати картографічні матеріали високої якості [25].

Система підтримує введення графічної інформації різними способами: шляхом оцифровки растрових зображень і використанням дигітайзера. При цьому процес оцифровки супроводжується можливістю динамічного додавання атрибутивних даних до кожного введеного об'єкта, що підвищує точність і комплексність формування просторово-атрибутивної бази.

Для роботи з растровими зображеннями підтримуються всі основні формати – **bmp, psx, jpg, gif, tif**, а також власний оптимізований формат Progis Raster Image (*.PRI), який значно прискорює завантаження великих файлів (понад 200 Мб) – усього за 2-3 секунди, що особливо важливо при роботі з детальними картографічними матеріалами [1].

Інтегрований модуль OmegaTool надає можливість попередньої геоприв'язки растрових зображень за допомогою опорних точок із застосуванням поліноміальних або афінних перетворень. Після початкового завантаження зображення може бути точно прив'язане та додатково трансформоване з використанням методу Гельмерта, що гарантує високий рівень точності просторових даних.

Щодо векторної графіки, система дозволяє працювати з різними типами об'єктів: точками (символами), полілініями, полігонами, колами, дугами та текстовими елементами. Через вікно «Властивості об'єктів» можна швидко редагувати параметри як окремих, так і множинних об'єктів одночасно, що значно спрощує процес картографування [3].

Графічні дані організовані у вигляді шарів із можливістю їх групування. Кожному шару чи групі можна присвоювати власні атрибути – **стиль лінії, тип штриховки, параметри відображення тощо**, що дозволяє гнучко налаштовувати візуалізацію карти відповідно до поставлених завдань.

Система оснащена потужним редактором умовних знаків – **як крапкових, лінійних, так і площинних**. Користувачі можуть створювати символи будь-якої складності, комбінуючи растрові, векторні та текстові елементи. Такі символи можуть застосовуватися як заповнювачі для площинних об'єктів, виконуючи функцію штриховок. Універсальний редактор ліній і штриховок дозволяє створювати практично будь-які типи ліній, що значно підвищує якість і виразність картографічних матеріалів [6].

Важливо, що умовні знаки та штрихування можуть бути як масштабованими (змінюють розмір залежно від масштабу карти), так і фіксованими, що розширює можливості дизайну та адаптації картографічних елементів [1].

Для зручності обміну символікою передбачений спеціальний менеджер, який дозволяє легко імпортувати, експортувати та обмінюватися бібліотеками умовних знаків, а також підключати зовнішні бібліотеки з файлів.

Внутрішня база даних системи відрізняється простотою та швидкістю роботи. Вона забезпечує:

- ✓ зв'язок графічних об'єктів з атрибутивною інформацією;
- ✓ ведення таблиць для кожного шару з необмеженою кількістю колонок;
- ✓ автоматичну перевірку відповідності між графічними об'єктами і записами в таблицях;

- ✓ зручне редагування даних;
- ✓ базові функції автозаповнення полів;
- ✓ імпорт та експорт даних у різні формати.

Завдяки використанню бібліотеки AxCWinGIS користувачі можуть підключати зовнішні бази даних до свого проєкту, що значно розширює можливості інтеграції та обробки інформації [19].

Окрім того, ГІС надає можливість зіставлення графічних об'єктів з різноманітними документами, а також графічними та мультимедійними файлами. Це здійснюється у поєднанні з програмним забезпеченням для перегляду та обробки таких файлів, що робить систему комплексним інструментом для управління інформацією та її візуалізації [16].

Сучасні ГІС не обмежуються лише простим відображенням картографічної інформації. Вони забезпечують багатошарове, гнучке і високотехнологічне візуальне представлення, що є важливим для прийняття рішень у різних сферах: від землекористування до екологічного моніторингу і містобудування [6]. Інтеграція атрибутивних даних безпосередньо у візуалізацію дозволяє створювати повноцінні аналітичні моделі територій, де просторові характеристики переплітаються з якісною інформацією про об'єкти. Застосування високошвидкісних алгоритмів трансформації та прив'язки зображень гарантує точність геопросторових даних, що є критично важливим для успішного впровадження геоінформаційних технологій у практику [13].

Також варто підкреслити роль модульності і розширюваності таких систем – **можливість підключення зовнішніх баз даних, створення власних додатків і інструментів відкриває широкі перспективи для адаптації ГІС під конкретні завдання користувачів, підвищуючи їхню продуктивність і якість аналітики** [24].

Це робить ГІС не лише інструментом візуалізації, а й ефективною платформою для прийняття рішень, що базуються на глибокому аналізі просторової та атрибутивної інформації.

РОЗДІЛ 2. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ У ЗЕМЛЕВПОРЯДНОМУ ПРОЄКТУВАННІ

2.1. Методичні підходи до використання геоінформаційних технологій у проєктуванні та організації територій

Для ефективного проведення землеустрою в межах новостворених адміністративних територій важливо застосовувати геоінформаційні технології (ГІС) не лише на окремих етапах, а як наскрізний інструмент, що супроводжує увесь процес – від етапу збору вхідних матеріалів до формування остаточного проєкту. ГІС-технології дозволяють забезпечити високу якість просторових даних, їх аналіз, оновлення та візуалізацію, що особливо важливо при територіальній реорганізації [5].

Головною метою такого проєкту є створення актуальної цифрової картографічної бази, яка забезпечить можливості глибокого просторового аналізу та подальшого використання даних у сфері землеустрою [1]. З цією метою насамперед необхідно провести збір та гармонізацію наявних картографічних матеріалів, які часто були створені в різний час, із застосуванням різних методів і мають різний ступінь точності [8; 9]. Така фрагментованість даних часто спричиняє труднощі при їх цифровій обробці: невідповідність координат, відсутність єдиної геодезичної основи, дублювання меж та контурів, помилки оцифрування [6].

Особливо гостро постає проблема точності просторових об'єктів. Оскільки межі землекористувань і контури угідь мають бути узгодженими між собою, будь-яка похибка в одному з елементів призводить до каскадного спотворення суміжних ділянок [12]. Зафіксовані випадки, коли при створенні цифрової карти на основі застарілих паперових джерел, спотворення перевищували 20–30 метрів. Це зумовлено як похибками первинної геодезичної зйомки, так і низькою якістю нанесення на графічні носії (наприклад, на лавсан). Тому без попереднього узгодження та приведення усіх джерел до

єдиної координатної системи (з використанням трансформацій і редагування) подальше створення цифрової моделі є неможливим або невиправданим [13].

Для уточнення таких ділянок доцільно проводити додаткову геодезичну зйомку або використовувати сучасні методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), зокрема аерофотознімання, супутникову зйомку високої точності або ортофотоплани [7]. Проте ці методи є ресурсозатратними, тому на підготовчому етапі ефективною альтернативою є використання безкоштовних джерел просторових даних, як-от матеріали **SAS Planet** (рис. 6), **Google Earth** (рис. 7) або **Bing Maps** (рис. 8). Хоча ці дані мають координатну прив'язку (зокрема у WGS-84), основним недоліком є їх не завжди відома актуальність.



Рис. 6. SAS Planet

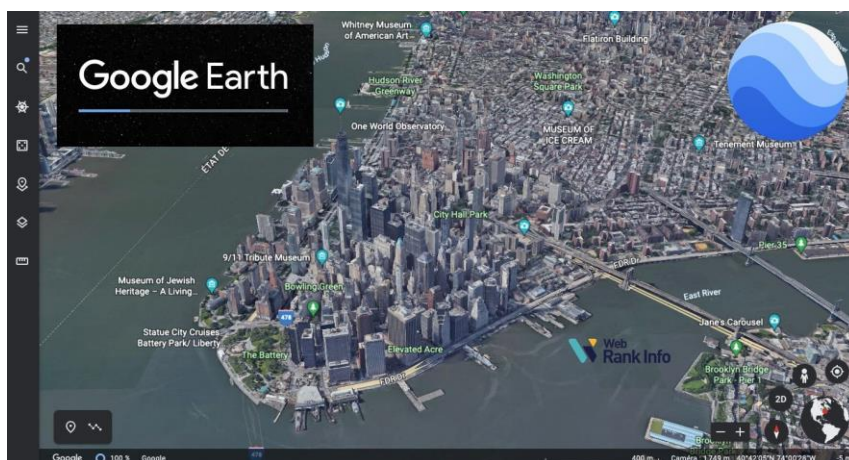


Рис. 7. Google Earth



Рис. 8. Bing Maps

Після об'єднання та уніфікації вихідної картографічної інформації необхідно створити векторну базу даних – **основу для формування повноцінної ГІС**. Для цього застосовується спеціалізоване програмне забезпечення (наприклад, ArcGIS [17; 28], QGIS, MapInfo), що забезпечує підтримку багат шарових картографічних структур, обробку супутникових зображень, трансформацію координат, створення топології об'єктів, а також інтеграцію просторової інформації з атрибутивними даними. Векторні шари (межі ділянок, контури угідь, об'єкти інфраструктури) супроводжуються атрибутами (кадастровий номер, цільове призначення, форма власності тощо), що дозволяє реалізовувати складні просторові запити та проводити тематичне картографування [3].

Ключовою перевагою ГІС є здатність до регулярного оновлення даних. При наявності актуальної растрової підкладки, можливо здійснювати редагування наявної векторної бази. Більшість сучасних ГІС підтримують інтеграцію з онлайн-геопорталами, підключення WMS/WFS сервісів, що забезпечує доступ до актуальних шарів просторової інформації (наприклад, публічні кадастрові карти, дані супутникового моніторингу, відкриті реєстри) [20].

Результатом роботи є побудова локальної **інфраструктури просторових даних (ІПД)**, яка може стати основою для подальшого розвитку Веб-ГІС або публічного геопорталу. Така система дозволяє надавати відкритий або

обмежений доступ до просторових даних учасникам процесу: органам влади, громадам, землевласникам, інвесторам [26]. Проте створення повноцінної Веб-ГІС часто потребує додаткових фінансових ресурсів на серверне обладнання, захист даних, адміністрування, що може бути обмежуючим чинником [21].

У контексті земельного адміністрування гостро стоїть питання створення та ведення кадастрів – **земельного, водного, лісового тощо**. Вони є основою для оцінки природних ресурсів та забезпечення контролю за їх використанням. ГІС у цьому процесі виступає незамінним інструментом, що забезпечує не лише картографування, але й облік, аналіз та прийняття управлінських рішень [1].

Однак ефективність застосування ГІС часто стримується низкою факторів: обмеженим доступом до якісних вихідних матеріалів, відсутністю або недоступністю точних ортофотопланів, фрагментарністю геодезичної мережі [27]. Для подолання цих проблем доцільно розробляти нові опорні геодезичні мережі з використанням сучасних засобів GPS/ГНСС та електронних тахеометрів. Ідеальним варіантом є використання комплексного підходу, коли всі польові дані збираються, перевіряються та обробляються безпосередньо в полі за допомогою портативних комп'ютерів [25]. Це дозволяє оперативно усувати помилки, формувати цифрову модель місцевості (ЦММ), а при необхідності – **цифрову модель рельєфу (ЦМР)**.

Підсумовуючи, можна зазначити, що ГІС-технології є фундаментальним інструментом для проведення сучасного землеустрою, забезпечення просторового аналізу, підтримки прийняття рішень і ефективного управління територіальними ресурсами [5]. Незважаючи на наявні виклики, перспективи впровадження ГІС у цю сферу залишаються надзвичайно високими.

2.2. Технологічна послідовність переведення растрових матеріалів у векторний формат з використанням ГІС

Аналітичний потенціал сучасних інструментальних геоінформаційних систем є надзвичайно широким та різноманітним. У складі модулів, що

відповідають за аналітику в ГІС-програмному забезпеченні з розвинутими функціональними можливостями, передбачено десятки процедур просторового та часово-просторового аналізу і моделювання. Разом вони формують потужний інструментарій для вирішення комплексних задач у сфері просторових досліджень [24].

Варто зазначити, що більшість сучасних ГІС-платформ містять подібні або навіть ідентичні за суттю алгоритми аналітичної обробки, що дозволяє розглядати методи просторового аналізу без жорсткої прив'язки до конкретного програмного продукту. Такий підхід надає змогу зосередитися на принципах і можливостях самого ГІС-аналізу як одного з ключових елементів функціонування геоінформаційних технологій [8].

У межах даного дослідження проілюстровано застосування програмного середовища **Surfer 8.09 RUS Portable** для обробки картографічних матеріалів. Також здійснено цифрову обробку растрових зображень та трансформацію даних із використанням функціоналу **ArcGIS версії 10.5**, що дало змогу ефективно поєднати методи візуалізації з просторовим аналізом [17].

Програмне забезпечення Surfer (рис. 9) є потужним інструментом для створення тривимірних картографічних моделей, моделювання та аналізу поверхонь, візуалізації рельєфу місцевості, а також для побудови регулярних сіток інтерпольованих значень. Дана система широко використовується у геології, геодезії, екології, ґрунтознавстві та інших просторово орієнтованих дисциплінах. Однією з ключових переваг Surfer є можливість формування реалістичних 3D-моделей з урахуванням ефектів освітлення та тіней, що значно підвищує наочність і точність представлення даних. Програма підтримує імпорт підкладок у різноманітних растрових і векторних форматах, а також забезпечує збереження результатів у широкому спектрі графічних форматів. Додатковою перевагою є можливість високоякісного кольорового друку з масштабуванням до 50 метрів по діагоналі. Інструменти інтерполяції, вбудовані в Surfer, дозволяють створювати високоточні моделі поверхонь з урахуванням складної просторової варіативності значень.

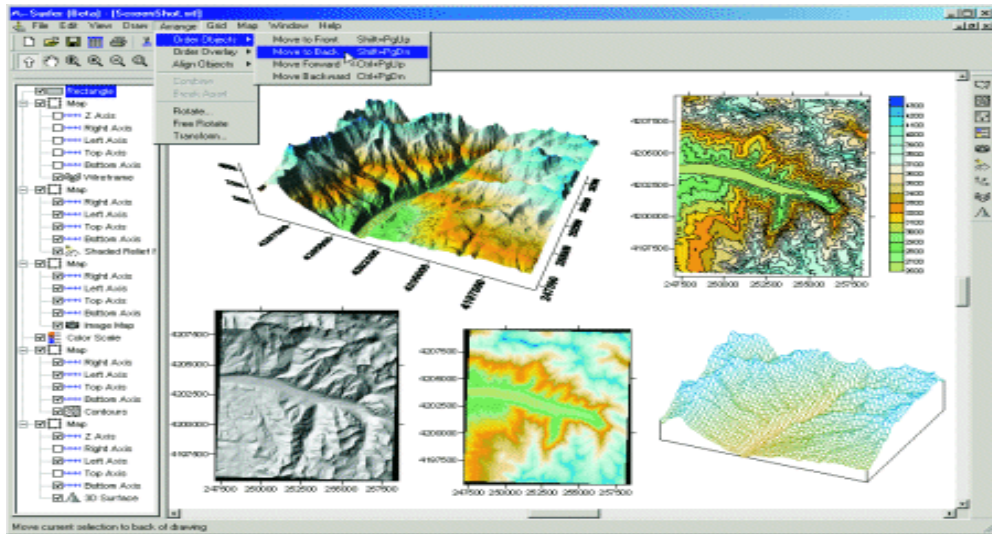


Рис. 9. Програмне забезпечення Surfer

ArcGIS – це багатофункціональна геоінформаційна система, яка забезпечує комплексну обробку, аналіз, візуалізацію та зберігання просторових даних [17]. Програмне середовище ArcGIS дозволяє ефективно працювати з великими масивами статистичної та географічної інформації, що має координатну прив'язку. За допомогою ArcGIS користувачі можуть створювати і редагувати карти будь-якого рівня деталізації: від кадастрових планів земельних ділянок до інтерактивних глобальних карт [28]. Система забезпечує потужні інструменти для тематичного картографування, просторового аналізу, моделювання потоків, зонування територій, побудови буферних зон, аналізу взаємного розташування об'єктів тощо [3; 7]. Крім того, ArcGIS підтримує інтеграцію з численними базами даних, цифровими моделями рельєфу, а також сумісність з іншими програмними продуктами, що робить її універсальним інструментом у сфері геоінформаційних технологій [19].

Щоб розпочати процес оцифрування картографічного матеріалу, насамперед потрібно завантажити відповідне растрове зображення карти до бази даних за допомогою середовища ArcGIS [17]. Для цього слід відкрити компонент ArcCatalog і здійснити імпорт необхідного растра (рис. 10).

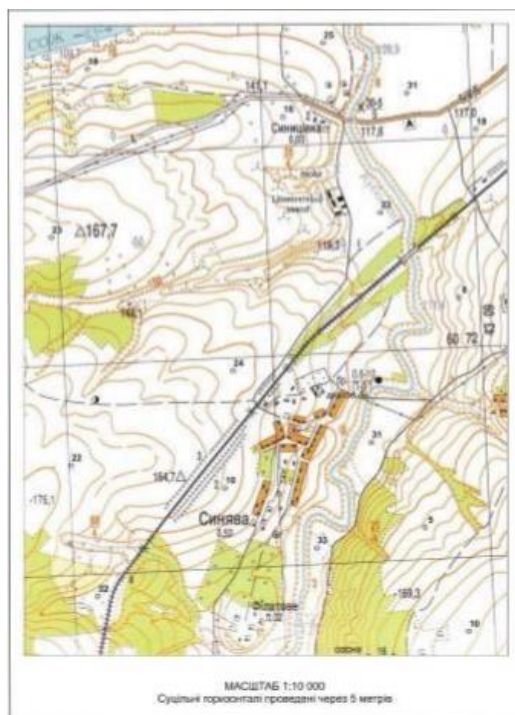


Рис. 10. Растрова підоснова проекту

Після отримання растрового зображення карти необхідно створити точкові об'єкти, які використовуватимуться для подальшої інтерполяції горизонталей. Для цього в середовищі ArcCatalog створюється персональна база геоданих, у якій формується відповідний клас просторових об'єктів (рис. 11).

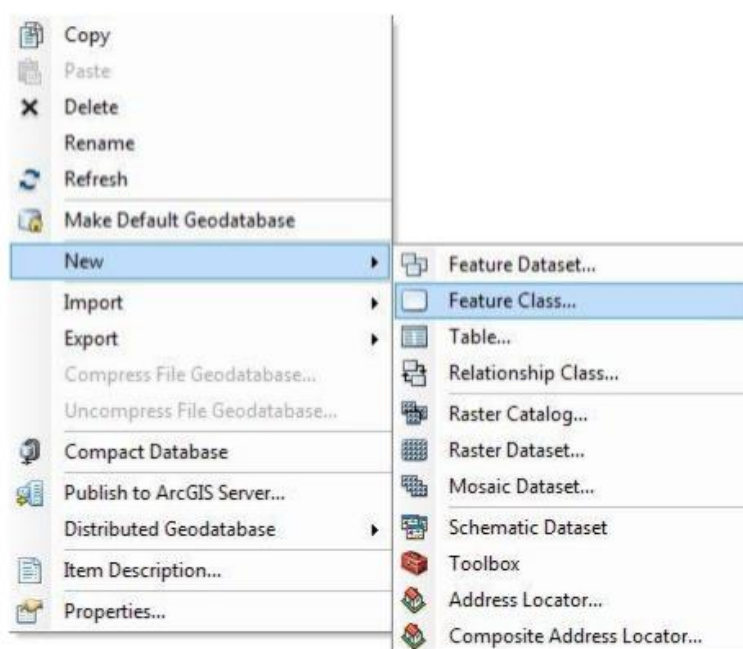


Рис. 11. Створення нового шару просторових об'єктів

Після створення необхідних шарів, за допомогою піктограми Add Data (рис. 12) ці шари підключаються до середовища ArcMap.



Рис. 12. Піктограма додавання шарів

На панелі редагування обираємо команду «Editor – Start Editing» (рис. 13) для переходу до режиму редагування й внесення необхідних змін.

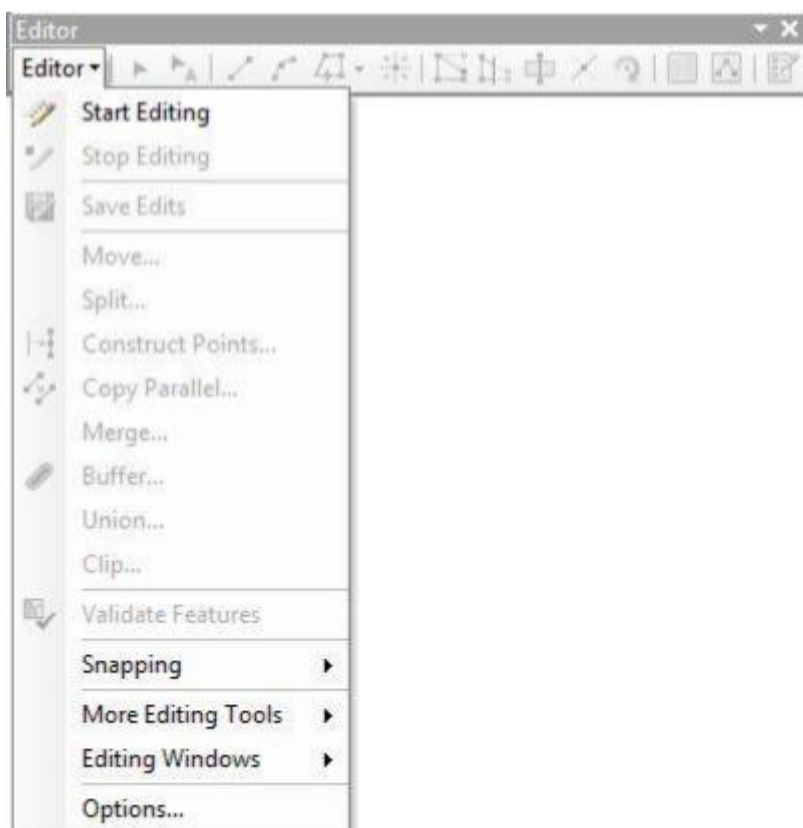


Рис. 13. Панель редагування ArcMap

Далі, використовуючи інструмент скетч (Sketch Tool), розставляємо точкові об'єкти на місцевості, орієнтуючись на лінії горизонталей, з якими ці точки мають збігатися. Це дозволяє сформувати набір реперних точок, які слугуватимуть основою для подальшої інтерполяції рельєфу. Правильне позиціонування точок забезпечує точність цифрового моделювання поверхні та відображення висотних змін у майбутньому цифровому шарі.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ГІС-ПРОЄКТУ ДЛЯ ЗЕМЛЕВПОРЯДНИХ ЗАВДАНЬ

3.1. Моделювання цифрової поверхні рельєфу з використанням TIN та побудова ізоліній

Найпоширенішою формою векторної полігональної структури для моделювання просторових даних є **трикутна нерегулярна мережа** (Triangulated Irregular Network – TIN). Ця модель формується шляхом поєднання відомих точок із заданими висотами у систему трикутників, створених за допомогою **алгоритму тріангуляції Делоне**. В результаті утворюється неперервна мозаїка з тривимірних трикутників, що прилягають один до одного без накладення [31].

Ключова ідея алгоритму Делоне полягає в побудові трикутників так, щоб жодна інша точка з набору не потрапляла всередину описаного кола, проведеного через вершини будь-якого з трикутників. Такий підхід забезпечує максимальну близькість створених трикутників до рівносторонніх, що позитивно впливає на точність моделі.

Завдяки своїй **нерегулярній геометрії**, TIN-модель має низку переваг у порівнянні з растровим представленням поверхні. Вона дозволяє адаптивно відображати складні рельєфні структури з різною щільністю точок, використовуючи більше трикутників там, де поверхня має складний характер, і менше – на більш рівних ділянках. Це робить TIN-структуру ефективною як з точки зору обсягу збережених даних, так і з точки зору точності.

TIN широко використовується в **цифровому моделюванні рельєфу (ЦМР)**, особливо в геоінформаційних системах, розроблених компанією **ESRI** (наприклад, ArcView GIS, ArcGIS, ARC/INFO) [30]. У межах таких систем модель передбачає, що вузли (точки) є основними просторовими одиницями, а топологічні зв'язки між ними визначаються шляхом запису в базу даних інформації про суміжні вузли кожної точки [28].

Для моделювання країв досліджуваної території часто використовується фіктивна (периферійна) точка, яка допомагає точно описати межові умови та спростити обробку крайових трикутників [33]. Таким чином, TIN-модель поєднує високу просторову точність і структурну гнучкість, що робить її незамінним інструментом у геоінформаційній аналітиці, особливо при побудові тривимірних моделей рельєфу.

На рисунку 14 зображено TIN-модель (трикутну нерегулярну мережу), побудовану на основі даної карти. Вона відображає поверхню місцевості у вигляді сукупності суміжних трикутників, що формуються за відомими висотними точками. Такий підхід дозволяє детально змоделювати рельєф і точно передати його просторову структуру [31].

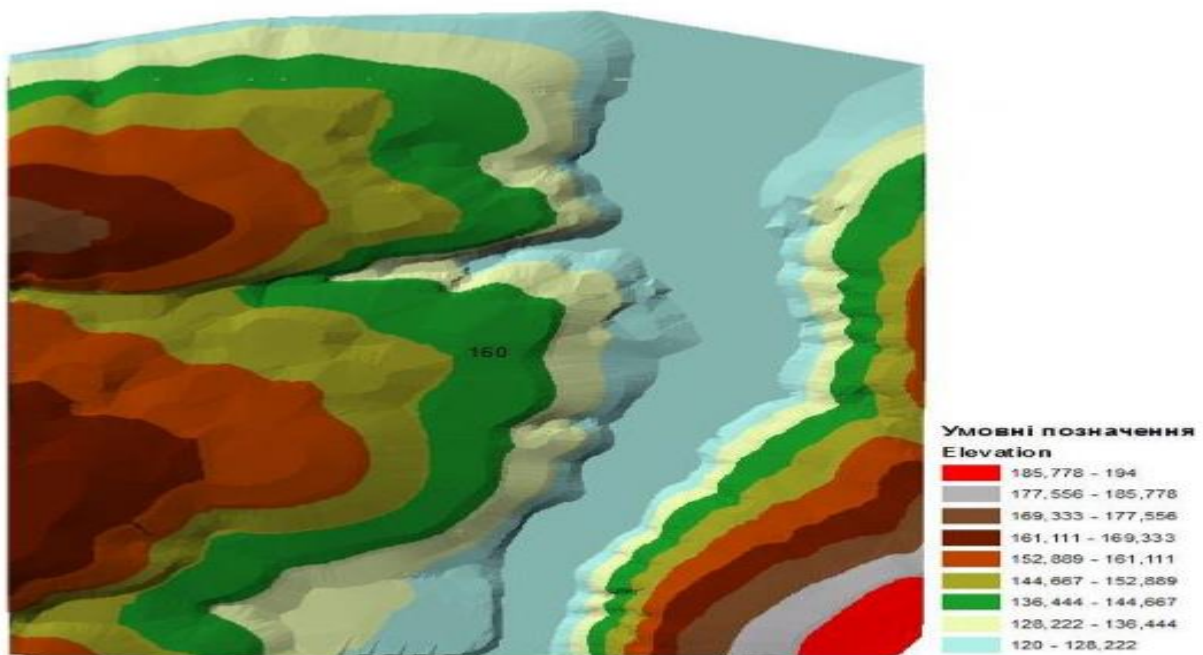


Рис. 14. Вигляд TIN поверхні досліджуваної території

Щоб імпортувати дані до програмного продукту Surfer, потрібно спочатку визначити координати X та Y точок. Для цього слід додати до створеного шару дві нові колонки, у яких будуть зберігатися ці координати. Після цього відкриваємо атрибутивну таблицю шару та у контекстному меню обираємо опцію «обчислення геометрії» (рис. 15).

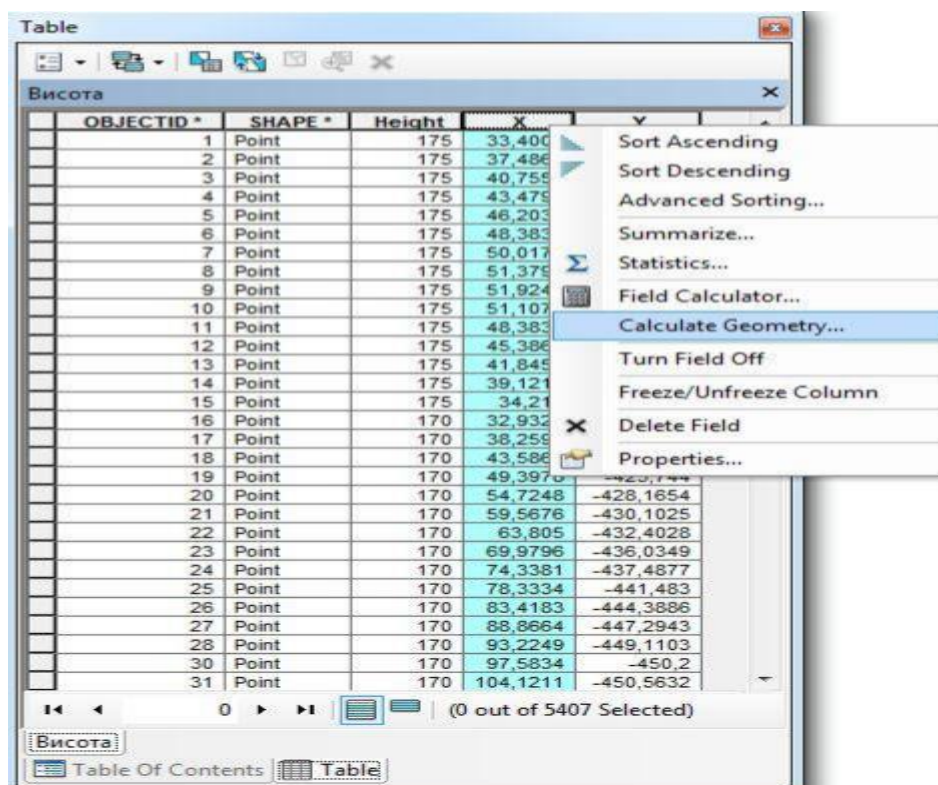


Рис. 15. Розрахунок координат

Після обчислення координат натискаємо на піктограму Table Options у панелі атрибутивної таблиці і виконуємо експорт даних (рис. 16), при цьому вказуючи шлях для збереження файлу (рис. 17).

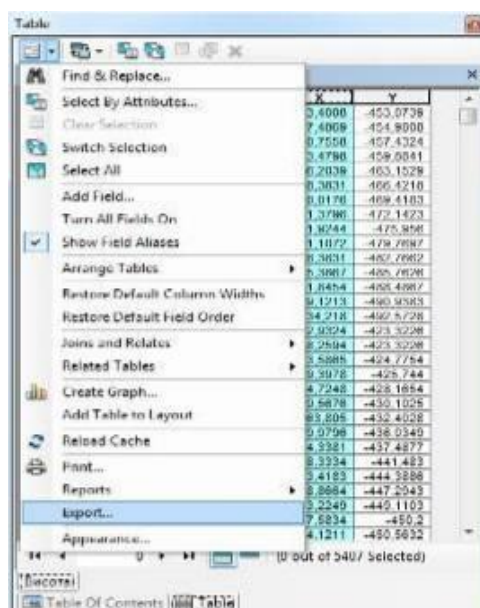


Рис. 16. Експорт даних

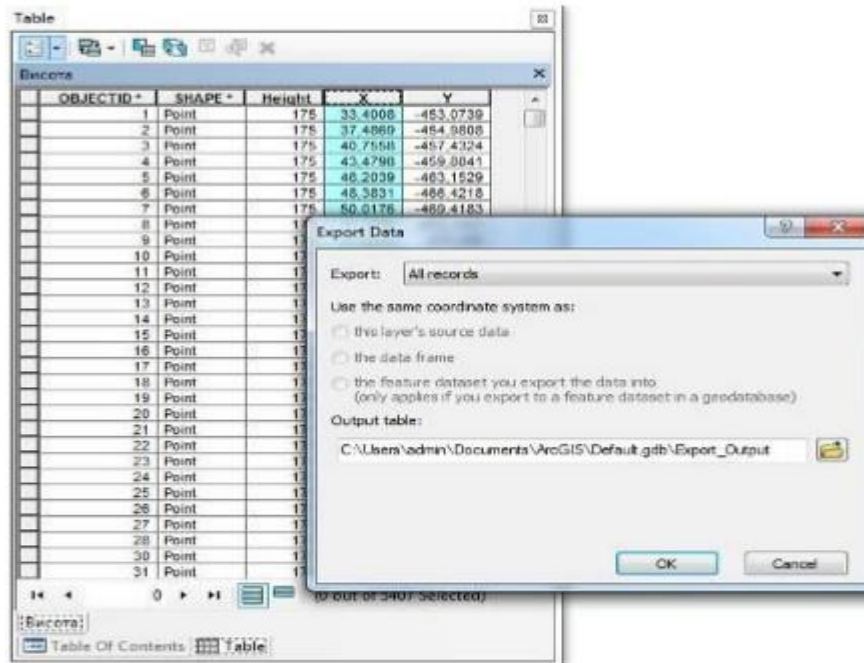


Рис. 17. Збереження атрибутивних даних

3.2. Порівняльний аналіз інтерполяційних методів у програмних середовищах SURFER та ArcGIS

Щільність сітки слід визначати, враховуючи вихідні дані або необхідний масштаб майбутньої карти. Якщо відомий точний масштаб, у якому має бути представлена карта, то крок між лініями сітки задають таким чином, щоб він відповідав кількості одиниць карти, які припадають на 1 мм зображення. Це дозволяє забезпечити правильну деталізацію та читаність картографічного матеріалу [1].

У випадках, коли точний масштаб не встановлений або не є критичним для відображення карти, можна скористатися параметрами за замовчуванням. Такий підхід спрощує процес налаштування сітки і дозволяє швидко перейти до подальших етапів роботи, не витрачаючи час на тонке регулювання кроку сітки. Саме тому у нашому випадку обираємо стандартні налаштування, що пропонує програма за замовчуванням (рис. 18). Це забезпечує оптимальний баланс між деталізацією і зручністю відображення без зайвих складнощів.

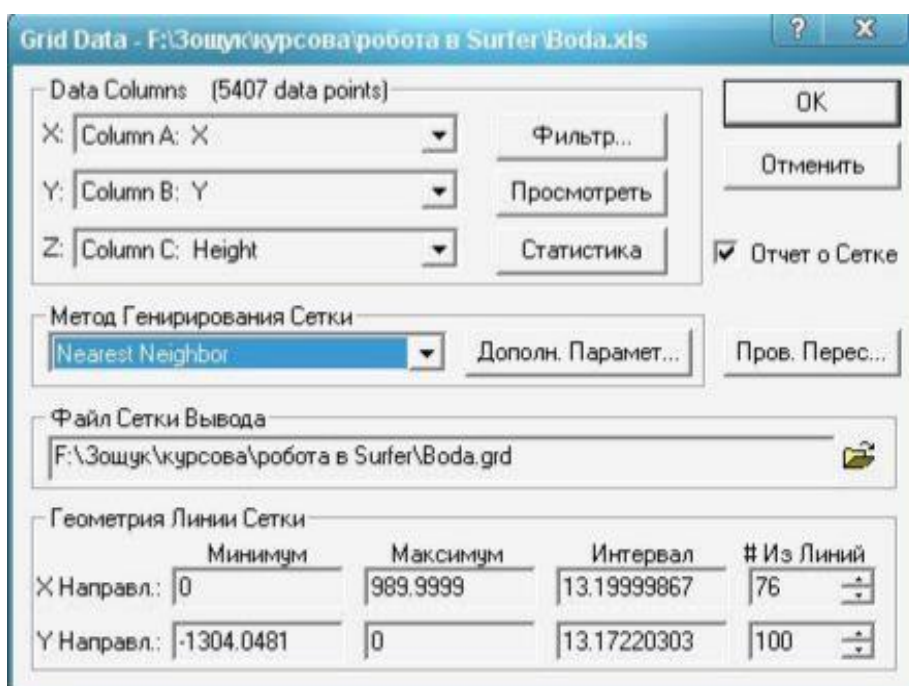


Рис. 18. Зміна параметрів сітки

На основі даних, отриманих під час оцифрування, створюємо сіткові файли, використовуючи всі доступні методи (рис. 19).

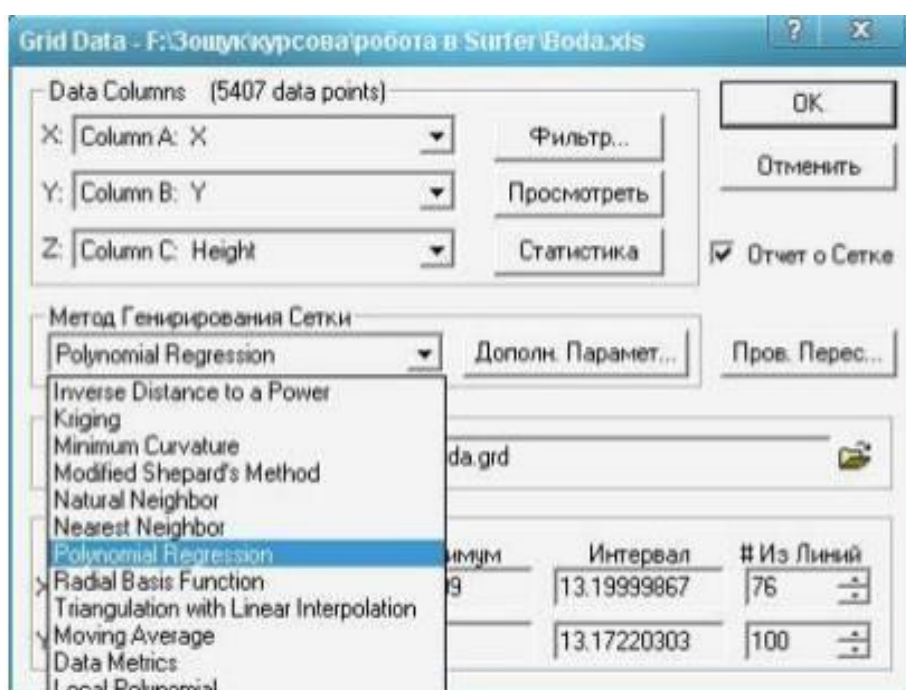


Рис. 19. Створення сіткових файлів

На основі створених сіткових файлів здійснюється побудова контурних карт. Під час формування сіткового файлу параметри сітки зазвичай приймаються за замовчуванням, що дозволяє автоматично генерувати сітковий файл, придатний для подальшої побудови ізоліній та тривимірних графіків поверхонь. Проте існує кілька ключових параметрів, від яких значною мірою залежить якість та вигляд сіткового файлу. Ці параметри умовно поділяються на дві групи: геометричні характеристики сітки та параметри обраного методу сіткування.

Геометричні параметри сітки визначають її межі, які встановлюють мінімальні та максимальні значення координат X та Y для створюваного сіткового файлу. За замовчуванням програмне забезпечення Surfer визначає ці межі відповідно до мінімальних і максимальних координат точок у вхідному XYZ-файлі. Таким чином, межі сітки задають область простору, у якій будуть будуватися ізолінії та поверхневі графіки.

Щільність сітки характеризується кількістю ліній сітки по осях X і Y , тобто числом рядків і стовпців у сітковому файлі. Зазвичай Surfer вибирає довшу із осей координат і формує для неї близько 100 сіткових ліній. Чим більша кількість рядків і стовпців, тим більш гладкими та деталізованими будуть ізолінії та поверхневі графіки, адже лінії, що формують контури, складаються із прямолінійних відрізків – чим вони коротші, тим природніше виглядає карта.

Кожен метод просторової інтерполяції, що застосовується для створення сіткових файлів, має свої сильні та слабкі сторони, які потрібно враховувати при виборі конкретного способу для розв'язання певних завдань. Вибір методу залежить від кількості вихідних точок та їх просторового розподілу в області інтерполяції [8].

Виробники програмного забезпечення Surfer, що є одним із найбільш поширених пакетів для наукової графіки та геоаналізу, розробили рекомендації щодо вибору методу інтерполяції залежно від обсягу та характеру вхідних даних. Наприклад, набір близько десяти точок дозволяє

визначити лише загальні закономірності просторового розподілу досліджуваного параметра. У таких випадках рекомендуються методи крігінгу (Kriging) і радіальних базисних функцій (Radial Basis Functions), які належать до новітніх підходів, що ґрунтуються на нейромережевому моделюванні [31].

Для наборів менше 250 точок оптимальним вважається крігінг із лінійною варіограмною моделлю. При наявності від 250 до 1000 точок ефективними методами є триангуляція з лінійною інтерполяцією, крігінг і радіальні базисні функції, які забезпечують баланс між точністю і швидкістю обробки. Якщо ж обсяг даних перевищує 1000 точок, для швидкої оцінки рекомендують методи мінімальної кривизни (Minimum Curvature) і триангуляцію з лінійною інтерполяцією, тоді як крігінг і радіальні базисні функції, хоч і точні, працюють повільніше.

У рамках цієї роботи для інтерполяції статистичних даних були використані такі методи: крігінг (Kriging), радіальні базисні функції (Radial Basis Functions), триангуляція з лінійною інтерполяцією (Triangulation with Linear Interpolation), метод зворотної відстані до степеня (Inverse Distance to a Power), мінімальна кривизна (Minimum Curvature), поліноміальна регресія (Polynomial Regression) у кількох варіантах (плоска, квадратична, кубічна поверхня), модифікований метод Шепарда (Modified Shepard's Method), а також методи природного сусіда (Natural Neighbor) і найближчого сусіда (Nearest Neighbor).

Таким чином, правильний вибір параметрів сітки і методу інтерполяції має вирішальне значення для отримання якісних і точних картографічних зображень, що відповідають специфіці завдання та вихідним даним [1].

Для виконання інтерполяції у програмі ArcGIS версії 10.5 [17] застосовується модуль Geostatistical Analyst [32]. У цьому модулі слід обрати інструмент Geostatistical Wizard (рис. 20).

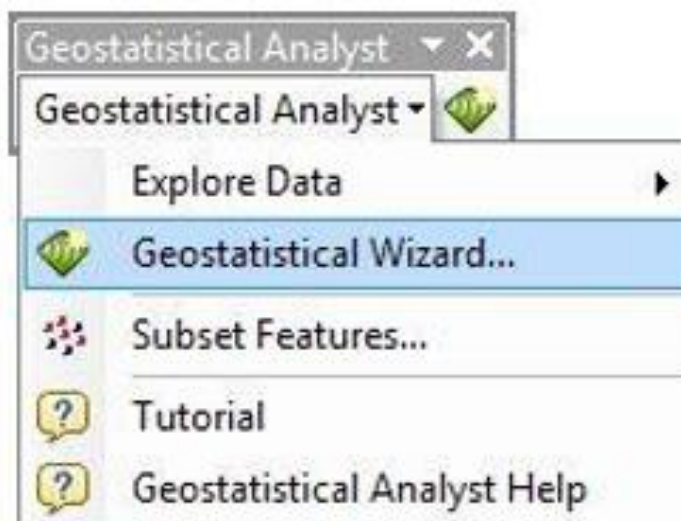


Рис. 20. Вікно Geostatistical Analyst

Потім, вибираємо необхідний метод інтерполяції (рис. 21).

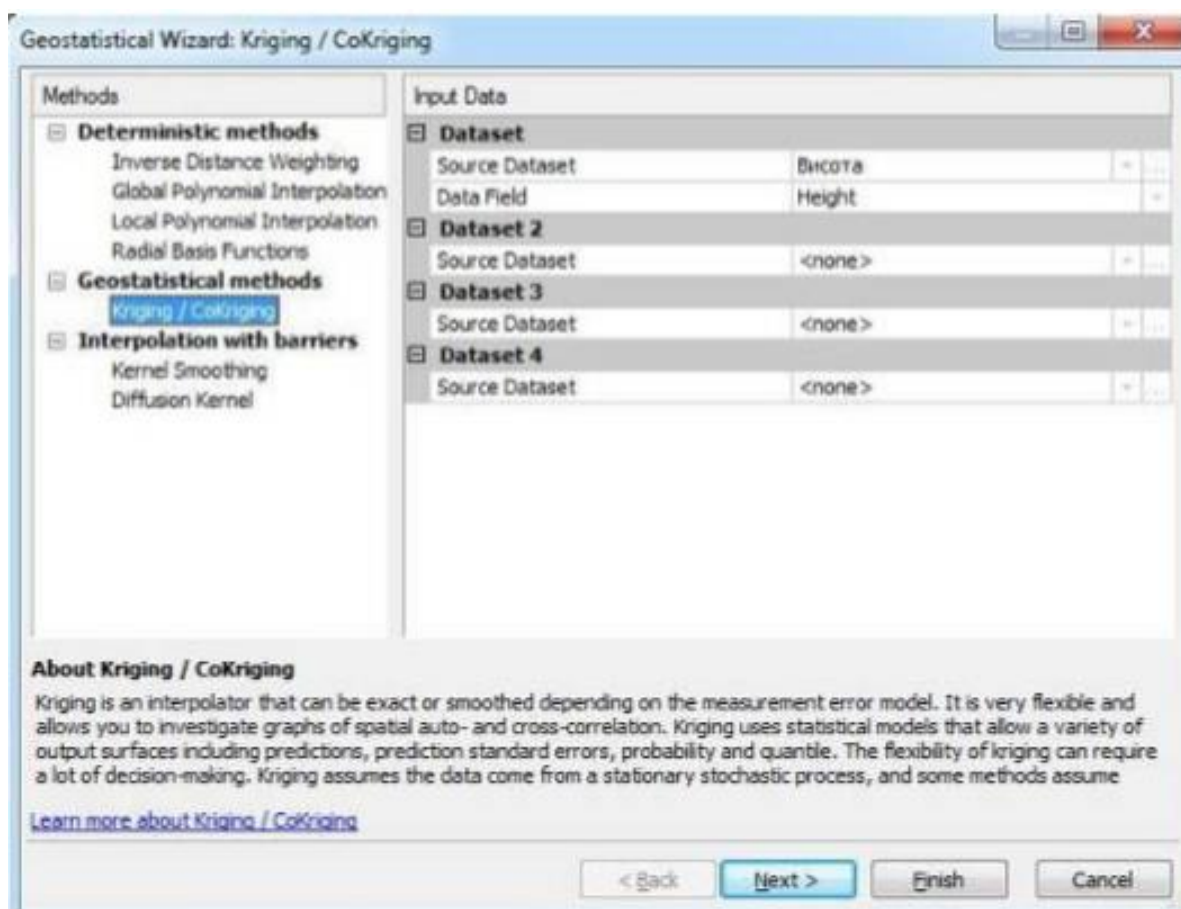


Рис. 21. Вікно Geostatistical Wizard

Далі обираємо метод інтерполяції та переходимо до налаштувань його параметрів, які коригуємо таким чином, щоб отриманий результат максимально відповідав виходу в Surfer (рис. 22).

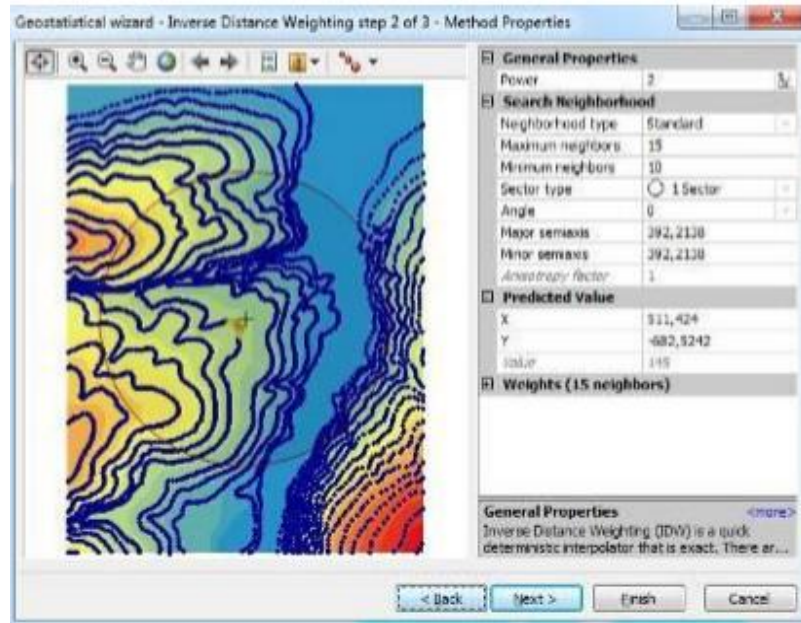


Рис. 22. Вікно задавання параметрів візуалізації

Після встановлення оптимальних параметрів наступним етапом є аналіз варіограми, створеної за обраним методом (рис. 23).

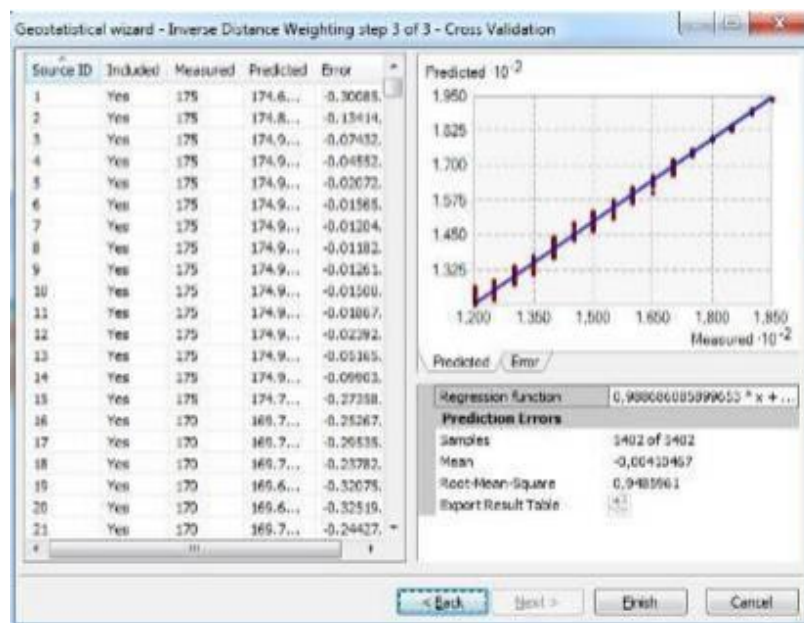


Рис. 23. Вікно перегляду варіограми

Порівнявши різні методи інтерполяції, застосовані у програмних продуктах Surfer та ArcGIS [17], можна зробити висновок, що для точного відображення заданого рельєфу найкращими є методи кригінга, які демонструють високу точність і здатність адекватно відтворювати просторові варіації поверхні. Трохи гірші результати показали методи радіальних базисних функцій, які також можуть забезпечувати прийнятну якість, проте поступаються кригінгу у деталізації складних форм рельєфу [36].

Особливістю створеного сіткового файлу є те, що деякі ділянки території залишаються непокритими точками з відомими координатами, що створює прогалини у вихідних даних. У таких випадках методи, які базуються на триангуляції з лінійною інтерполяцією, методі Шепарда чи природного сусідства, виявляються менш ефективними, оскільки вони недостатньо добре працюють у зонах з нерівномірним розподілом або недостатньою кількістю вихідних точок [8].

Крім того, методи мінімальної кривизни та зворотних зважених відстаней також не демонструють бажаної ефективності при роботі з обмеженим обсягом вхідних даних. Їх результати можуть бути спотвореними через недостатню кількість інформації для точного моделювання поверхні, що впливає на якість і достовірність кінцевої цифрової моделі рельєфу.

Таким чином, вибір методу інтерполяції слід здійснювати з урахуванням особливостей наявних даних, їх кількості та рівномірності просторового розподілу. Врахування цих факторів дозволяє оптимізувати якість побудови цифрової моделі рельєфу, зменшити похибки і підвищити точність просторового аналізу.

3.3. Генерація та візуалізація профільних графіків у програмному середовищі ArcGIS

За допомогою модуля 3D Analyst [32] відкривається можливість обчислювати нові типи інформації, такі як карти відмивання рельєфу, ізолінії,

ухили, зони видимості або експозиції схилів. Ці топографічні поверхні надають унікальну можливість пов'язати наявні дані з реальним рельєфом місцевості та відстежувати, як зміни рельєфу впливають на просторові характеристики об'єктів [36]. Поєднання карт рельєфу з іншими даними дозволяє отримати більш реалістичне уявлення про територію, що є важливим для точного аналізу в таких завданнях, як вибір оптимального місця для будівництва школи або дороги. Крім того, завдяки можливості регулювання прозорості різних шарів даних, можна одночасно відображати всю необхідну інформацію, що значно підвищує наочність та ефективність картографічного представлення [1]. Це дозволяє, наприклад, безпосередньо спостерігати, як зміни висоти та рельєфу впливають на досліджувані явища.

Також створюються профільні графіки, які дають змогу візуалізувати та вимірювати висоти вздовж обраних ліній. Ці графіки часто застосовують для оцінки складності проходження гірських маршрутів або планування коридорів для залізничних або автомобільних шляхів (рис. 24, 25).

Підключення модуля ArcGIS 3D Analyst до базових програмних продуктів додає спеціалізований інструментарій для тривимірного відображення і аналізу просторових даних, що значно розширює функціональні можливості системи [17; 32].

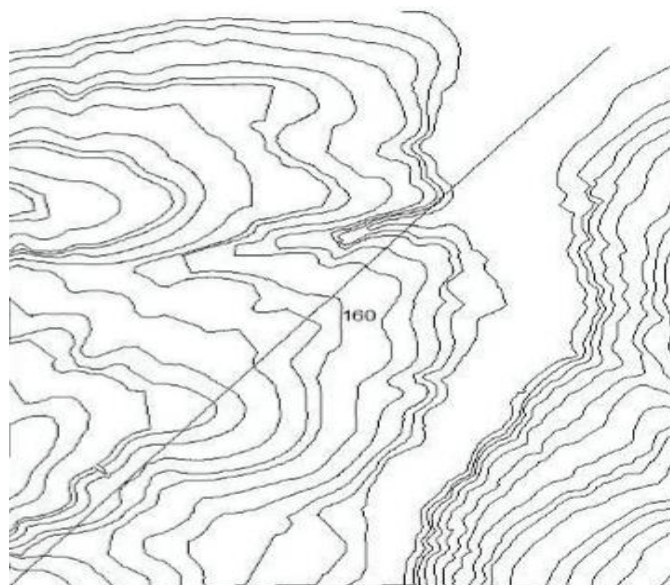


Рис. 24. Профільна пряма в ArcGis

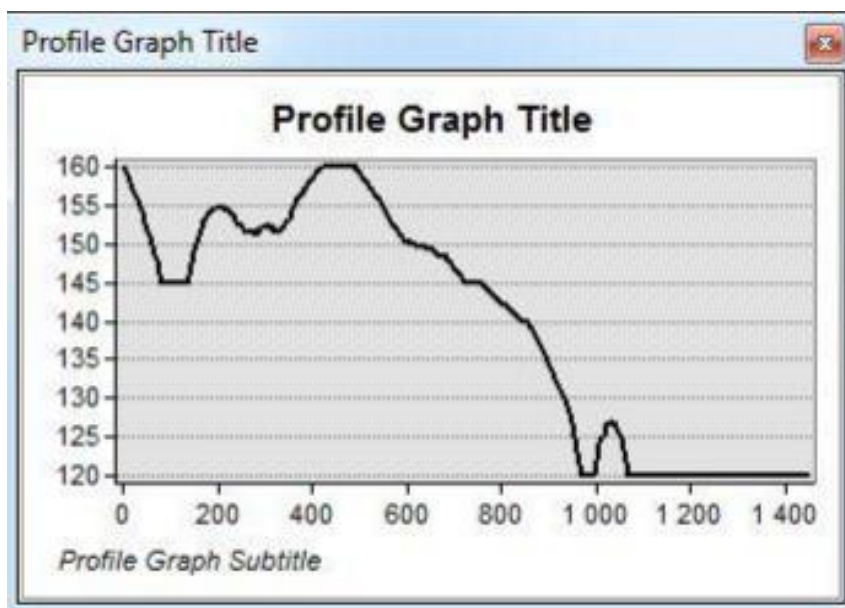


Рис. 25. Профіль в ArcGis

ArcScene надає користувачам можливість створювати перспективні оглядові тривимірні сцени, які дозволяють гнучко керувати відображенням та інтерактивно взаємодіяти з географічними даними. У цьому середовищі можна накладати як векторні, так і растрові дані на тривимірну поверхню, а також піднімати об'єкти з векторних джерел за висотою, формуючи реалістичний ефект тривимірних моделей. Завдяки цьому досягається більш наочне та інформативне представлення просторових даних, що суттєво покращує розуміння просторових взаємозв'язків.

Крім того, у додатку ArcScene є можливість використовувати інструменти модуля 3D Analyst [32], які забезпечують потужний функціонал для створення, аналізу та візуалізації складних поверхонь і рельєфів (рис. 26). Це робить ArcScene ефективним засобом для проведення просторового аналізу у тривимірному середовищі, що особливо корисно для задач, пов'язаних із моделюванням ландшафтів, плануванням забудов та екологічними дослідженнями [18].

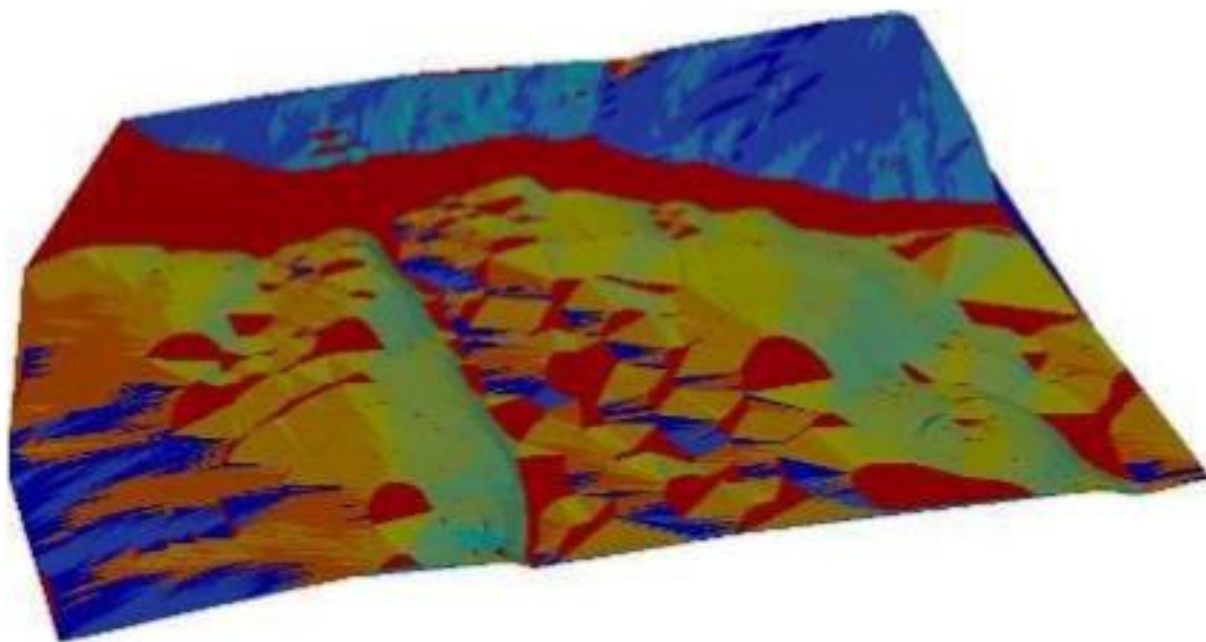


Рис. 26. 3D модель поверхні в ArcGis

Отже, використання програмних продуктів Surfer та ArcGIS дозволяє ефективно виконувати аналіз і моделювання поверхні. Surfer володіє найбільш широким набором інструментів для детального аналізу та побудови моделей рельєфу, саме тому саме на його базі було проведено комплексний аналіз поверхні [17]. Водночас програмний комплекс ArcGIS забезпечує можливість якісного візуального представлення цієї поверхні у вигляді тривимірної моделі, що значно полегшує її сприйняття та подальший просторовий аналіз. Такий комбінований підхід дозволяє максимально розкрити потенціал кожного з продуктів та отримати точну, наочну і функціональну модель рельєфу.

ВИСНОВКИ

У результаті проведення магістерського дослідження було всебічно опрацьовано комплекс важливих аспектів, пов'язаних із побудовою цифрової моделі місцевості з використанням сучасних геоінформаційних систем (ГІС). Акцент було зроблено на практичному застосуванні цифрових моделей для вирішення широкого спектра земельпорядних завдань, що підтверджує їхню актуальність і ефективність у контексті раціонального використання та управління земельними ресурсами.

У якості об'єкта дослідження було обрано конкретну територіальну ділянку в межах Рокитянського району Київської області. Предметом роботи стала розробка цифрових моделей місцевості, які виступають аналітичною та візуальною основою для прийняття обґрунтованих рішень у сфері землеустрою, просторового планування, моніторингу та кадастрових операцій.

Поставлена мета дослідження – дослідити й визначити особливості використання геоінформаційних технологій для побудови високоточних цифрових моделей місцевості – була повністю досягнута. Це дало змогу поглибити розуміння принципів просторового моделювання та вдосконалити технологічні підходи до створення цифрових моделей території з урахуванням сучасних вимог до точності, масштабності та функціональності.

У ході дослідження було застосовано статистичні методи збору даних, методи просторового аналізу, а також аналітичні розрахунки, які забезпечили достовірність та наукову обґрунтованість результатів. Крім того, в процесі реалізації роботи було запропоновано і апробовано ефективну схему інтеграції ГІС-компонентів у процес моделювання, що дозволило оптимізувати етапи збору, обробки та візуалізації просторової інформації.

Практичне значення проведеного дослідження полягає у розробці та формалізації рекомендацій щодо впровадження геоінформаційних технологій у сферу землеустрою. Реалізація запропонованих підходів дозволить не лише

підвищити точність побудови цифрових моделей місцевості, а й забезпечить більш якісну інформаційну підтримку для прийняття управлінських рішень на регіональному та локальному рівнях. Такі моделі можуть бути інтегровані у державні та муніципальні системи управління земельними ресурсами, що відкриває перспективи для подальшого розвитку смарт-технологій у сфері геопросторового аналізу.

Загалом, робота над магістерським проєктом сприяла поглибленню професійних знань і вдосконаленню практичних навичок у сфері ГІС та землеустрою, що є надзвичайно важливим для подальшої професійної реалізації фахівця. Результати дослідження мають не лише наукову новизну, а й високу прикладну цінність для подальшої оптимізації процесів цифрового картографування та управління просторовими даними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський В. А. Екологічна географія і екологічна картографія. Київ: Фітосоціоцентр. 2001. 252 с.
2. Барановський В. А. Україна. Стійкість природного середовища. Київ: Всеукраїнська. екологічна ліга. 2002. 14 с.
3. Бондаренко Е. Л. Геоінформаційне еколого-географічне картографування. Київ: Фітосоціоцентр 2007. 272 с.
4. Закон України «Про охорону земель» № 962-IV від 18.12.2017. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15> (дата звернення: 28.09.2025).
5. Картографічне моделювання на базі ГІС-технологій в екологічних дослідженнях ґрунтів. Автореф. дис. канд. геогр. наук: 11.00.12 / Л. М. Даценко; НАН України. Ін-т географії. Київ. 2000. 20 с.
6. Пересадько В. А. Картографічні твори як основа створення регіональної еколого-географічної ГІС. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: зб. наук. праць*. Вінниця: Антекс-УЛТД, 2004. Вип. 4. С. 222–226.
7. Підлипна М. П. Використання ГІС технологій для здійснення зонування земель. *Молодий вчений*. 2015. 274 с.
8. Ступень М. Г., Гулько Р. И., Микула О. Я. та інш. Теоретичні основи державного земельного кадастру: Навчальний посібник, 2-ге видання, стереотипне. Львів: Новий світ–2000. 2006. 336 с. URL: https://library.nlu.edu.ua/POLN_TEXT/POSIBNIKI_2011/KADASTR_2006.pdf (дата звернення: 03.10.2025).
9. Казьмір П. Г., Стойко Н. Є., Дроздяк М. В., Кисіль В. Г., Казьмір Л. П., Здоровцов І. П., Бомба М. Я., Флекей З. П., Ярмолук В. І. Організація сільськогосподарського використання земель на ландшафтно-екологічній основі: монографія. Львів: Львівський національний аграрний університет. 2009. 254 с. URL: <https://ird.gov.ua/irdp/p20090302f.pdf> (дата звернення: 28.03.2025).

10. Земельний кодекс України: Закон України від 25 жовтня 2001 року № 2768-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14/print1509602912924405> (дата звернення: 11.11.2025).
11. Lambin E. F. and Meyfroidt P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011. №. 108 (9). pp. 3465–3472.
12. Третьяк А. М., Третьяк В. М. Теоретичні засади розвитку сучасної системи землекористування в Україні. *Агросвіт*. 2021. № 1–2. С. 3–11.
13. Третьяк А. М., Третьяк В. М., Третьяк Н. А. Земельна реформа в Україні: тенденції та наслідки у контексті якості життя і безпеки населення; під заг. ред. А. М. Третьяка. Херсон: Грінь Д. С., 2017. 522 с.
14. Lal R. Food security in a changing climate. *Ecohydrology and Hydrobiology*. 2013. №. 13. pp. 8–21.
15. Закон України «Про землеустрій» (редакція від 22 травня 2003 р. 1817-VIII). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text> (дата звернення: 13.10.2025).
16. Бабенко О. А. Застосування геоінформаційних систем в управлінні земельними ресурсами. *Часопис картографії*. Київ. 2017. С. 18–27.
17. Введение в ArcGIS Pro [Електроний ресурс]. Режим доступу <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/latest/get-started/introducing-arcgis-pro.htm> (дата звернення: 07.08.2025).
18. Косенко Ю. Ю. Застосування сучасних геоінформаційних технологій у розвитку екологічного туризму. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Географічні науки*. 2018. № 9. С. 233–238. URL: <https://gj.journal.kspu.edu/index.php/gj/article/view/231/225> (дата звернення: 23.07.2025).
19. Lepetiuk V. B. The GIS technologies` products for increasing the tourist attractiveness of the destination (on the example of Chernigiv region). *Geodesy, cartography and aerial photography*. 2020. Vol. 92. P. 55–67. URL: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.92.055> (дата звернення: 22.09.2025).

20. Shevchuk S. M., Laslo O. O., Onipko V. V. Geoinformation monitoring of the tourist industry potential of the territory. *Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference*. Osaka, Japan. 2023. P. 124–128. URL: <https://isg-konf.com/scientific-directions-of-research-in-educational-activity/> (дата звернення: 23.07.2025).

21. Сопов Д. С., Кирпичова І. В., Мацай Н. Ю., Чередниченко І. В., Сопова Н. В., Винограденко С. О. Садовий І. І. Використання онлайн-інструментів ГІС для аналізу природних рекреаційних ресурсів. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2024. № 1(52). Т. 1. С. 59–64. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.8> (дата звернення: 25.10.2025).

22. Майкл де Мерс. Географічні інформаційні системи. Київ: *Світанок*. 2018. С. 22–34.

23. А. Н. Авдулов, А. М. Кулькін. Класифікація інформаційних технологій. Київ: *Грант проект*. 2016. С. 3–12.

24. Геоінформаційні технології в процесі навчання. URL: <https://griban.ru/blog/14-informacionnye-tehnologii-v-processe-obuchenija.html> (дата звернення: 08.11.2025).

25. Солярчук Д. І. Геоінформаційні системи і технології в прогнозуванні використання та охорони земель. *Міжнародний науково-практичний форум «Екологічні, технологічні та соціально-технічні бази АПК»*, 17–18 вересня 2008 р. Львів : Львівський національний аграрний університет. 2008. С. 505–508.

26. Сохнич А. Я., Богіра М. С., Козаченко Л. М. Використання геоінформаційних технологій для моніторингу земель. *Вісник Львівського державного аграрного університету: землевпорядкування і земельний кадастр*. 2007. № 10. С. 299–303.

27. Ступень М. Г., Курильців Р. М., Таратула Р. Б. Застосування ГІС-технологій у сфері земельного кадастру та землеустрою. *Землевпорядний вісник*. 2009. № 11. С. 45–47.

28. ArcGIS Online [Електронний ресурс]. URL: <http://www.arcgis.com/home> (дата звернення: 18.09.2025).

29. Кошкалда І. В., Домбровська О. А., Сопов Д. С., Бутов А. М. Геоінформаційні технології у галузевих кадастрах: напрями розвитку. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2021. Том 6. № 4. С. 249–258. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2021-4-30> (дата звернення: 26.11.2025).

30. Arcview GIS. Посібник користувача: Навчальний посібник. [Текст]: навчальний посібник / під. ред. А. А.Сидоров. К.: КПУ, географічний факультет, 2018. 44 с.

31. І. І. Попов, П. Б. Храмцов, Н. В. Максимов. Введення в мережеві інформаційні ресурси і технології [Текст] / Попов І. І., Храмцов П. Б., Максимов Н. В. Київ: КПІ. 2001. 207 с.

32. Перехід з ArcView GIS Network Analyst [Електронний ресурс]. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/extensions/network-analyst/migrating-from-arcview-gis-network-analyst.htm> (дата звернення: 03.10.2025).

33. Зеленський І. В., Сопов Д. С. До сучасних методів досліджень з використанням геоінформаційних систем та комп'ютерної техніки в природничих науках. *Природничі науки: проєкти, дослідження, перспективи: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції* / ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»; укладачі: Мацай Н. Ю., Кирпичова І. В., Березенко К. С. К.: «Талком», 2022. С. 37–39. URL: http://luguniv.edu.ua/wp-content/uploads/2023/01/fpn_zb_mater_3michn_konf2022.pdf (дата звернення: 15.11.2025).

34. Dmytro Sopov, Victor Sidorenko, Oksana Malashchuk, Viacheslav Fomenko, Nadiia Sopova. Monitoring of Soil and Land Resources Using Remote Sensing Methods: Example of the Myrhorod District of the Poltava Region, Ukraine. *6th International Congress on Engineering and Life Science: Proceedings Book* (2-4

September, Kyrenia/Turkish Republic of Northern Cyprus). 2025. P. 886–899. DOI: <https://doi.org/10.61326/icelis2025kyrenia> (дата звернення: 01.11.2025).

35. Buzina I. M., Khainus D. D., Sopova N. V., Sopov D. S., Cherednychenko I. V., Havriushenko H. V. Construction of a digital relief model of the dendrology park using GIS technologies. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2025. № 1(58). С. 27–32. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.5> (дата звернення: 11.11.2025).

36. Sopov D., Vdovina I. The application of GIS technologies in the analysis of the peculiarities of the mining industry of Ukraine during the war (on the example of the city Kryvyi Rih). *Modern Trends in the Development of Economy, Technology and Industry* : Collection of Scientific Papers «International Scientific Unity» with Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference. February 12–14, 2025. Toronto, Canada. P. 49–50. DOI: <https://doi.org/10.70286/isu-12.02.2025> (дата звернення: 18.11.2025).