

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра загального землеробства

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання практичних робіт з дисципліни
«ГЕОГРАФІЧНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності
201 «Агрономія»

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра загального землеробства

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання практичних робіт з дисципліни
«ГЕОГРАФІЧНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності
201 «Агрономія»

Ухвалено
на засіданні кафедри
загального землеробства
Протокол №15 від 15.06.2023 р.

Кропивницький – 2023

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з курсу «Організація аграрного сервісу» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 201 «Агроніомія» / Укл.: К.В. Васильковська, Т.П. Шепілова, В.О. Малаховська – Кропивницький; ЦНТУ, 2023.– 48 с.

Методичні вказівки призначені для здобувачів другого (магістерського) рівня освіти ОПП 201 – Агроніомія денної та заочної форми навчання. Спрямовані на розвиток практичних навичок і знань з дисципліни «Географічні інформаційні системи». Можуть бути використані як для аудиторної роботи під керівництвом викладача, так і для самостійної роботи студентів.

Укладачі:

Катерина Васильковська, кандидат технічних наук, доцент
Тамара Шепілова, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Валентина Малаховська, викладач

Рецензент:

Ольга Андрієнко, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

© ЦНТУ, 2023 рік
© К.В. Васильковська;
Т.П. Шепілова;
В.О. Малаховська
2023 рік

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	6
Практична робота № 1 СТРУКТУРА ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ.....	7
Практична робота № 2 ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИСОТ ТА МОЖЛИВОСТІ ГЕОГРАФІЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	13
Практична робота № 3 ЕТАПИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ	21
Практична робота № 4 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ	30
Практична робота № 5 СПЕКТРАЛЬНИЙ ІНДЕКС.....	36
Практична робота № 6 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ «АГРАР ОФІС»	44
Список літератури	48

ВСТУП

Використання геоінформаційних технологій в сучасних умовах функціонування сільського господарства, пов'язується з персоналізацією технічних засобів обчислювальної техніки, автоматизацією збору та реєстрації інформації, переходом на переважно без паперову документацію, використання розподілених баз даних. Сьогодні дистанційне зондування Землі і географічні інформаційні системи тісно пов'язані між собою: на основі дешифрування знімків створюється електронна карта, вона, в свою чергу, є основою будь-якої геоінформаційної системи.

Питання раціонального використання земель сільськогосподарського призначення неможливе без ґрунтового вивчення стану екологічних, соціально-економічних, природно-ресурсних умов територій та їх змістовної оцінки. За допомогою географічних інформаційних систем здійснюється всебічне вирішення багатьох задач, пов'язаних з просторовим аналізом інформації і прогнозом явищ та обґрунтуванням головних чинників і причин, а також їх можливих наслідків, і прийняття на основі цього конструктивних рішень. Тобто географічні інформаційні системи автоматизують процедури аналізу і прогнозу, дозволяє побудувати на основі цього модель того чи іншого явища. Ефективність роботи сільськогосподарських підприємств залежить від інформованості про стан земель і посівів та здатності системно аналізувати наслідки проведених робіт та заходів. Таку інформованість забезпечують дані дистанційного зондування Землі, які пізніше, після дешифрування, опрацьовуються у геоінформаційних системах.

Практична робота № 1

СТРУКТУРА ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

Мета роботи: вивчити структуру геопросторових даних, особливості векторної і растрової моделі геоданих, їх сильні та слабкі сторони.

Теоретичні відомості

Геопросторові дані – специфічний тип даних, який поєднує в собі три обов'язкові складові: просторову, геометричну та атрибутивну (рис. 1.1).

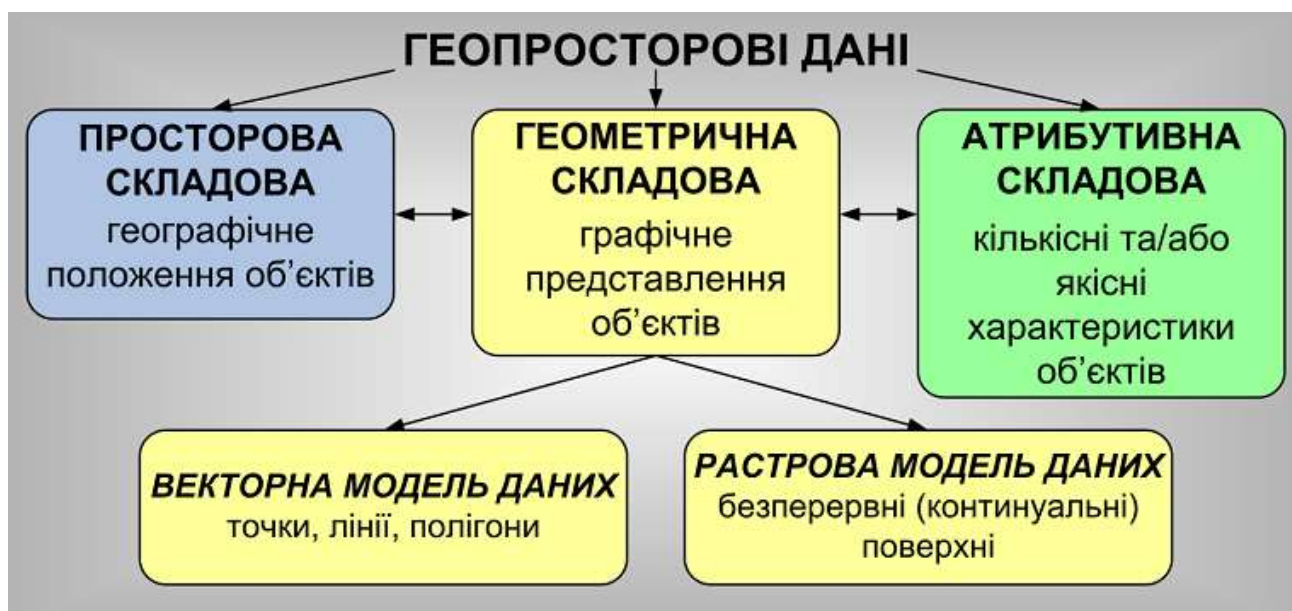


Рис. 1.1. Структура геопросторових даних.

Просторова складова надає інформацію щодо положення об'єктів на земній поверхні і може бути виражена за допомогою координат.

Геометрична складова відповідає за візуальне представлення об'єктів та явищ.

Сучасні ГІС здебільшого використовують дві моделі графічного представлення географічних об'єктів та їх властивостей у вигляді цифрових геоданих – **векторну і растрову**. Кожна з них має свої особливості щодо передачі характерних рис геопросторових феноменів.

Атрибутивна складова описує різноманітні характеристики об'єктів, представлених растровою або векторною моделлю даних. Атрибути можуть бути виражені у текстовій або числовій формі, причому їх наявність істотно розширює можливості візуалізації та геопросторового аналізу даних.

Векторна модель геоданих. В цій моделі даних всі об'єкти складаються з двох базових елементів: точок-вузлів (vertex, node) та з'єднувальних ліній між ними (sketch, line). На основі цих елементів можливе створення геометричних об'єктів трьох типів: точка, лінія, полігон.

Точка – найпростіший об'єкт, який створюється одинарним клацанням мишки. Кожна точка описується парою координат, що вказують її місцеположення в просторі географічної або локальної системи координат (СК).

Лінія – більш складний для створення та аналізу об'єкт, являє собою послідовність відрізків, що з'єднують вузлові точки у певному порядку. Відповідно кожна лінія характеризується початком, кінцем та напрямком.

Полігон – замкнена послідовність відрізків, що з'єднують вузлові точки у певному порядку. Замкненість означає, що початкова вузлова точка полігону завжди співпадатиме з кінцевою. Завдяки цьому для полігонів можливо визначити такі характеристики як периметр і площа.

Основним методом створення векторних даних є векторизація – процес переведення растрових даних в векторні, який може проводитись в автоматичному, напівавтоматичному або ручному режимі. В якості основи для створення векторних геоданих найчастіше виступають скановані та прив'язані топографічні або тематичні карти.

Важливою характеристикою векторних даних є базовий (приведений) масштаб. Точність відповідності контурів векторного об'єкта (як і растрового) контурам реального об'єкта залежить від кількості вузлів (у випадку растра – роздільної здатності та кількості пікселів), якими цей об'єкт представлений. Наприклад, коло можна представити полігоном з 10 або навіть 1000 вузлів. Але ані в одному, ані в іншому випадках справжнім ідеальним колом цей полігон не стане, просто в останньому випадку він формально матиме більш «колоподібну» форму при крупних масштабах. Однак, за певних масштабів відображення фігури не будуть розрізнятися, тому при створенні картографічних матеріалів важливо співвідносити запланований масштаб і реальний масштаб (детальність) вихідних растрових даних, що векторизуються. Іншими словами, в більшості випадків базовий (приведений) масштаб (реальна детальність) векторних даних відповідає масштабу вихідних растрових картографічних матеріалів на основі яких вони створюються.

При створенні векторних даних велике значення надається різноманітним параметрам, що дозволяють розглядати їх як об'єкт подальшого геопросторового аналізу, а не просто векторну графіку. Наприклад, для отримання гідрологічно коректних цифрових моделей рельєфу (ЦМР, що враховують напрямок стоку, висотні характеристики річкових русел тощо) принциповим моментом є напрямок векторизації гідрологічної мережі – від витoku до гирла.

Для подальшої інтерполяції даних і побудови на їх основі ЦМР, ізолінії не повинні перериватись тощо. Весь комплекс вимог (правил) взаємного відношення векторних об'єктів називається **топологією**, а дані, що цим вимогам задовольняють – топологічно коректними.

Атрибутивна інформація характеризує різноманітні властивості геопросторових даних. Це можуть бути, наприклад, порядкові номери об'єктів, їх назви, інші кількісні або якісні значення. Блок атрибутивної інформації, прив'язаний до будь-якого просторового об'єкта, може містити від одного до декількох десятків окремих атрибутивних значень різного типу, які характеризують різні властивості даного об'єкта (рис. 1.2). Наприклад, для точкового шару, який представляє місця відбору ґрунтових проб, це можуть бути такі параметри, як глибина відбору зразків та концентрація забруднювальних речовин. Для ліній, що представляють гідрографічну мережу, – довжина елемента та середня швидкість течії в його межах. Для полігону, відповідно, площа і характеристика екологічного стану території тощо.

Для використання в середовищі ГІС атрибутивна інформація підлягає систематизації, структуризації та формалізації, що дозволяє використовувати для подальшого її введення та обробки різноманітні засоби автоматизованого пошуку, розрахунків. Для кожного типу просторових об'єктів обирається набір атрибутів, які дозволяють ідентифікувати конкретний тип об'єкта серед інших та з максимальною повнотою описати його властивості.

Основним носієм атрибутивної інформації в ГІС є атрибутивна таблиця зв'язок між якою та просторовими даними, які вона описує, здійснюється за допомогою унікального ідентифікатора, який зазвичай створюється автоматично. Завдяки наявності ідентифікатора забезпечується зв'язок між об'єктом на карті і його властивостями, охарактеризованими за допомогою атрибутів в таблиці. Такий зв'язок між просторовими та табличними даними дозволяє унаочнити просторові об'єкти на карті з урахуванням значень полів атрибутивної таблиці, а також виконувати різноманітні вибірки просторових об'єктів на підставі атрибутів. Цей зв'язок також відбивається на будь-яких інших операціях з даними в ГІС. Наприклад, при виконанні операцій пов'язаних із зміною кількості просторових об'єктів (видалення, копіювання, створення нових), відповідним чином буде змінюватись і кількість рядків в атрибутивній таблиці.

Основними елементами таблиці (рис. 1.2) є поле / колонка (Field), яке відповідає одному атрибуту, та рядок / запис (Row), який відповідає окремими об'єктам. Тип поля визначає способи формалізації та формат збереження атрибутивних даних, які можуть бути

представлені у вигляді: цілого числа (Integer), десяткового дробу (Float), тексту (Text або String), логічних даних (Boolean) або дати (Date).

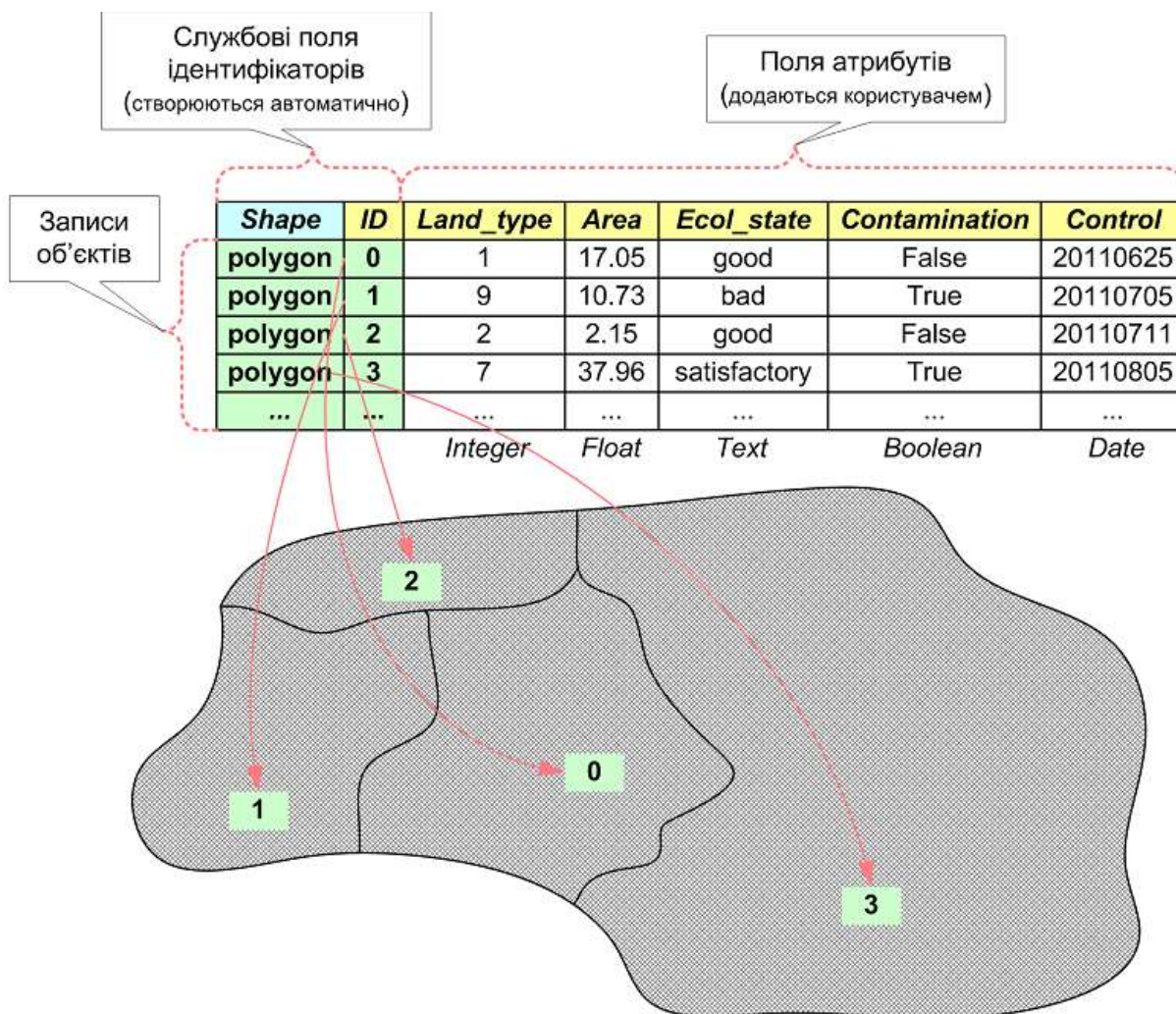


Рис. 1.2. Схематичне представлення структури атрибутивної таблиці шару векторних геоданих (на прикладі полігональних об'єктів)

Редагування значень атрибутивної таблиці може здійснюватись як для однієї (один атрибут одного об'єкта), так і для декількох комірок одразу (один атрибут декількох або всіх об'єктів). При редагуванні сучасні ГІС дають можливість користуватись багатим набором розрахункових операцій (наприклад, арифметичних або тригонометричних функцій) відповідно до типу даних, при цьому у розрахунках можуть брати участь дані з різних полів, а результати будуть занесені до відповідної комірки (комірок) визначеного поля.

Векторизація є одноразовим завданням, що виконується на етапі підготовки даних. Всі інші операції, пов'язані з внесенням змін у створені векторні дані, описуються терміном редагування – до нього належать видалення, переміщення, розділення, об'єднання, зміна форми та розміру об'єктів векторного шару даних. Як правило, разом з редагуванням шару змінюються і його атрибути: наприклад, при розділенні векторного об'єкта на дві частини разом з новим, додатковим об'єктом в атрибутивній таблиці також створюється новий запис, що потребує заповнення.

Растрова модель даних. Растровий спосіб подавання даних полягає в поділі простору, що досліджується, на здебільшого однакові за величиною елементи (комірки растра, пікселі). В результаті отримується регулярна сітка (растр, матриця), кожний з елементів якої можна описати двома просторовими координатами (X, Y або колонка / column, рядок / line, row) та додатковим значенням кожної комірки (Z) (рис. 1.3).

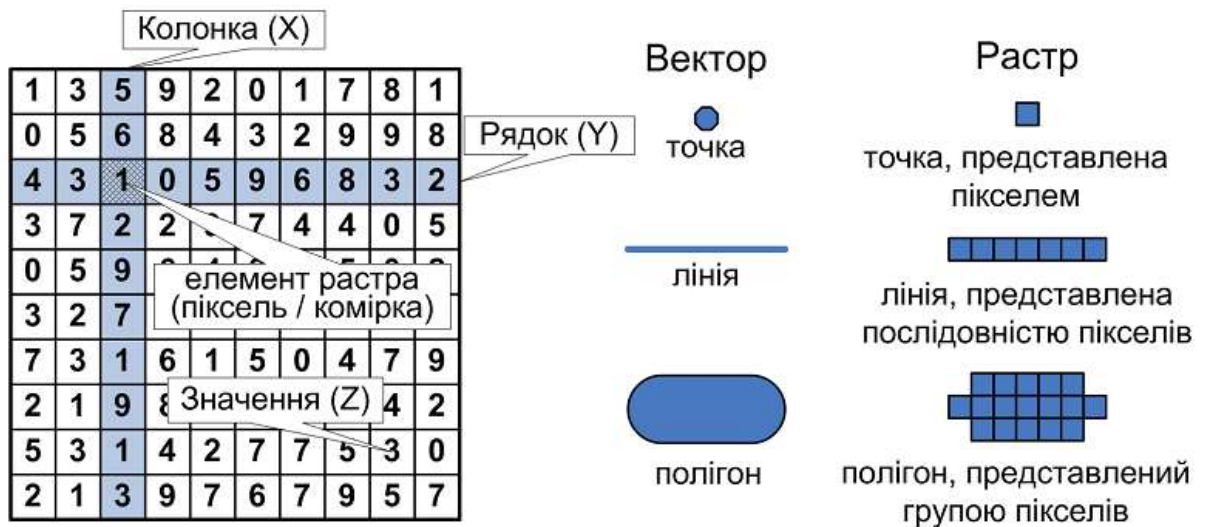


Рис. 1.3. Структура растрових даних та їх співвідношення з векторними

Відповідно до цього найбільш важливими характеристиками, які описують растрові геодані є:

- просторове охоплення (spatial extent), що визначається діапазоном значень координат X та Y – часто до растрового набору даних додаються координати кутів;
- просторова роздільна здатність (spatial resolution – PЗ), яка визначається розміром однієї комірки растра – чим менше це значення, тим вища PЗ растра (наприклад, растр з розміром пікселя в 10 м має вищу PЗ за растр з розміром пікселя 50 м);
- тип значень растра (value type) – визначає можливості растра щодо представлення різних типів даних (цілі числа, десяткові дробки, діапазон їх значень);
- відсутні дані (NoData values) – представляють ті комірки растра, які не містять необхідної інформації (найчастіше розташовуються по краях растра). Для полегшення роботи їм присвоюють значення, що сильно відрізняються від усього діапазону змістовних даних. Наприклад, для тематичного растра з категоріями, які закодовані значеннями від 1 до 100 це може бути значення «0», а для растра, який містить інформацію про абсолютні висоти території в діапазоні від 0 до 10000 м, це може бути «-9999» тощо (рис. 1.4 б).

Типовим прикладом растрових даних є сканована карта, також до цієї моделі належать цифрові моделі рельєфу (ЦМР). Тематично кожна комірка растра може описувати будь-яку просторову властивість або ознаку, наприклад спадистість поверхні, вологість поверхневого шару ґрунту, тип рослинності або ландшафту тощо. Відповідно до властивостей та типів значень, растри поділяються на дві великі групи (рис. 1.4 а, б):

- справжні (Float) – представлені десятковим дробом з комою, що плаває. Використовуються для представлення континуальних (безперервних) явищ;
- цілочисельні (Integer) – представлені чисельними значеннями-кодами, до яких прив'язані певні атрибути. Найчастіше використовуються для представлення дискретних (категорійних) явищ.

В термінах візуального представлення і тематичного змісту растри також можна поділити на наступні (рис. 1.4 а-г):

- результати дистанційного обстеження територій – в основному це дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), які містять дані про відбивну здатність земної поверхні в різних діапазонах електромагнітного спектра (наприклад, аеро- та космоснімки в видимому діапазоні, інфрачервоні та термальні зображення);
- тематичні растри можуть представляти різні типи ґрунтового, рослинного або наземного покриття у вигляді ареалів із відповідними категоріями;
- інтерпольовані растри – для них значення комірок представляють результати інтерполяції для певної території, що ґрунтуються на відомих значеннях точкових вимірювань

(ЦМР отримані на основі попередньо векторизованих з топокарти ізоліній, кількість опадів, вміст поживних речовин в ґрунті тощо);

– результати геопросторового аналізу є похідними даними, отриманими на основі аналізу первинних растрових поверхонь. Так, наприклад, застосувавши операції геоморфометричного аналізу ЦМР, можемо отримати ряд похідних поверхонь, що описують спадистість або опуклість-увігнутість первинної поверхні. На основі багатоканальних ДДЗ проводиться розрахунок спектральних індексів за допомогою яких можливо оцінити стан рослинності або окремі складові температурного режиму території.

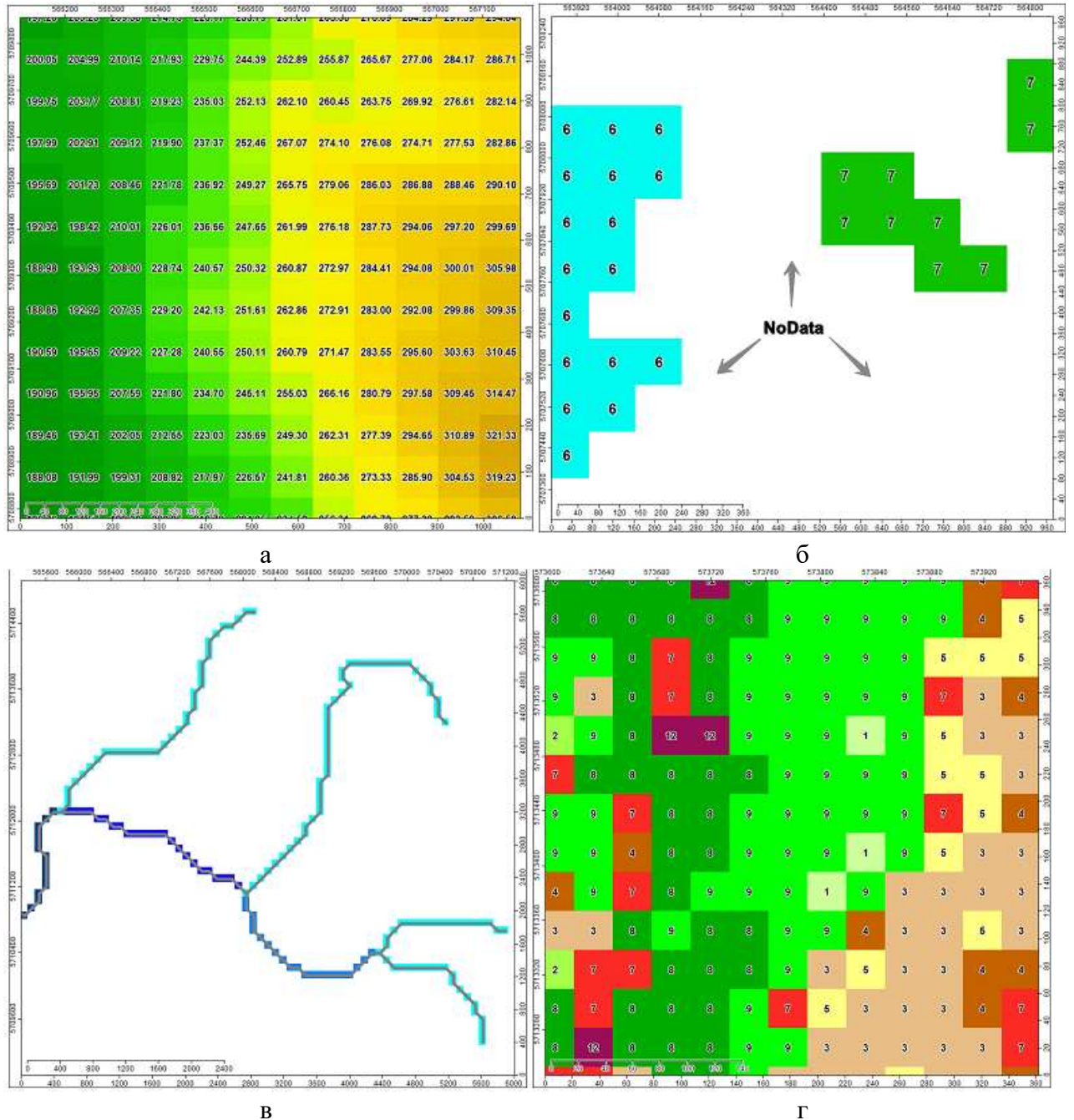


Рис. 1.4. Приклади різних типів растрів:

а – растровий шар типу float, який представляє континуальний розподіл значень абсолютних висот;
 б – растровий шар типу integer, який представляє дискретне явище; в – фрагмент гідрологічної мережі та її растрове відображення, придатне для проведення мережевого аналізу; г – приклад тематичного растра, отриманого в результаті класифікації космоснімка: чисельні коди – типи земного покриття

Регулярний характер розмірів і відстаней в растровій моделі даних означає, що топологія в неї вже закладена. Це надає широкі можливості для тих видів геопросторового аналізу, які нездійсненні для векторної моделі даних (аналіз сусідства, вартості відстані, взаємозв'язків через перекриття тощо).

Кожна модель даних має свої переваги в представленні та аналізі географічних явищ і процесів (табл. 1.1). В багатьох відношеннях векторна і растрова моделі даних доповнюють одна одну, а перехід між ними може відбуватись в процесі збору даних, проведенні спостережень і аналізу, представленні їх результатів.

Таблиця 1.1.

Порівняльна характеристика векторної та растрової моделей даних

ВЕКТОР	РАСТР
1	2
Геопросторові об'єкти представлені точкою, лінією або полігоном	Точки, лінії та полігони геопросторових об'єктів подані пікселями
СИЛЬНІ СТОРОНИ	
Якісне представлення геометрії географічних об'єктів відповідно до базового масштабу	Проста структура даних внаслідок двох особливостей: по-перше, географічне положення комірки виражене її положенням в матриці растра, а не прописаними географічними координатами; по-друге, сітка комірок растра зазвичай має регулярну структуру
Точність передачі географічного положення об'єктів	Завдяки простій регулярній структурі растрові дані добре пристосовані для багатьох видів геопросторового аналізу та математичного моделювання
Легкість роботи з атрибутивною складовою – додавання атрибутів, здійснення вибірок, оновлення та генералізація графічної складової на їх основі	Ідеально підходить для представлення континуальних характеристик об'єктів та явищ (рельєф, кількість опадів тощо)
Безпосередньо задана топологія об'єктів або легкість її дотримання, що у подальшому сприяє здійсненню геопросторового аналізу	
Завдяки інформаційній насиченості файлу створюються широкі можливості підготовки тематичних картографічних матеріалів	
Відсутність потреби у самостійному створенні та конвертації даних завдяки наявності вже векторних топографічних карт (наприклад, масштабу 1:200000 або 1:500000)	
СЛАБКІ СТОРОНИ	
Необхідність збереження даних про місцеположення для кожної вузлової точки	Тенденція до генералізованого (менш точного) представлення геометричних особливостей (межі, лінії) просторових об'єктів. Ступінь генералізації залежить від роздільної здатності (РЗ)
Топологія робить структуру даних комплексною і придатною для аналізу, але перетворення даних в топологічно коректні вимагає розширеної попередньої обробки даних, що робить їх створення та підготовку трудомістким процесом	Об'єм атрибутивної складової обмежено лише значеннями самих комірок, відповідно растрові шари та карти відображають тільки один атрибут (характеристику) території

1	2
Неефективне представлення континуальних даних через дискретність та генералізованість векторних елементів	При використанні комірок більшого розміру (тобто зниженні РЗ растра) з метою зменшення об'єму даних, втрачається значна частина інформації. Це ускладнює розпізнавання та аналіз різноманітних феноменів при переході до більш дрібного масштабу
АНАЛІТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ	
Запис точного місцеположення дискретних об'єктів	Представлення континуальних просторових явищ і характеристик
Представлення реальної форми об'єктів	Растрова алгебра
Легкість редагування, оновлення та управління просторовими об'єктами та їх атрибутами	Аналіз взаємозв'язків між континуальними феноменами
Поєднання текстових та / або чисельних атрибутів з просторовими об'єктами, а також аналіз цих атрибутів, а через них і об'єктів як таких	Аналіз просторових зв'язків між об'єктами (вартість відстані, щільність, перерозподіл, контакт крайових зон тощо)
Накладання шарів та їх атрибутів	Складне імітаційне моделювання геопросторових явищ і процесів
Легкість у проведенні геопросторового аналізу за умов дотримання топологічної структури даних	

Завдання:

1. Навести структуру геопросторових даних, охарактеризувати просторову, геометричну і атрибутивну складову.
2. Описати характерні особливості векторної моделі даних, типи геометричних об'єктів, поняття векторизація, структуру атрибутивних даних, призначення і склад атрибутивної таблиці.
3. Навести структуру растрової моделі даних, характеристику растрових геоданих, групи растрів.
4. Надати порівняльну характеристику векторної та растрової моделей даних (сильні і слабкі сторони, аналітичний потенціал).

Контрольні запитання:

1. Що таке геопросторові дані?
2. Складові геопросторових даних та їх характеристика?
3. Що таке векторна модель даних?
4. Які існують типи геометричних об'єктів і в чому їх особливості?
5. Охарактеризувати поняття векторизація?
6. Що таке топологія?
7. Особливості і склад атрибутивної таблиці?
8. Послідовність редагування значень атрибутивної таблиці?
9. Характеристика растрової моделі даних?
10. Групи растрів?
11. Сильні і слабкі сторони векторної і растрової моделей даних?
12. Аналітичний потенціал векторної і растрової моделей даних?

Практична робота № 2

ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИСОТ ТА МОЖЛИВОСТІ ГЕОГРАФІЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Мета роботи: вивчити завдання та характерні особливості цифрових моделей земної поверхні, ознайомитись з програмою Google Earth, навчитись шукали об'єкти за назвою та адресою.

Теоретичні відомості

Рельєф, як складова ландшафту, аналізується на основі цифрової моделі рельєфу (ЦМР). Їх значення для аналітичного застосування в геоecологічних дослідженнях різного спрямування пояснюється:

– доступністю – паралельно з появою у відкритому доступі глобальних ЦМВ, сучасними ГІС забезпечується можливість самостійного генерування ЦМР на основі даних про абсолютну висоту місцевості;

– практичністю – порівняно з аналоговими картографічними матеріалами, ЦМР забезпечують більшу оперативність отримання похідної інформації. За умов високої якості вихідних даних, вони роблять можливим точне моделювання багатьох параметрів;

– функціональністю – сучасні геоecологічні дослідження спираються на добре розвинутий інструментарій ГІС, де є можливість для автоматизованого тематичного картографування на основі ЦМР.

Таким чином, ЦМР та / або ЦМВ є базовим типом даних, що використовуються ГІС в якості основи для моделювання, аналізу та візуалізації феноменів пов'язаних з топографічною поверхнею.

ЦМВ являють собою цифрове представлення деякої ділянки земної поверхні, придатне для подальшої обробки та аналізу засобами ГІС. В науковій термінології є й інші альтернативні варіанти для позначення цифрових моделей земної поверхні (табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

Часто вживані терміни для позначення цифрових моделей земної поверхні

Термін	Скорочення	Term	Abbreviation
Цифрова модель висот	ЦМВ	Digital elevation model	DEM
Цифрова модель висот	ЦМВ	Digital height model	DHM
Цифрова модель висот місцевості	ЦМВМ	Digital terrain elevation model	DTEM
Цифрова модель земної поверхні	ЦМЗП	Digital ground model	DGM
Цифрова модель місцевості	ЦММ	Digital terrain model	DTM
Цифрова модель рельєфу	ЦМР	Digital terrain model	DTM
Цифрова модель поверхні	ЦМП	Digital surface model	DSM

Цифрова модель висот (ЦМВ) / Digital elevation model (DEM) – загальний термін, що використовується для статистичних поверхонь, які містять висотні дані, і не передбачає визначення властивостей самої поверхні. В міжнародній науково-дослідницькій термінології скорочення DEM фактично витіснило всі інші.

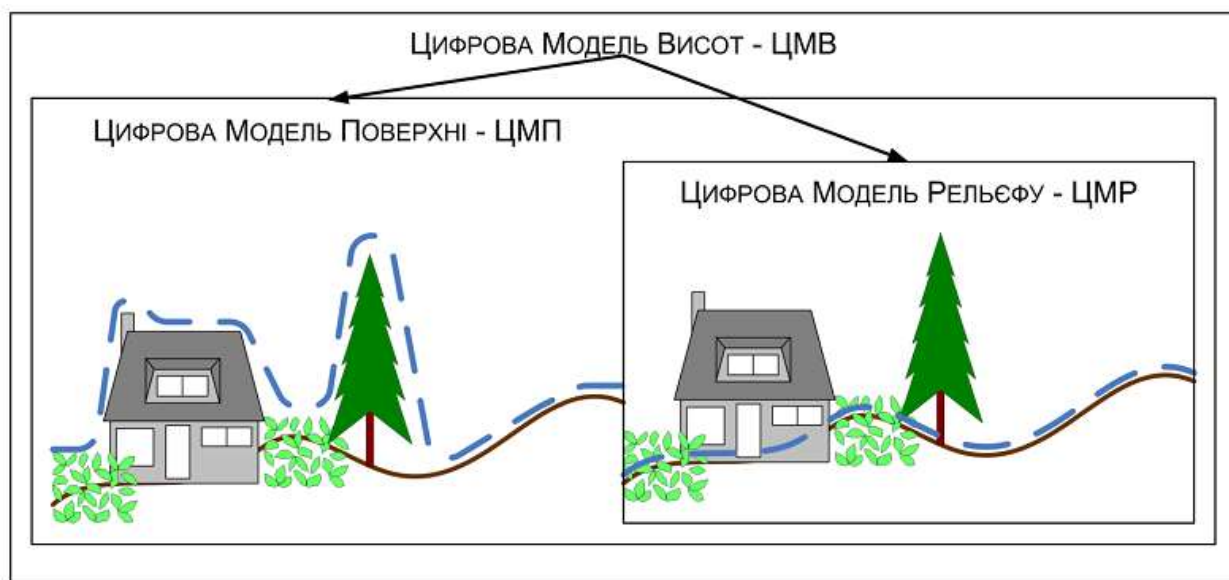


Рис. 2.1. Наочне уявлення про різницю між цифровими моделями поверхні та рельєфу

Цифрова модель поверхні (ЦМП) / Digital surface model (DSM) – цифрова модель зовнішньої оболонки земної поверхні (дерев, будівель, поверхні гідрологічних об'єктів). ЦМП розглядається як первинний продукт для отримання похідних цифрових моделей різних особливостей території (ЦММ та ЦМР). На практиці ЦМП використовуються для ландшафтно-архітектурного аналізу, урбаністичного моделювання, візуалізації особливостей розташування об'єктів на земній поверхні.

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) / Digital terrain model (DTM) – цифрове представлення рельєфу в його геоморфологічному розумінні, тобто топографічна модель оголеної земної поверхні. У випадку побудови ЦМР на основі ДДЗ рослинність, будівлі та створені людиною штучні елементи за допомогою спеціальних методів обробки усуваються, залишаючи лише земну поверхню, що знаходиться під ними. ЦМР активно використовуються для моделювання процесів перерозподілу тепла, вологи і речовини, повеневих явищ, вивчення особливостей землекористування.

Географічні інформаційні системи мають безліч переваг і можливостей, одна з них це перегляд зображень будь-якої місцевості. Google Earth – це безкоштовна програма, що була розроблена компанією Google для відображення тривимірної моделі Землі. Програма надає можливість переглядати зображення зроблені супутником, карти та різноманітні ландшафти.

Українська версія Google Earth має назву «Google Планета Земля». Google Earth була спочатку випущена компанією Keyhole, а потім куплена всесвітньо відомою компанією Google, яка в 2005 році зробила програму загальнодоступною. Існують також платні версії Google Earth Plus і Google Earth Pro, що відрізняються підтримкою GPS навігації, підвищеним розширенням друку, вимірюванням висоти, площі та різних об'єктів в тривимірному режимі.

Розглянемо елементи доступні в головному вікні Google Планета Земля:

1. **Панель пошуку**, використовується для пошуку місць, та керування результатом пошуку.
2. **Оглядова мапа**. Використовується для огляду Землі під новим кутом.
3. **Приховати/показати бічну панель**. Натисніть, щоб приховати або відобразити бічну модель (панелі «Пошук», «Місця», «Шари»).
4. **Позначка місця**. Натисніть щоб додати позначку місця для розташування.
5. **Багатокутник**. Натисніть, щоб додати багатокутник.
6. **Шлях**. Натисніть, щоб додати шлях або лінію.
7. **Накладання зображення**. Натисніть, щоб додати накладене зображення на поверхню Землі.

8. **Запис відео туру.** Ви можете записати процес відвідування декількох міст на карті, а потім переглянути цей маршрут.

9. **Показ історичних фотознімків.** За період з 1950 до 2020 року. Можна використати визначник часу (1) для вибору дати знімка (наприклад, 12.2022).

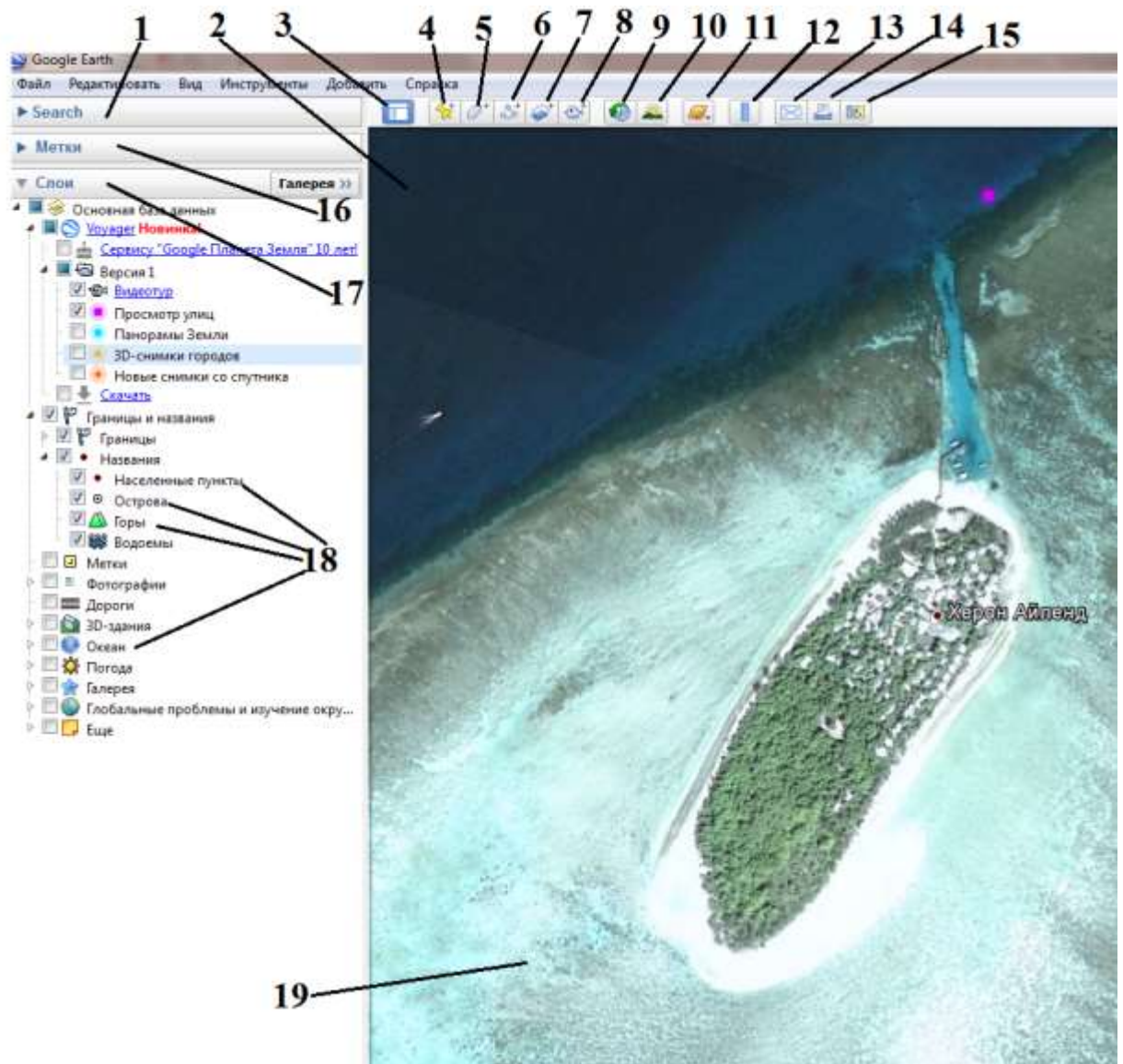


Рис. 2.2. Загальний вигляд головного вікна Google Планета Земля

10. **Сонце.** Натисніть, щоб відобразити яскравість сонячного світла на ландшафті.

11. **Небо.** Натисніть, щоб переглянути зірки, сузір'я, галактики, планети та Місяць.

12. **Виміряти.** Натисніть, щоб виміряти відстань або розмір області.

13. **Електронна пошта.** Натисніть, щоб відправити електронною поштою зображення.

14. **Друк.** Для відправки зображення на друк.

15. **Відобразити у службі «Карты Google».** Натисніть, щоб відобразити поточне подання у службі «Карты Google» у своєму перегляді.

16. **Панель «Місця».** Використовується для пошуку, збереження, упорядкування та швидкого переходу до позначок місця.

17. **Панель «Шари».** Використовується для відображення визначних місць.

18. **Різні варіанти шарів для перегляду.** Населені пункти, Острови, Гори, Океани тощо.

19. **Засіб тривимірного перегляду.** Використовується для перегляду поверхні Землі та ландшафтів.

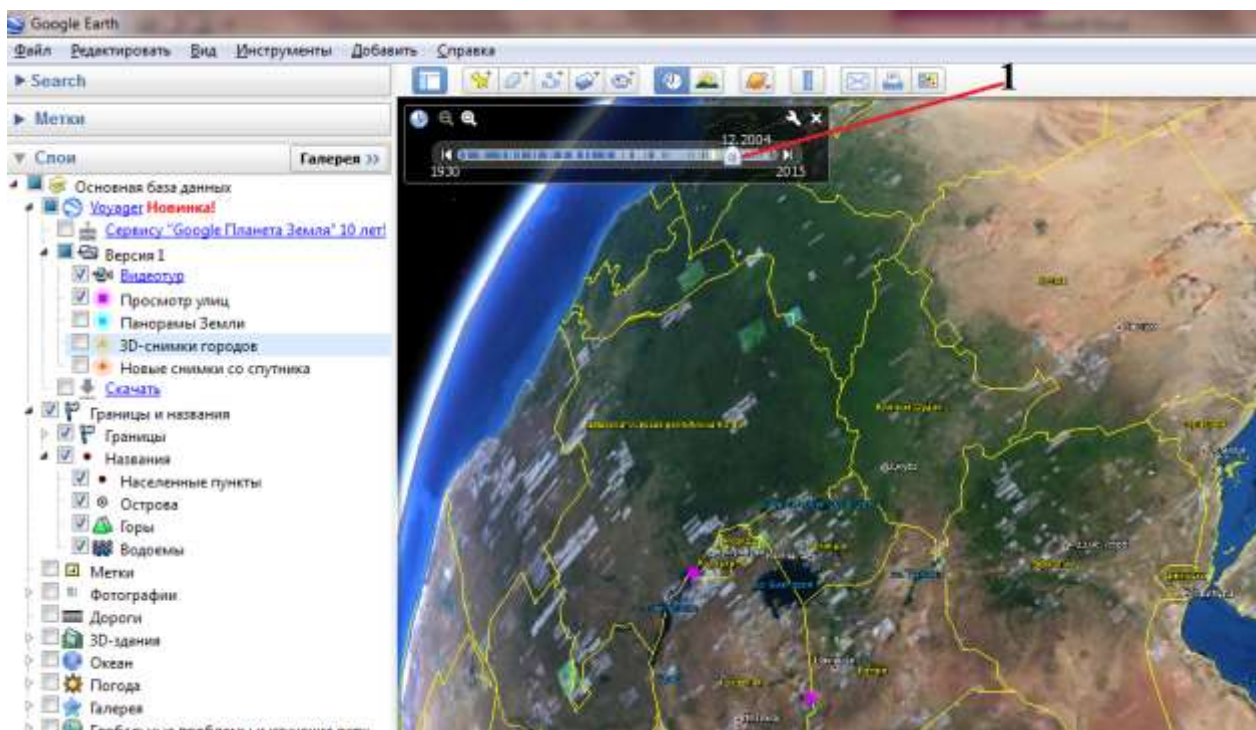


Рис. 2.3. Загальний вигляд головного вікна Google Планета Земля (час)

Переміщення в Google Планета Земля. У програмі Google Планета Земля сама Земля та ландшафт відображаються в засобі тривимірного перегляду. Переміститися в межах цього тривимірного зображення Землі можна таким чином:

- за допомогою миші;
- за допомогою елементів керування переміщенням.

Також можна змінити відображення Землі, змінивши кут огляду ландшафту для отримання перспективи, що відрізняється від перегляду згори.

Використання миші. Для переміщення за допомогою миші, слід розташувати курсор у центральній частині засобу тривимірного перегляду (зображення Землі), натиснути ліву, або праву кнопку миші, і переміщати її.

Пошук адрес і розташувань. Пошук певних розташувань у Google Планета Земля можна здійснити за допомогою вкладки **Переміститися до**. Для цього введіть розташування в поле введення та натисніть кнопку **Пошук**.

Формат	Приклад
Місто, штат	Буффало, Нью-Йорк
Місто країна	Лондон Англія
Номер вулиця місто штат	1600 Пенсільванія авеню Вашингтон Колумбія
Поштовий індекс або код	90210
Широта, довгота в десятковому форматі	37,7, - 122,2 координати потрібно вводити саме в такому порядку (широта, довгота)

Рис. 2.4. Загальний вигляд панелі пошуку Google Планета Земля

Google Планета Земля розпізнає наведені нижче типи умов пошуку, які можна вводити з комами або без них. Наприклад, вводимо: Україна, Кропивницький, ЦНТУ і кнопку пошуку.

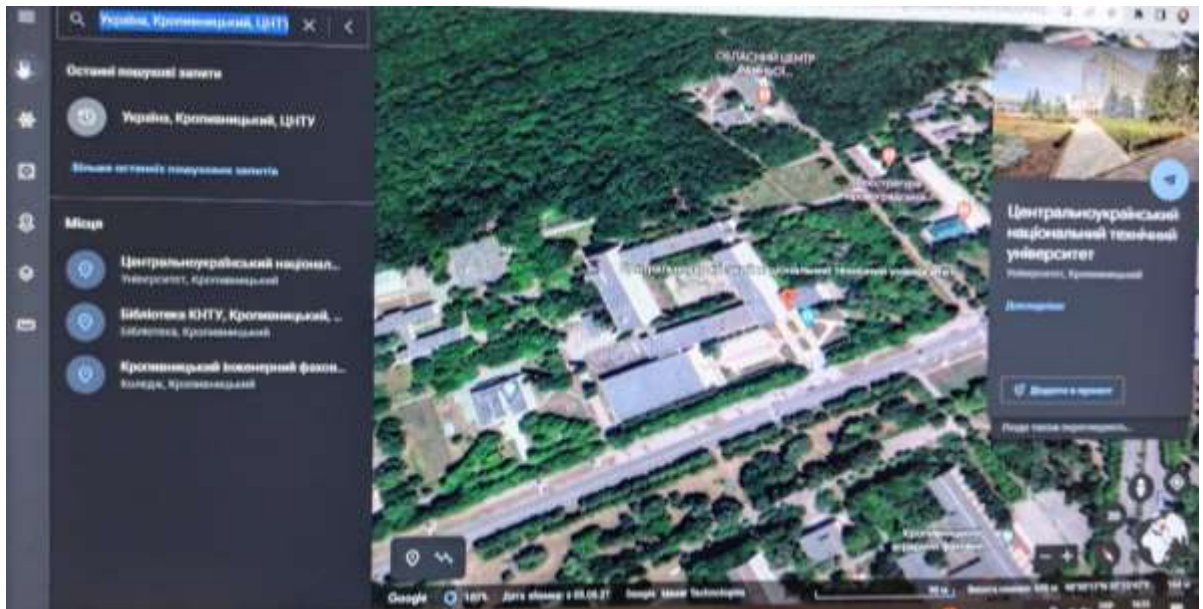


Рис. 2.4. Загальний вигляд заданого результату пошуку Google Планета Земля

Останні умови пошуку зберігаються в Google Планета Земля і відображаються під час введення відповідного тексту в полі пошуку. Щоб очистити історію пошуку, натисніть **Історія > Очистити Історію**.

Методи пошуку. Можна використовувати різні методи пошуку, серед них є такі:

– **Точні назви** (наприклад «Cost Plus World Market»). Частина назви (наприклад, Діснейленд).

– **Ключове слово** (наприклад коледжі, салон). Наприклад, у разі пошуку за ключовим словом *салон* відобразяться комерційні об'єкти класифіковані як салон.

– **Встановлення позначок.** На панелі *Місця* можна зберігати та впорядковувати місця, які ви відвідували, результати пошуку в довідниках і адресах.

– **Створення нової позначки місця.** Щоб додати нову позначку місця до будь-якої точки в засобі перегляду необхідно:

1. Розташувати засіб тривимірного перегляду так, щоб він вміщував точку, яку слід позначити. Налаштувати масштаб для забезпечення найкращого кута перегляду потрібного місця розташування.

Виберіть пункт **Позначка місця (Метка)** в меню **Додавання**.

Відображається діалогове вікно *Нова позначка місця*, а піктограма *Нова позначка місця* буде розташована в центрі всередині мерехтливих жовтого квадрата. Розташуйте позначку місця. Для цього розташуйте курсор на позначці місця доки вигляд курсору не зміниться на витягнутий вказівний палець і перетягніть позначку місця до потрібного місця розташування. Коли вигляд курсору змінюється на витягнутий вказівний палець, це означає, що позначку можна перемістити. Можна також зафіксувати розташування позначки місця та встановити розширені координати її місця розташування. Можна настроїти такі властивості нової позначки місця.

– **Назва** позначки місця.

– **Опис**, включно з текстом HTML.

– **Стиль, колір.** Виберіть колір, масштаб (розмір) і рівень прозорості позначки місця.

– **Перегляд.** Виберіть місце розташування позначки місця. Тлумачення термінів, вжитих на цій вкладці, відображається в разі підведення вказівника миші до кожного поля. Клацніть, зробити знімок цієї місцевості, щоб застосувати поточний вигляд (ширину та кут нахилу камери) до цієї позначки місця.

– **Висота.** Виберіть висоту позначки місця для відображення над ландшафтом, увівши числове значення. Виберіть *Перенести на поверхню землі*, щоб позначка місця відображалася, як додаток до лінії закріпленої на поверхні Землі.

– **Піктограма.** Клацніть піктограму позначки місця (у верхньому правому куті діалогового вікна), щоб вибрати іншу піктограму.

2. Натисніть кнопку **ОК**, щоб застосувати дані, введені в діалоговому вікні позначки місця.

Позначка місця відображається в засобі тривимірного перегляду й як елемент у вибраній папці. Після збереження позначки місця завжди можна змінити її місце розташування та властивості.

Збереження визначного місця. Можна зберегти будь-яке визначне місце, що відображається в засобі тривимірного перегляду, в папці **Мої місця**. Для цього клацніть правою кнопкою миші позначку місця в засобі тривимірного перегляду і виберіть пункт **Зберегти в «Моїх місцях»**.

Можна також використати функцію копіювання:

1. Клацніть кнопкою миші визначне місце і виберіть команду **«Копіювати»**.
2. Відкрийте папку **«Мої місця»**, щоб відобразити кінцеву папку для визначного місця.
3. Розташуйте курсор на потрібній папці.
4. Клацніть правою кнопкою миші об'єкт і виберіть команду **«Вставити»**.

Використання шарів. Функція **Шари** у програмі Google Планета Земля забезпечує використання різних географічних об'єктів, які можна вибрати для відображення в області перегляду. Вони включають визначні місця, а також мапи, дороги, ландшафти та будівлі. Повний перелік шарів представлений на панелі *Шари*.

Увімкніть об'єкт (ШАР – Океан, Погода, 3D-будівлі, Панорами Землі тощо), позначивши його на панелі *Шари* (Панорами Землі **1**).

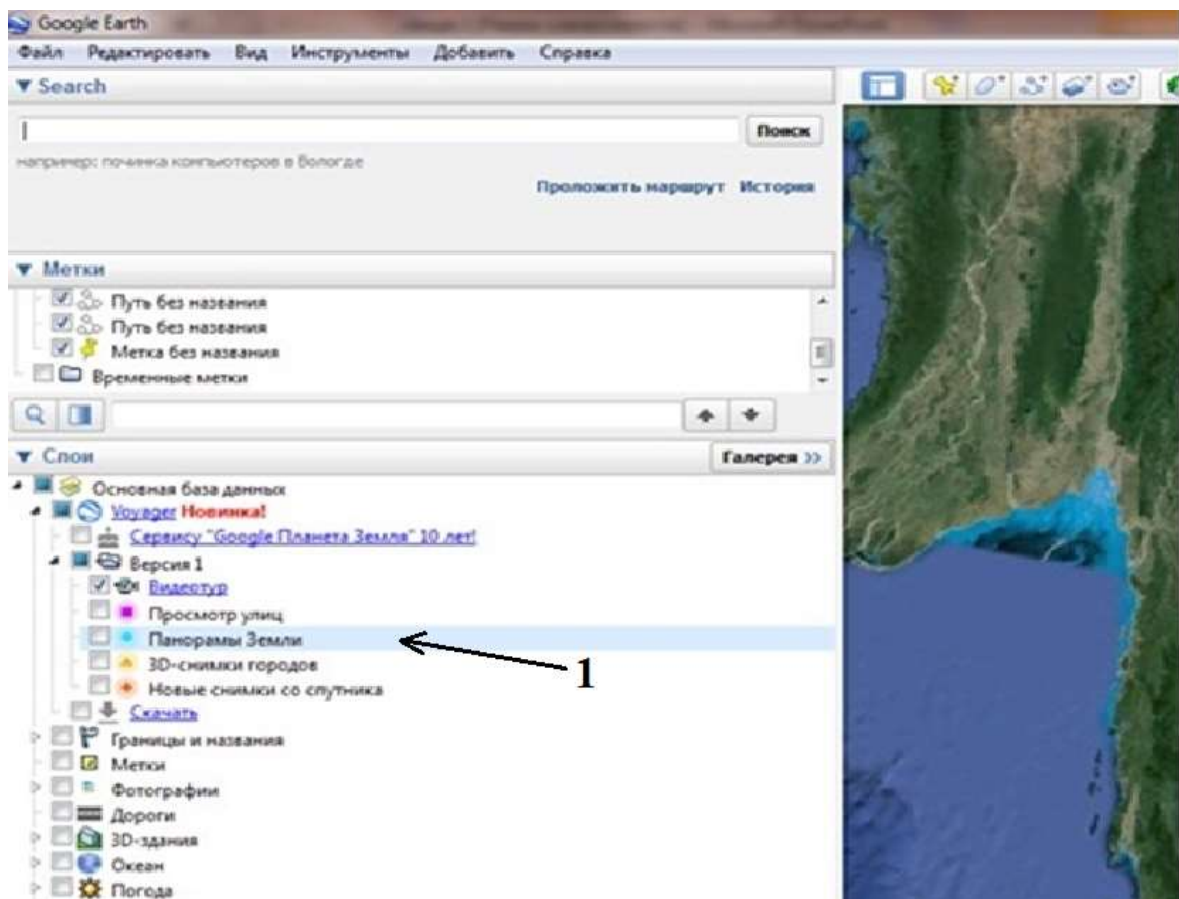


Рис. 2.5. Загальний вигляд панорами в Google Планета Земля

Вимкніть об'єкт знявши позначку.

За допомогою функції шарів у програмі Google Планета Земля можна виконувати такі дії:

- відображення та збереження визначних місць,
- відображення таких даних мап, як кордони, дороги та ландшафти,
- відображення тривимірних будівель.

Завдання:

1. Навести порівняльну характеристику та особливості використання найбільш вживаних цифрових моделей земної поверхні.
2. Описати значення і особливості програми Google Планета Земля.
3. Скачати програму Google Планета Земля, ознайомитись з її змістом.

Контрольні запитання:

1. Назвіть характерні особливості цифрової моделі висот?
2. Які існують терміни для позначення цифрових моделей земної поверхні?
3. В чому особливості використання ЦМВ, ЦМП та ЦМР?
4. З якою метою використовують програму Google Планета Земля і які її переваги?
5. Як здійснити переміщення в цій програмі?
6. Як проводиться пошук адрес і розташувань в програмі Google Планета Земля?
7. Які існують методи пошуку в цій програмі?
8. Як створити нову позначку місця в програмі Google Планета Земля?

Практична робота № 3

ЕТАПИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ

Мета роботи: вивчити етапи моделювання цифрової моделі висот, класи первинних топографічних даних, особливості радарної та лідарної зйомки.

Теоретичні відомості

Цифрове моделювання рельєфу важливий компонент сучасних ГІС та ключова складова геопросторового аналізу, яка об'єднує наступні важливі завдання:

1. Збір даних та генерування ЦМВ – збір первинних даних про висоту, формування зв'язків між різноманітними спостереженнями;
2. Маніпулювання – модифікація та покращення ЦМВ, отримання похідних проміжних моделей;
3. Інтерпретація – аналіз ЦМВ та отримання інформації на їх основі;
4. Візуалізація – графічне подання ЦМВ та отриманої на їх основі інформації;
5. Прикладне застосування ЦМВ – розробка відповідних прикладних моделей для різних дисциплін.

Існує декілька етапів моделювання (рис. 3.1).

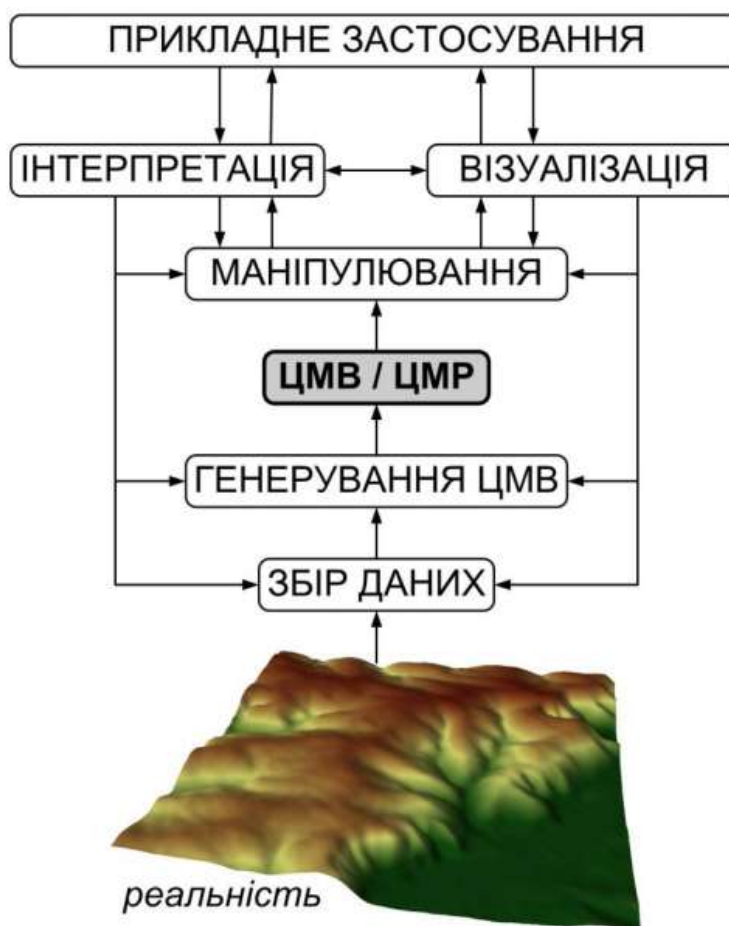


Рис. 3.1. Основні завдання пов'язані з цифровим моделюванням земної поверхні

Збір даних для створення ЦМВ. Передумовою створення ЦМВ є збір первинних (вихідних) даних про висотні відмітки. Вибір джерел даних та методів їх відбору є критичними для якості результуючої ЦМВ. Первинні дані повинні формуватись не лише на основі значень висоти земної поверхні, але і додаткової інформації щодо феноменів, які істотно впливають

на її форму та формують характерні риси (наприклад, зрошувальні канали, вододільні гребні, ділянки багатоповерхової забудови тощо).

Виділяють три класи первинних топографічних даних:

1. Дані наземного топографічного знімання.
2. Дані ДЗЗ та фотограмметрії.
3. Картографічні джерела.

Наземне топографічне знімання. Удосконалення топографо-геодезичних інструментів та розвиток GPS зробили наземне топографічне знімання більш доступним. Його дані легко можуть бути введені до ГІС за допомогою передавачів, що безпосередньо з'єднані з польовими інструментами. Основними перевагами даних наземної зйомки є висока точність відтворення форми земної поверхні. Вона досягається за рахунок того, що досвідчені зйомники адаптують обстеження до характеру поверхні, фіксуючи значення висоти у найбільш важливих її точках та лініях, до яких належать найвищі та найнижчі висотні відмітки, сідловинні точки, структурні лінії (тальвеги, гребні, вододіли тощо), які утворюють «каркас» рельєфу. Це дозволяє отримати в результаті ЦМВ високої точності, але робить сам процес знімання трудомістким і дорогим. Тому наземне топографічне знімання виконується для невеликих проєктів (знімання водозборів, планування територій) або з метою уточнення даних, отриманих з інших джерел (наприклад, рельєф заліснених ділянок для ЦМП, отриманої на основі дистанційного знімання).

ДЗЗ та фотограмметрія. Основними типами дистанційних технологій, що використовуються для вивчення особливостей форми земної поверхні є зондування за допомогою радарів та лідарів, встановлених на борту авіа- і космічних носіїв, а також фотограмметрична обробка знімків.

Радарне ДЗ. Радар – радіодетекція та дальнометрія у мікрохвильовому діапазоні. В загальному розумінні означає систему для детекції повітряних, морських і наземних об'єктів, визначення їх дальності та геометричних параметрів.

Радар складається з таких елементів (рис. 3.2):

1. передавач,
2. приймач,
3. антена,
4. електронна система фіксації і обробки даних.

Передавач через регулярні інтервали генерує короткі послідовні спалахи (або імпульси) мікрохвиль (імпульс 1-3), які фокусуються антеною в пучок променів. Цей косий промінь освітлює ділянку земної поверхні орієнтовану під прямим кутом до напрямку руху платформи (дистанційного носія) радара. Антена отримує частину відбитої (або зворотно розсіяної) енергії від різних об'єктів, що знаходяться в межах відбиття променю (відбитий сигнал 1, 2). За допомогою вимірювання часової витримки між передаванням імпульсу та прийняттям зворотно відбитої «луни» від різних об'єктів може бути виміряна їх відстань від радара, а відтак і визначене місцеположення. Для розрізнення об'єктів реєструється також сила (інтенсивність) відбитого сигналу. По мірі просування платформи вперед відбувається реєстрація та обробка відбитих сигналів на основі яких формується двовимірне зображення земної поверхні.

Основними перевагами радарного знімання є широка смуга захоплення, висока точність та ефективність витрат, проведення знімання за будь-яких погодних умов. Все це обумовило значну популярність даних радарного зондування для побудови ЦМВ та їх використання для цифрового моделювання рельєфу.

Однак, радарне знімання має і певні обмеження. Вони пов'язані з тим, що жоден з сенсорів не здатен достовірно виміряти висоту земної поверхні під рослинним покривом. І навіть за відсутності наземного покриву висоти вимірюються з похибкою величина якої визначається технічними можливостями пристрою, погодними умовами, характером поверхні. Для мінімізації цих помилок використовують наземні контрольні точки, які не завжди просто коректно розташувати, особливо у віддалених районах з складним рельєфом.

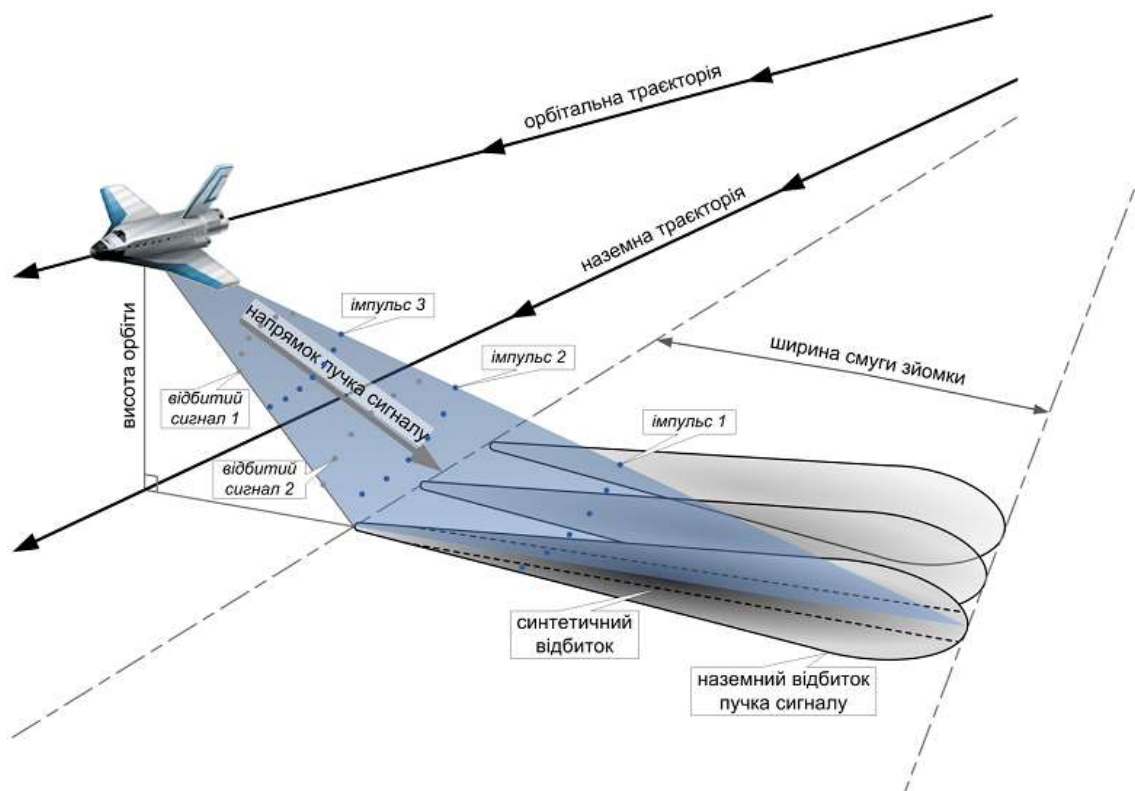


Рис. 3.2. Принцип дії радарного знімання

Первинна радарна ЦМВ містить два типи похибок – нерегулярні та регулярні. Нерегулярні помилки мають більші значення і можуть бути пов'язані з хибними гребенями вздовж заліснених лінійних форм рельєфу (річкові долини, елементи ерозійної мережі), відсутніми даними для ділянок топографічного затінення. Регулярний шум більш-менш рівномірно розподіляється по всій поверхні, оскільки він пов'язаний з дрібними неоднорідностями та їх впливом на відбивну здатність об'єктів в мікрохвильовому діапазоні.

Найкращі можливі стандартні похибки визначення висоти за допомогою космічних радарних систем коливаються в діапазоні 1-10 м, але за несприятливих умов вони можуть сягати і 100 м. Діапазон похибок радарного аерознімання коливається від 1 до 3 м. Для зменшення похибки використовуються осереднені дані багаторазових сканувань, що збільшує вартість кінцевого продукту. Для коректного представлення форми земної поверхні первинні дані потребують додаткової обробки.

Лідарне ДЗ. Лідар – технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття та розсіювання світла в прозорих і напівпрозорих середовищах. Як прилад, лідар являє собою активний дальномір, що працює в оптичному діапазоні та в якості джерела освітлення цілі використовує лазерні імпульси.

Технологія лідарного авіазнімання має в основі чотири компоненти (рис. 3.3):

1. випромінювач-приймач лазера, що сканує;
2. наземний та бортовий GPS-приймачі;
3. інерційний пристрій вимірювання з'єднаний з лазерним сканером;
4. електронна система управління та фіксації даних.

Лідарні системи вимірюють відстані на основі визначення часу необхідного для того щоб лазерний імпульс досягнув цілі, відбився і повернувся назад. Для точного визначення відстані цей час поділяється навпіл (подорож туди-назад) і помножується на швидкість світла. При цьому інерційний вимірювач фіксує обертання, кут нахилу та відхилення платформи носія, а GPS-приймач – точне положення та висоту лазерного сканера за кожного надісланого імпульсу.

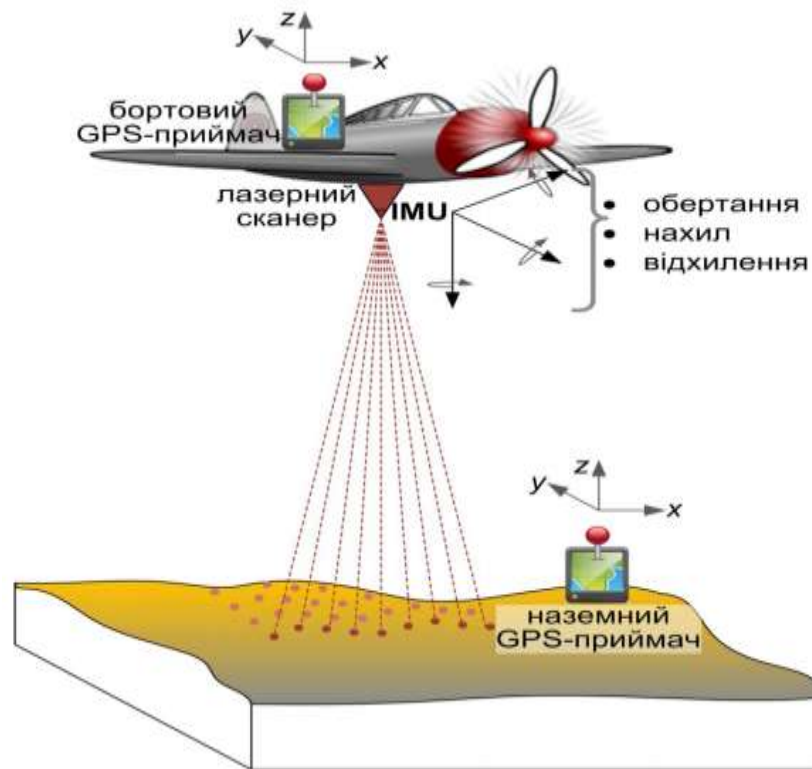


Рис. 3.3. Схематичне зображення принципу дії лідара

Встановлені на літаках лідарні системи десятки тисяч разів за секунду випромінюють, отримують та фіксують системи географічних координат багаторазові відбиття імпульсів від поверхні землі або наземних об'єктів. Чітка фіксація кожного відбитого сигналу в тривимірній системі координат дає змогу побудувати **точкову хмару** (point cloud), а від неї перейти до реалістичного тривимірного зображення місцевості (рис. 3.4).

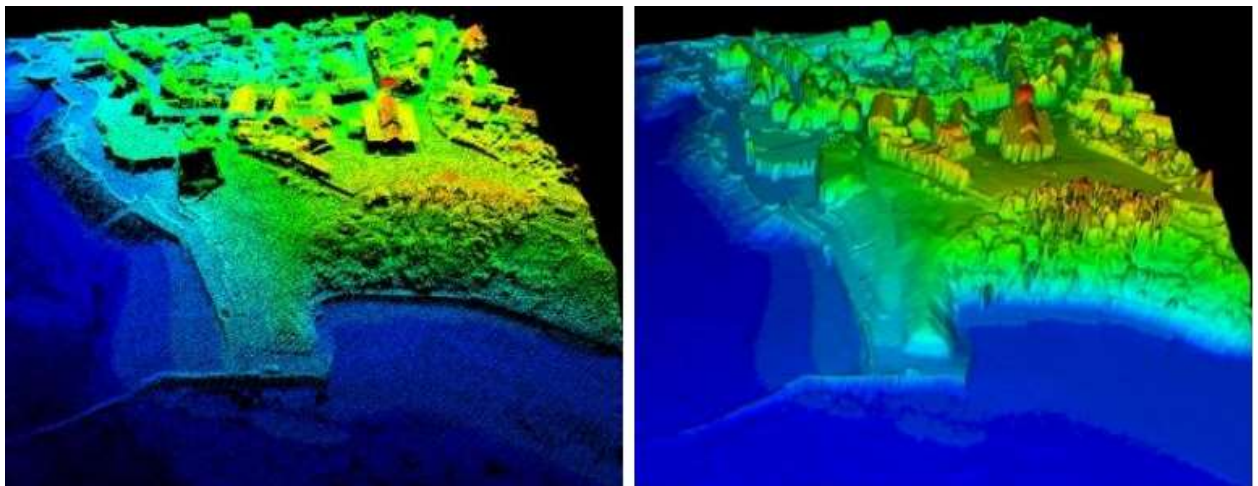


Рис. 3.4. Тривимірна візуалізація точкової хмари лідар (Lume Regis, 2007) кольори відповідають значенням абсолютної висоти (ліворуч) та побудованої на цій основі ЦМП (праворуч)

Дані лідар вирізняються багатьма позитивними рисами. Їх важливою перевагою є здатність визначати не лише відстані до непрозорих цілей та їх геометричні характеристики, але і аналізувати властивості прозорого середовища, що розсіює світло.

Отримані на основі лідарного знімання ЦМП високої РЗ (менше 1 м) призвели до цілої низки удосконалень в дослідженнях земної поверхні. Наприклад, більшість процесів в ландшафті, пов'язаних з переміщенням речовини та вологи (ерозійні, зсувні), потребують точного кількісного оцінювання, оскільки їх перебіг визначає динаміку самого ландшафту і особливості господарського використання території. Незважаючи на доступність, дані радарного знімання не здатні якісно зафіксувати ці явища, оскільки мають занизьку РЗ для даних цілей. Тому здатність лідарів фіксувати дрібні та приховані риси поверхні (річкові тераси, елементи ерозійної мережі), вимірювати висоту земної поверхні під рослинним покривом, краще розрізнити спадистість, опуклість-увігнутість, визначати незначні зміни в абсолютній висоті між повторюваними обстеженнями відкрили нові можливості.

Комерційні системи лідар мають наземну частоту фіксації значень від 0,25 до 2 м, а горизонтальну точність – 0,5-0,75 м залежно від спадистості поверхні, висоти польоту та кута нахилу сканування. Вертикальна точність коливається в межах 0,15-0,5 м. При цьому дані про рослинність, рельєф та структурні елементи земної поверхні збираються в автоматизованому режимі (рис. 3.5). В результаті, досягається точність картографування, яка раніше була доступна лише у випадку значної кількості наземних знімачів. При цьому істотно скорчуються витрати часу на створення ЦМВ для певної території – весь процес від знімання до остаточної підготовки ЦМВ займатиме від декількох тижнів до місяця.

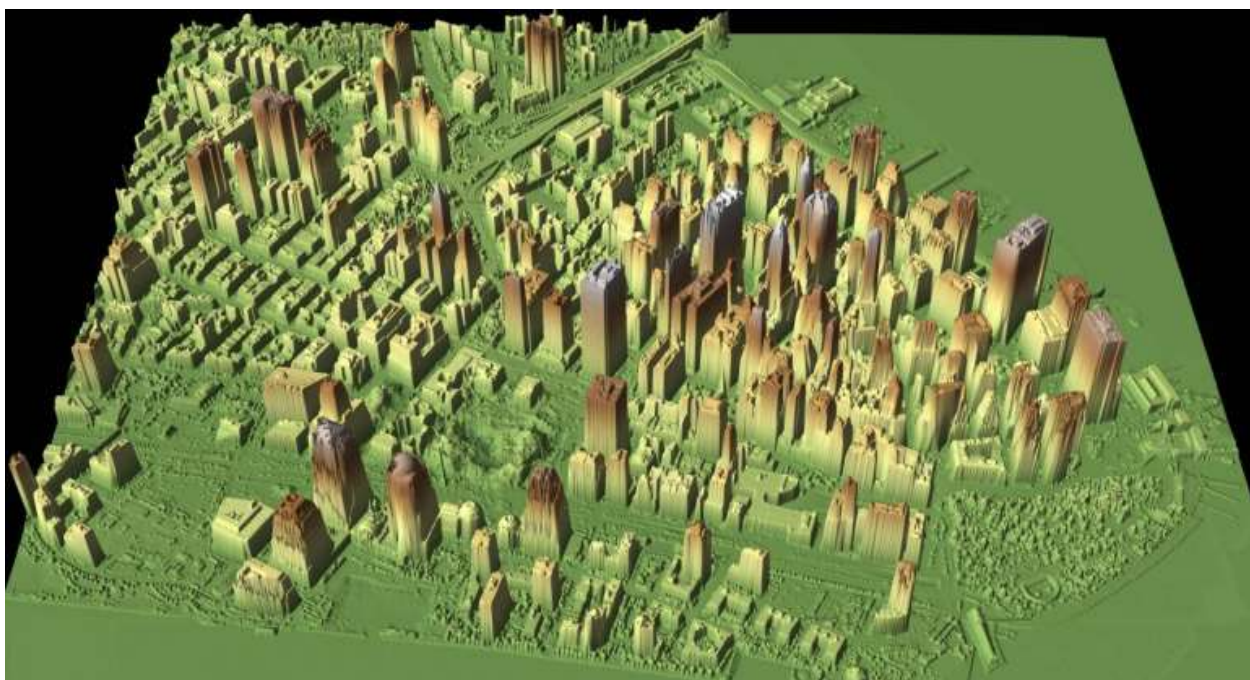


Рис. 3.5. ЦМП нижнього Манхеттена, Нью-Йорк, отримана на основі лідарного знімання 27 вересня 2001 р. (NOAA/ U.S. Army, 2001)

Дані лідар мають і певні недоліки. Хоча лідарне знімання і належить до методів активного ДЗЗ (тобто використовує власне джерело випромінювання), воно може бути неефективним за поганих погодних умов (злива, туман, мряка). До того ж імпульси лідар зазвичай абсорбуються водою, відтак відбиті сигнали від водної поверхні є ненадійними, що ускладнює визначення контурів водних об'єктів. Також території, що характеризуються добре розвиненим рослинним покривом, відзначаються низькою проникністю знімання і складністю у визначенні особливостей рельєфу. Технологія лідар є відносно новою та стандартні процедури підготовки і обробки «сирих» даних ще не розвинені тут так добре, як, наприклад в фотограмметрії. Цей вид робіт вимагає висококваліфікованих кадрів. З огляду на це, технологія лідар та отримані з її застосуванням дані є досить дорогими, що робить їх менш поширеними.

Фотограмметрія – технологія визначення властивостей місцеположення, геометрії) наземних об'єктів та їх картографування на основі аналізу фотографічних зображень земної поверхні. В її основі лежить дистанційне отримання зображень камерами, встановленими на борту аеро- або космічних літальних апаратів. Знімання може бути здійснене кадровими та панорамними фотоапаратами, а також за допомогою радіолокаційних, телевізійних, теплових та лазерних систем.

Комплекс фотограмметричних робіт складається з двох базових частин. Перша частина – фотографування місцевості. Зазвичай фотокамера встановлюється на авіаносії та спрямовується вертикально донизу. Під часу руху літального апарату вздовж маршруту знімання робляться багаторазові знімки території таким чином, щоб вони мали між собою перекриття.

Друга частина – визначення на основі двовимірних зображень координат точок об'єкта в тривимірному просторі (рис. 3.6). В найпростішому випадку координати точки в тривимірному просторі визначаються на основі двох або більше фотозображень, зроблених з різних позицій (стереоскопія). Спочатку ідентифікується точка, що є спільною для декількох зображень. Після цього точка місцезнаходження фотоапарату та точка, що становить інтерес, з'єднуються «лінією візування» (променем). Відповідно, місцеположення точки в тривимірному просторі буде знаходитись на перетині цих ліній.

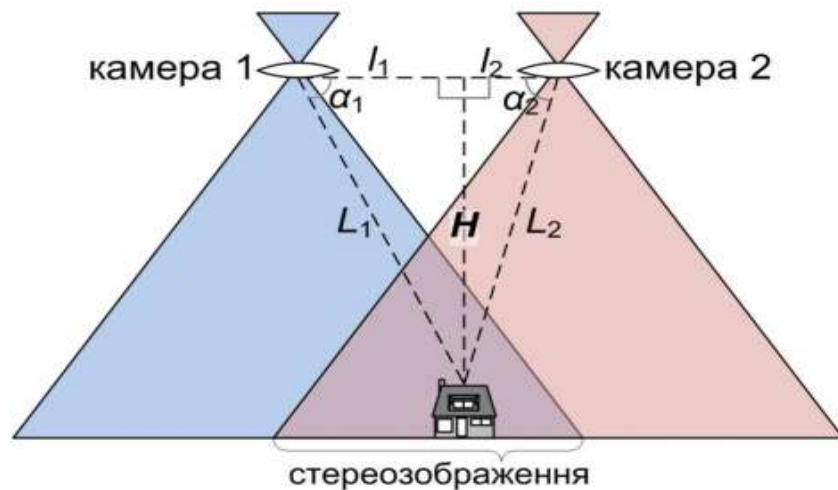


Рис. 3.6. Триангуляція в фотограмметрії

При проведенні фотограмметричних робіт, як вхідними, так і вихідними можуть бути наступні види даних:

- координати, що визначають місцеположення точок об'єкта в географічному просторі;
- координати на знімку, що визначають положення точок об'єкта в системі координат фотошлівки або цифрового знімка;
- параметри зовнішнього орієнтування фотокамери (тривимірні координати центру проєкції, повздовжній та поперечний кути нахилу знімання, кут повороту), що визначають її положення в просторі та напрямок знімання;
- параметри внутрішнього орієнтування фотокамери (фокусна відстань об'єктиву, координати головної точки, деформація фотоматеріалу та інші), що визначають геометричні особливості процесу знімання.

На основі цих та інших додаткових даних можливе більш точне встановлення відстаней та координат точок об'єктів, а також уточнення масштабу та особливостей СК.

Фотограмметрія, як технологія вивчення земної поверхні, відзначається багатьма позитивними рисами. В першу чергу вони пов'язані із можливістю дистанційного автоматизованого збору значної кількості високоточних даних про особливості земної поверхні та розташованих на ній об'єктів. Це робить процес збору первинної інформації

об'єктивним та продуктивним. При цьому забезпечуються безперервне покриття території. Ще однією важливою рисою фотограмметричних даних є можливість варіювати щільність точок для яких визначаються висота та просторові координати. Це дає можливість точніше відобразити ділянки з складним рельєфом та уникнути надлишковості даних, зменшуючи щільність точок для однорідних територій. Фотограмметрична обробка знімків є добре розвинуеною технологією моделювання, визначення та усунення похибок, що значно спрощує процес підготовки «сирих» даних.

До основних недоліків фотограмметрії можна віднести непряме отримання координат точки в тривимірному просторі (розрахунок на основі двох відомих), що потенційно може збільшити похибку. Наступним важливим обмеженням є пасивність зондування, тобто сенсори, що використовуються, здебільшого не мають власного джерела випромінювання. Це означає, що знімання може бути проведене лише за умов оптимального освітлення і від них буде залежати якість результату. Хоча цифрова фотограмметрія і є технікою швидкого отримання даних для великих площ, якість результату не дуже висока через потенційні помилки пов'язані з «шумом» цифрових даних. Складнощі також можуть виникнути під час поєднання та накладання знімків (особливо коли мова йде про великомасштабні зображення урбанізованих територій з щільною забудовою). Як наслідок, для підвищення якості даних обов'язково повинні бути застосовані процедури автоматизованого визначення помилок та їх корекції.

Співвідношення способів збору даних наведено в рисунку 3.7.

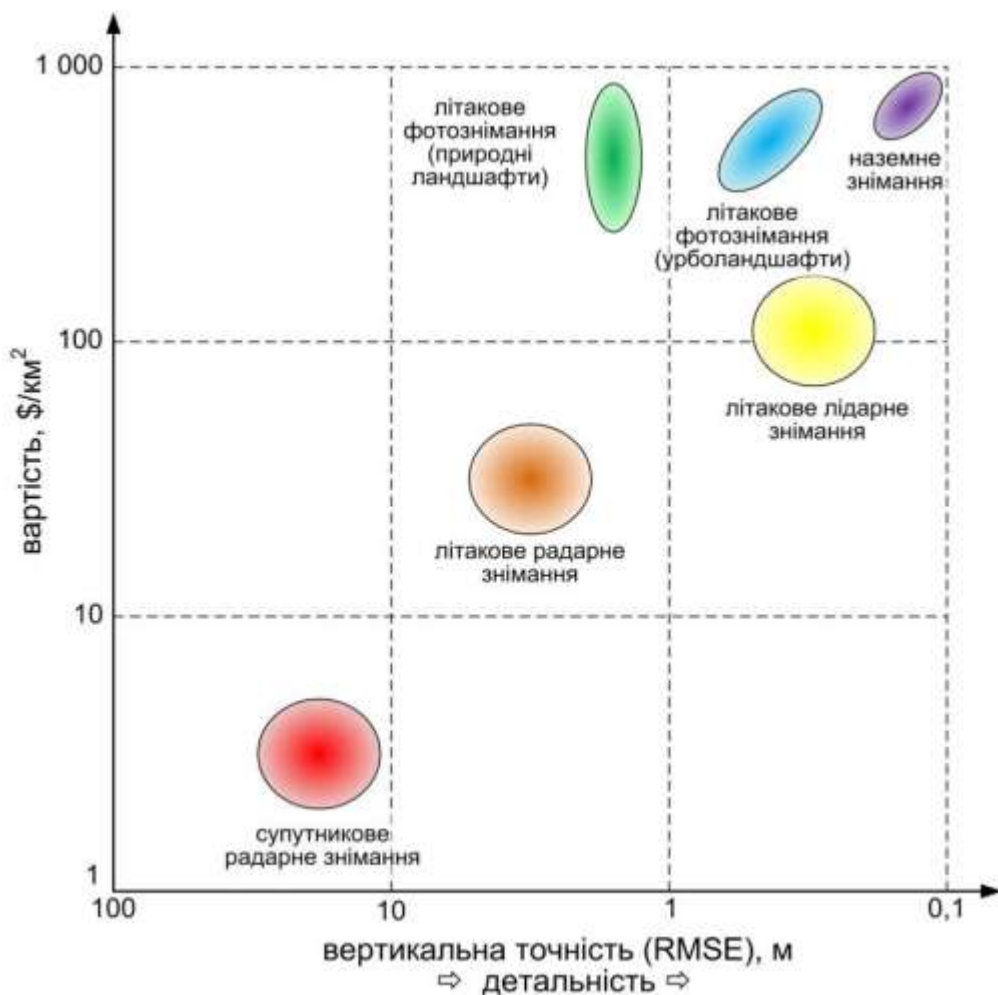


Рис. 3.7. Співвідношення основних способів збору даних для генерування ЦМВ

Картографічні джерела даних. Більшість даних такого типу було векторизовано в ручному або напівавтоматичному режимі з топографічних карт, які для деяких частин світу є єдиним джерелом даних про абсолютні висоти. Крім того, через відносно високу вартість прямих методів отримання даних про земну поверхню (знімання або фотограмметрія) та велику кількість наявних аналогових топографічних карт різних масштабів, цей метод є домінуючим для великих за просторовим охопленням проектів збору даних, особливо для державних картографічних та військових організацій. Відтак, переведення топографічних карт в векторний формат є одним з найважливіших напрямків діяльності картографічних організацій. Найпростіший набір таких даних зазвичай містить горизонталі та точкові відмітки висот, які також можуть доповнюватись структурним лініями рельєфу (тальвегами, вододілами, бровками та лініями перегину). Основною перевагою цього типу даних є їх відносна дешевизна та доступність. Горизонталі добре передають характерні риси рельєфу. А це означає, що при поєднанні з висотними відмітками вздовж структурних ліній, вони виступають готовою основою для створення саме ЦМР. Це позитивно відрізняє їх від ДДЗ, де для отримання ЦМР первинний продукт повинен пройти ретельну і дорогу обробку.

Ускладнення пов'язані з картографічними джерелами даних. В першу чергу це пояснюється тим, що горизонталі є лише засобом візуалізації рельєфу, які передбачають певну міру згладжування, що робить їх не дуже зручними для його цифрового представлення. Зазвичай вздовж горизонталей набирається надлишкова кількість точок, в той час як між ними їх недостатньо.

Дані отримані з топографічних карт придатні для створення ЦМР обмеженої точності. Покриття великих територій є досить дорогим, цифрові картографічні документи являють собою компромісний варіант для середньо- та дрібномасштабних досліджень

Дані характеризуються відповідно до їх використання в дослідженнях різного рівня детальності – масштабу (табл. 3.2). ДДЗ зазвичай використовуються при крупному масштабі, а висотні відмітки з горизонталей – середньому та дрібному відповідно.

Таблиця 3.2.

Просторові масштаби застосування ЦМВ та загальноприйняті джерела даних для їх генерування

Масштаб	РЗ ЦМВ	Джерела даних	Напрямки застосування
великий	5-50 м	- горизонталі та лінії водотоків з аерофотознімків і топографічних карт в масштабах 1 : 5000 – 50000 - характерні точки та висотні відмітки ліній тальвегів, отримані під час наземного знімання з застосуванням GPS - дистанційні дані про висоту, отримані за допомогою лазерних і радарних сенсорів встановлених на авіа – та космічних носіях	- гідрологічне моделювання - аналіз властивостей ґрунтів - топографічна корекція ДДЗ - вивчення впливу рельєфу на особливості перерозподілу сонячної радіації, випаровування та рослинного покриву
	50-200 м	- горизонталі та лінії водотоків з аерофотознімків і топографічних карт в масштабах 1 : 50000 – 200000 - характерні точки поверхні та висотні відмітки ліній тальвегів з карт масштабу 1:100000	- гідрологічне моделювання - оцінка біотичного різноманіття

середній	200 м - 5 км	- характерні точки поверхні та висотні відмітки ліній тальвегів з карт масштабу 1 : 100000-250000	- представлення температури поверхні та опадів з урахуванням висоти - вплив експозиції на кількість опадів - вплив форм поверхні на повітряні потоки - визначення водозбірних одиниць
середній та дрібний	5-500 км	- характерні точки поверхні та висотні відмітки ліній тальвегів з карт масштабу 1 : 250000 до 1 : 1000000 - національні архіви наземного топографічного знімання, пункти державної триангуляційної та геодезичної мережі	основні топографічні бар'єри для загальних моделей атмосферної циркуляції

Структурні лінії рельєфу, в першу чергу тальвеги, використовуються на всіх масштабних рівнях, окрім дрібного – на цьому рівні вже не можна очікувати від ЦМВ коректного відображення точного перерозподілу особливостей поверхневого стоку. При такому масштабі можуть успішно використовуватись точкові дані, такі як реперні відмітки та пункти триангуляції, зафіксовані національними архівами.

Завдання:

1. Описати завдання та етапи моделювання ЦМВ, класи первинних топографічних даних.
2. Навести порівняльну характеристику типів дистанційних технологій (радарна і лідарна зйомка, фотограмметрія), вказати їх характерні особливості, будову, принцип дії, технологію, переваги, недоліки.
3. Охарактеризувати картографічні джерела даних, вказати їх переваги та недоліки.
4. Надати просторові масштаби застосування ЦМВ та джерела даних для їх генерування.

Контрольні запитання:

1. Назвіть завдання цифрового моделювання рельєфу?
2. Які існують класи первинних топографічних даних?
3. Особливості наземного топографічного знімання?
4. Принцип дії і склад радарів?
5. Переваги та недоліки радарної зйомки?
6. Типи похибок радарної ЦМВ?
7. Діапазон похибок радарного аерознімання?
8. Що являє собою лідар?
9. Технологія лідарного авіазнімання?
10. Принцип вимірювання відстані лідарними системами?
11. Значення побудови точкової хмари лідарної зйомки?
12. Позитивні риси і переваги лідарної зйомки?
13. Недоліки лідарної зйомки?
14. Поняття про фотограмметрію?
15. Комплекс фотограмметричних робіт?
16. Які існують види даних при проведенні фотограмметричних робіт?
17. Позитивні риси фотограмметрії?
18. Назвіть основні недоліки фотограмметрії?
19. Особливості картографічних джерел даних?

Практична робота № 4

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Мета роботи: вивчити діапазони електромагнітного спектра, їх характеристики та особливості застосування. Вивчити спектрофотометричну класифікацію природних утворень та методику визначення коефіцієнту спектральної яскравості.

Теоретичні відомості

Фізичною основою процесу дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) виступають властивості електромагнітних хвиль. Способом їх умовного впорядкування за взаємопов'язаними характеристиками частоти та довжини – від найбільш коротких з високою частотою (гама- та рентгенівські промені) до найдовших з низькою (мікро- та радіохвилі) виступає електромагнітний спектр (рис. 4.1).

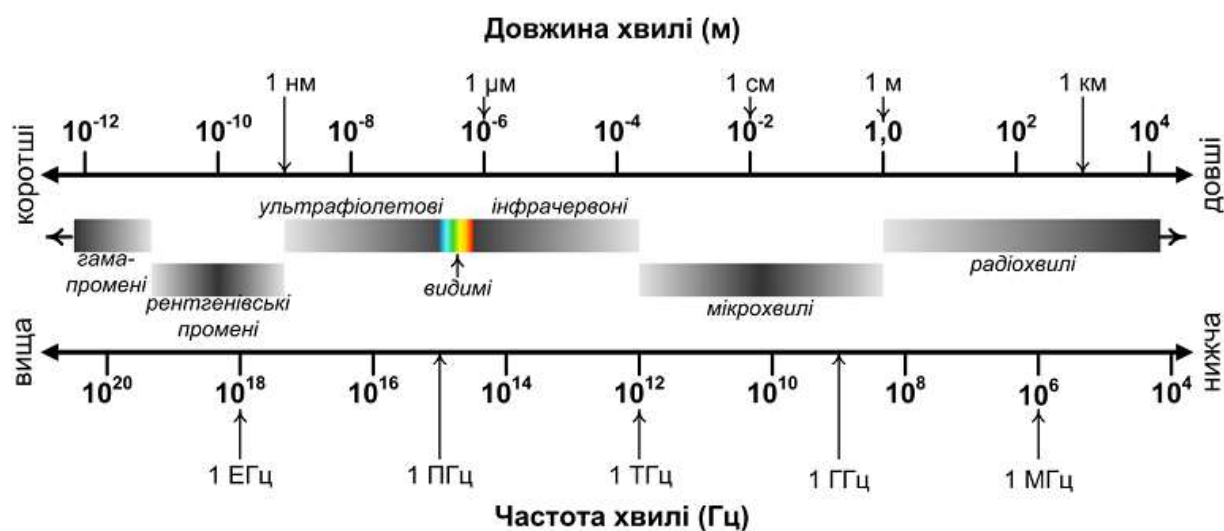


Рис. 4.1. Електромагнітний спектр

Основні діапазони електромагнітного спектра в ДЗЗ. Для дистанційного зондування Землі із космосу використовують ультрафіолетовий, видимий, інфрачервоний та радіочастотний діапазони електромагнітних випромінювань (табл. 4.1). Безпосередньо у практиці ДЗЗ із космосу на даний час застосовують тільки частки вказаних діапазонів електромагнітних випромінювань через обмеження, що пов'язано з прозорістю атмосфери. Існує кілька спектральних інтервалів, в яких електромагнітне випромінювання майже цілком пропускається атмосферою – це так звані вікна прозорості атмосфери.

Таблиця 4.1.

Розподіл спектральних інтервалів у ДЗЗ

Спектральний інтервал	Довжина хвилі λ	Позначення
Ультрафіолетовий	менше 0,38 мкм	УФ
Видимий	0,38 - 0,76 мкм	ВД
Ближній інфрачервоний	0,76 - 1,4 мкм	БІЧ
Середній інфрачервоний	1,4 - 7,5 мкм	СІЧ
Дальній (тепловий) інфрачервоний	7,5 мкм - 1,0 мм	ДІЧ
Мікрохвильовий	1 - 10 мм	МХВ
Радіочастотний	2,9 - 3,3 см	X-см
	5,7 - 6,1 см	C-см
	8 - 12 см	S-см

	21 - 30 см	L-см
	60 - 70 см	P-см

Зміни рослинності краще відображаються в діапазоні електромагнітних хвиль 0,6-0,9 мкм. На космічних знімках ґрунт яскравіше, ніж зелена рослинність, в діапазоні 0,66-0,72 мкм, а зелена рослинність яскравіша за ґрунт в діапазоні 0,72-0,8 мкм.

Ультрафіолетовий (УФ) – найкоротші хвилі, які використовуються в ДЗЗ. Деякі матеріали земної поверхні (гірські породи та мінерали, рослини, наприклад, полин) випромінюють світло при опроміненні УФ-радіацією. Це явище отримало назву **флуоресценції** і може бути зареєстроване при зніманні об'єктів в УФ-зоні спектра. Практична реалізація досліджень даного напрямку обмежується складнощами, які виникають в результаті сильного розсіювання УФ хвиль, як найкоротших, атмосферою. Інтенсивне розсіювання робить сигнал слабким і майже непридатним для дистанційної реєстрації, тому подальший розвиток напрямку пов'язують з розробкою надчутливих сенсорних систем.

Видимий – отримав таку назву тому, що це світло, яке здатен реєструвати (бачити) «дистанційний прилад» людини – око. Дану зону спектра ми асоціюємо з кольорами, вся ж інша частина радіації залишається невидимою для людських очей і може бути зафіксована лише за допомогою спеціальних приладів. Синій, зелений та червоний є основними кольорами або довжинами хвиль видимої частини спектра. Такими вони вважаються завдяки тому, що жоден основний колір не може бути утворений завдяки суміші інших, але всі інші кольори можуть бути утворені шляхом комбінації синього, зеленого та червоного у різних пропорціях. Порівняно з іншими зонами спектра видима частина є надзвичайно вузькою, але надзвичайно важливою для ДЗЗ, оскільки знаходиться в межах «оптичного вікна» або «вікна прозорості» – області спектра, яка майже не поглинається земною атмосферою. Ця особливість робить видиме світло основним постачальником інформації про земну поверхню в ДЗЗ. Знімання у видимій зоні спектра асоціюється з традиційним кольоровим зображенням, хоча можливі деякі специфічні комбінації різних спектральних каналів, що дозволяють підкреслити різні особливості території знімання.

Інфрачервоний (ІЧ) включає довжини хвиль, що знаходяться в діапазоні від 0,7 до 100 μm (тобто майже в 100 разів ширший за видимий). Цей діапазон може бути розділений на дві частини залежно від властивостей радіації: відбита ІЧ та власна або термальна ІЧ радіація. Радіація у відбитій ІЧ зоні (0,7-3,0 μm) використовується в ДЗЗ подібно до видимої.

Термальна ІЧ радіація (3-100 μm) істотно різниться з відбитою, оскільки вона є радіацією, що випромінюється земною поверхнею у формі тепла, тому вивчення об'єктів в цій зоні спектра дозволяє фіксувати їх температурні характеристики.

Мікрохвильовий (1 мм – 1м) представляє найдовші хвилі, які використовуються в ДЗЗ. Коротші хвилі цього діапазону мають властивості подібні до термальної ІЧ радіації, а найдовші – наближаються до радіохвиль: штучних (які можуть генеруватись створеними людиною передавачами) та природних (як випромінювання активних зірок). Мікрохвильове ДЗЗ відіграє важливу роль в отриманні даних про форму земної поверхні на основі яких створюються її цифрова модель висот (ЦМВ).

Поняття коефіцієнту спектральної яскравості. Носієм інформації про земну поверхню при вивченні її дистанційними методами є відбите або власне випромінювання зафіксовані характеристики якого залежать від просторового положення, властивостей і стану об'єкта, що сприяє його дистанційній ідентифікації. Кожний об'єкт на земній поверхні по різному відбиває (а в деяких випадках випромінює) хвилі різної довжини залежно від своїх особливостей, наприклад, внутрішньої структури або шорсткості поверхні. Відповідно, якщо фіксувати у вигляді кількісних значень та вміти інтерпретувати залежність між довжиною хвилі та особливостями її відбиття / випромінювання різними наземними об'єктами, можна отримати багато інформації щодо зовнішніх та внутрішніх властивостей цих об'єктів. Такі кількісні значення, які характеризують відбивальну здатність об'єкта та фіксуються в

цифровій формі за допомогою дистанційного датчика (сенсора), називають коефіцієнтами спектральної яскравості.

Коефіцієнт спектральної яскравості (r_λ) – відношення яскравості поверхні B , що вивчається, в певній частині спектра λ (B_λ) до яскравості поверхні ідеального розсіювання, яка повністю відбиває випромінювання, що до неї надходить (B_0).

$$r_\lambda = \frac{B_\lambda}{B_0} \quad (4.1)$$

Його значення знаходяться між двома умовними екстремумами – абсолютно чорним тілом (хвилі всіх довжин поглинаються і відбивна здатність дорівнює 0 або 0 %) та абсолютно білим тілом (хвилі всіх довжин відбиваються і відбивна здатність становить 1 або 100%).

Умовно все різноманіття компонентів ландшафту можна розділити на класи та типи, кожен з яких відрізняється своєю середньою кривою спектральної яскравості (рис. 4.2).

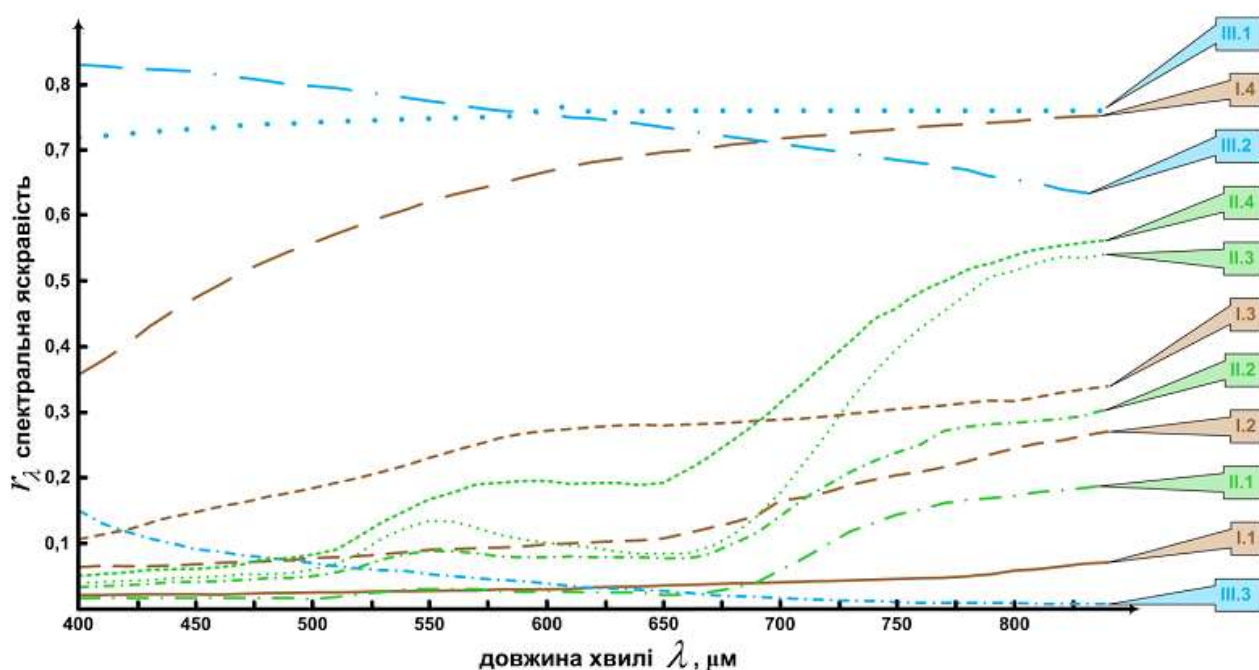


Рис. 4.2. Характерні криві відбивальної здатності основних типів природних утворень

На цій основі була розроблена та обґрунтована спектрофотометрична класифікація природних утворень:

Клас I. Ґрунти

Тип 1. Крива, що рівномірно піднімається в напрямку до червоного кінця спектра ($r_\lambda=0,022-0,071$). Типовими представниками є чорноземні та супіщані ґрунти, ґрунтові дороги тощо.

Тип 2. Крива, що рівномірно підіймається в тому самому напрямку у видимій області спектра та з більш інтенсивним підйомом в інфрачервоній області. Крім того, вся крива розташована вище кривої першого типу ($r_\lambda=0,064-0,270$). Типовими представниками є опідзолені та суглинкові ґрунти, шосейні дороги, деякі типи будівель тощо.

Тип 3. Крива має більш інтенсивний підйом та опуклість на ділянці спектра з λ 550-650 μm . Крім того, вся крива розташована ще вище ($r_\lambda=0,168-0,341$). Типовими представниками є піски і деякі гірські породи.

Тип 4. Опукла крива з інтенсивним підйомом, розташована значно вище всі трьох попередніх ($r_{\lambda}=0,357-0,753$). Утвореннями, що належать до даного типу є вапняк, глина та деякі інші найбільш світлі об'єкти.

Клас II. Рослинні утворення

Тип 1. Крива з дуже слабким максимумом в видимій області спектра ($r_{max}=0,031$) розташована дуже низько, піднімаючись незначною мірою в інфрачервоній області спектра ($r_{\lambda}=0,189$). Типовими представниками є хвойні породи лісових насаджень в зимовий період.

Тип 2. Крива з більш чітким максимумом в видимій області спектра ($r_{max}=0,088$), розташована значно вище попередньої та підіймається помітно вище в інфрачервоній області ($r_{\lambda}=0,305$). Типовими представниками є хвойні породи лісових насаджень в літній період, суходільні луки та загалом трав'яні покриви з недостатньо соковитою рослинністю.

Тип 3. Крива з різко вираженим максимумом в жовто-зелених променях ($r_{max}=0,134$) та дуже високим підйомом в інфрачервоній області ($r_{\lambda}=0,542$). Типовими представниками є лісові насадження листяних порід в літній період та всі трав'яні покриви з рясною та соковитою рослинністю.

Тип 4. Крива з підйомом на усій зелено-помаранчево-червоній ділянці спектра ($r_{max}=0,190$) та високим підйомом в інфрачервоній області ($r_{\lambda}=0,564$). Типовими представниками є лісові насадження в осінній період та дозрілі (пожовклі) польові культури.

Клас III. Водні поверхні, водойми та сніговий покрив

Тип 1. Нейтральна високо розташована крива ($r_{\lambda}=0,720-0,760$). Типовим представником є сніг, вкритий льодовою кіркою.

Тип 2. Крива з поступовим та рівномірним підйомом в напрямку фіолетового кінця спектра ($r_{\lambda}=0,830-0,630$), високо розташована відносно вісі абсцис. Типовим представником є свіжий сніг, що випав нещодавно.

Тип 3. Крива з інтенсивним підйомом в фіолетовій області спектра та дуже поступовим зниженням в червоній частині спектра ($r_{\lambda}=0,150-0,007$). Типовим представником є водна поверхня під деяким досить великим кутом до нормалі, тобто така, що відбиває блакитне небо.

Вивчення характеристик хвиль та їх відбивної здатності дає теоретичне підґрунтя для практичної інтерпретації об'єктів за набором коефіцієнтів спектральної яскравості в різних зонах спектра. Таблиця 4.2 містить узагальнену інформацію щодо прикладного значення вивчення коефіцієнтів спектральної яскравості природних та антропогенних об'єктів земної поверхні в базових спектральних діапазонах ДЗЗ.

Таблиця 4.2.

Основні спектральні канали оптико-електронної апаратури КА ДЗЗ та застосування отриманої в них інформації

Найменування спектрального каналу (укр. / англ.)	Позначення спектрального каналу в документації	Довжини хвиль спектрального каналу, μm
	Використання супутникової інформації в ДЗЗ та ін. галузях	
1	2	3
Видимий синій Blue (violet)	band 0; B0	0,42-0,55
	Отримані дані використовуються в океанографічних дослідженнях та для проведення атмосферних корекцій даних ДЗЗ, при розрахунку індексів озелененості.	
Видимий синій Blue	band 1; B1	0,45-0,52
	Зона для відображення узбережжя, наносів, диференціації ґрунту від рослинності та широколистяної від хвойної флори, картографування типів лісу, виявлення штучних споруд. Менше підходить для оцінювання вегетації та хвойних лісів. В цій зоні добре фрагментуються гірські породи (сланці, фосфати), що сильно розсіюють синє світло в цій зоні, а іноді в зоні 2 (видимому зеленому).	

1	2	3
Видимий зелений Green	band 2; B2	0,52-0,60
	Зона відповідає максимальному коефіцієнту відбиття зеленої (здорової) рослинності та використовується для таксації лісу, угідь, штучних об'єктів місцевості та складання карт наносів.	
Видимий червоний Red	band 3; B3	0,63-0,69
	Зона для того, щоб розрізнити різновиди рослин оскільки містить смугу поглинання хлорофілу. Зміщення цієї смуги вздовж спектра може застосовуватись для визначення видового складу рослин. Використовується для визначення меж ґрунтів, штучних об'єктів.	
Ближній інфрачервоний Near InfraRed	band 4; B4 NIR	0,76-0,90
	Зона чутлива до кількості вегетаційної біомаси. Використовують для ідентифікації с-г культур, оцінювання врожайності, берегових ліній (за контрастом води / ґрунту). Максимум інтенсивності випромінювання хлорофілу від здорової рослинності отримується в характеристиці «червоної межі» по різниці між сигналами в 3 та 4 зонах спектра.	
Короткохвильовий інфрачервоний Short Wave InfraRed (Middle InfraRed)	band 5; B4 SWIR MIR	1,55-1,75
	Зона чутлива до вмісту води в рослинності та ґрунтах для визначення забезпеченості рослин вологою в критичні періоди, вивчення посухи. Речовина, що містить воду дає сигнал нижчий, ніж сухий матеріал. На ділянках вільних від рослинності в даному діапазоні спектра диференціюються відповідні оксиди заліза, що містяться в ґрунтах. Ця зона - одна з небагатьох в якій можна диференціювати хмари від снігу та льоду (низький сигнал - від снігу, інтенсивний – від хмар).	
Тепловий інфрачервоний Thermal InfraRed	band 6; B6 TIR	10,4-12,5
	Теплова ІЧ ділянка, що використовується для визначення температури підстильної поверхні, інтенсивності теплоти об'єктів. Ця зона призначена для оцінювання врожайності «на корені», виявлення та аналізу навантажень на рослинність, ступеня ураженості рослин хворобами, пошкодження шкідниками, негативних наслідків посухи. Має переваги для відображення темних породоутворюючих мінералів з високою щільністю.	
Короткохвильовий інфрачервоний Middle InfraRed	band 7; B7 MIR	2,08-2,35
	Зона важлива для виділення типів геологічних порід. В цій зоні багаті на кремній матеріали, пил в повітрі та оголені ґрунти часто дають високий сигнал. Зона важлива для виділення меж ґрунтів, а також аналізу ступеня зволоженості ґрунтів та рослинності.	

Завдання:

1. Навести порівняльну характеристику спектральних інтервалів у ДЗЗ (ультрафіолетовий, видимий, інфрачервоний, термальний ІЧ, мікрохвильовий).
2. Надати методичу визначення і особливості використання коефіцієнту спектральної яскравості.
3. Навести спектрофотометричну класифікацію природних утворень (клас, тип, крива, представники).
4. Описати основні спектральні канали оптико-електронної апаратури КА ДЗЗ та застосування отриманої в них інформації (табл. 2).

Контрольні запитання:

1. Які існують діапазони електромагнітного спектра в дистанційному зондуванні?
2. Видимий спектральний інтервал та його характеристика?
3. Особливості використання інфрачервоного та термального спектрального інтервалу?
4. Характеристика коефіцієнту спектральної яскравості?
5. Методика визначення коефіцієнту спектральної яскравості?
6. Які існують класи природних утворень за спектрофотометричною класифікацією?
7. Охарактеризуйте клас «Рослинних утворень» за спектрофотометричною класифікацією?
8. Охарактеризуйте клас «Ґрунтів» за спектрофотометричною класифікацією?
9. Охарактеризуйте клас «Водні поверхні» за спектрофотометричною класифікацією?
10. Особливості застосування видимого зеленого і червоного спектрального каналу при роботі апаратури космічних апаратів ДЗЗ?
11. Особливості застосування ближнього інфрачервоного і короткохвильового інфрачервоного спектрального каналу при роботі апаратури космічних апаратів ДЗЗ?
12. Особливості застосування теплового інфрачервоного спектрального каналу при роботі апаратури космічних апаратів ДЗЗ?

Практична робота № 5

СПЕКТРАЛЬНИЙ ІНДЕКС

Мета роботи: вивчити характеристику та особливості застосування вегетаційного індексу, методику визначення і призначення ґрунтової лінії та індексу нормалізованої різниці.

Теоретичні відомості

Одне з найбільш важливих завдань дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) – поглиблене вивчення процесів планетарної системи у різних масштабах. Біофізичні дослідження передбачають вивчення закономірностей поширення типів рослинності, фізичних та структурних особливостей тощо. Результати цих досліджень важливі для:

- раціонального природокористування,
- боротьби з скороченням площ лісів і спустеленням,
- впровадження сталого сільського господарства а розвитку сільських територій.

Для задоволення цих потреб в практиці аналізу даних дистанційного зондування (ДЗЗ) було розроблено цілу низку спеціальних показників – спектральних індексів.

Спектральний індекс – кількісний показник, що розраховується в результаті математичних операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) ДЗЗ. Більшість спектральних індексів виведені емпірично (на основі співставлення результатів польових, лабораторних та дистанційних вимірювань) і пов'язані з різними біофізичними параметрами рослинності: фотосинтетична активність, життєздатність, вміст вологи. Завдяки цьому поняття спектральний індекс та вегетаційний індекс часто використовуються як взаємозамінні.

Спектральний індекс повинен мати наступні властивості:

- бути пов'язаним з конкретними та вимірюваними біофізичними параметрами (площа листової поверхні, частка засвоєної фотосинтетично-активної радіації – ФАР) для полегшення встановлення аналітичного зв'язку з процесами функціонування екосистем;

- максимізувати чутливість до певних властивостей поверхні (біофізичних параметрів рослин). В ідеалі залежність між індексом та обраною властивістю повинна змінюватись лінійно для полегшення практичного застосування;

- нормалізувати або мінімізувати ефекти, пов'язані з умовами сонячного освітлення, станом атмосфери, топографічними умовами та параметрами сенсора.

Спектральні індекси можуть бути розраховані на основі даних багато- та мультиспектральних сенсорів.

Необхідність конвертації. Перш ніж надійти до користувача, ДДЗ проходять певні процедури обробки, зокрема – радіометричну корекцію. Вона передбачає масштабування отриманих сенсором значень у відповідності з фіксованою шкалою можливих значень яскравості елемента зображення. Діапазон цих значень визначається радіометричною роздільною здатністю (РЗ) матриці (кількістю рівнів яскравості): чим вища радіометрична РЗ, тим більший діапазон значень.

Застосування вегетаційного індексу. За допомогою даних ДЗЗ виявляються та локалізуються ділянки поля з аномальним розвитком рослинності. Знімки, отримані за допомогою супутників, опрацьовують і отримують показники стану рослинності (вегетаційні індекси).

Закономірності взаємодії рослинності з різними ділянками ЕМ-спектра. Клітини в листі рослин – активні агенти розсіювання світла завдяки контрастності його заломлення між багатим вологою вмістом клітин та міжклітинним простором, заповненим повітрям. Здорова зелена рослинність демонструє чіткі закономірності у взаємодії з відповідними ділянками ЕМ-спектра (рис. 5.1):

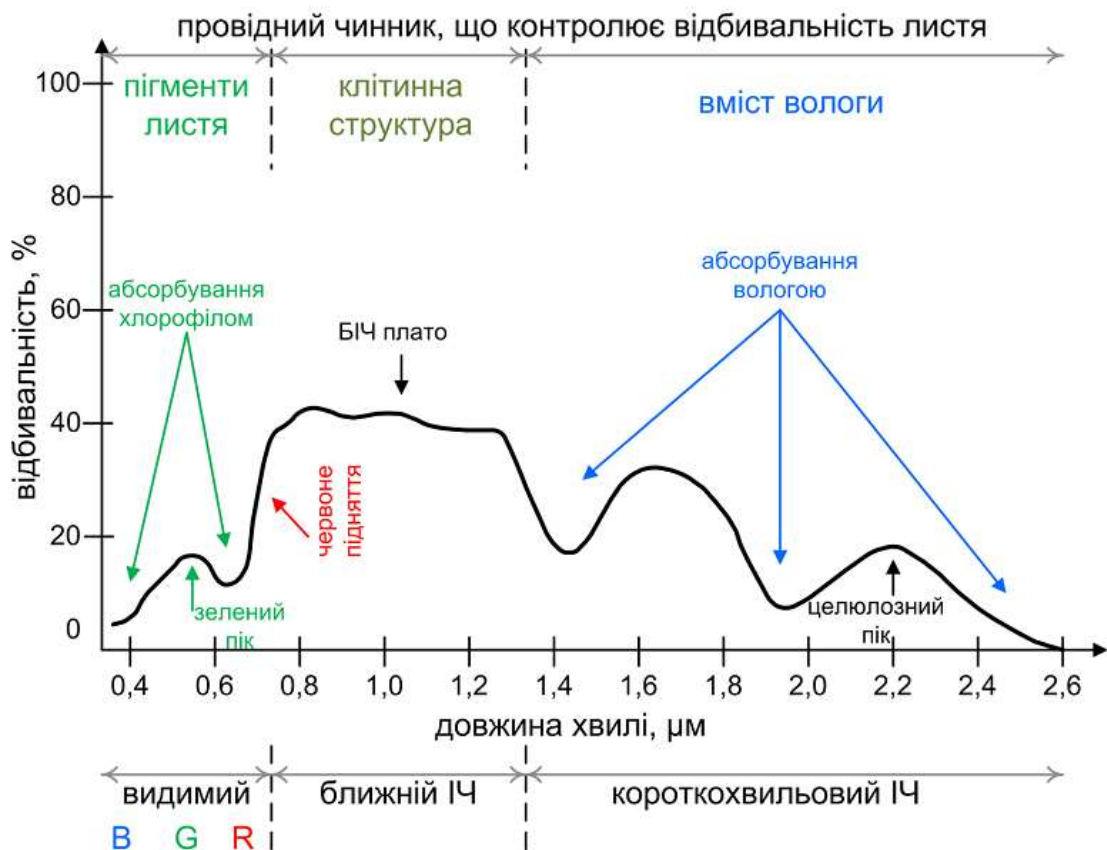


Рис. 5.1. Загальні закономірності зеленої рослинності до відбивання

У видимій частині спектра (400-700 нм) завдяки пігментам, що містяться в листі (хлорофіл, ксантофіл), відбувається активне абсорбування енергії для використання її в фотосинтезі. Максимуми абсорбування припадають на червону та блакитну ділянки спектра, в той час як в районі 550 нм (зелений) постерігається незначне підвищення відбивальних властивостей, завдяки зниженню абсорбувальної діяльності пігментів. Отже, рослинність в синій, зеленій та червоній ділянках видимого діапазону буде темною, хоча в зеленій виглядатиме дещо яскравіше.

В ближній ІЧ зоні спектра (700-1300 нм) особливості внутрішньої клітинної структури листя провокують інтенсивне відбиття та розсіювання, тому в цій частині рослинність виглядає дуже яскравою.

В короткохвильовій ІЧ зоні спектра (1300- 2500 нм) відбувається активне абсорбування листяною вологою та рослинними матеріалами, а також фіксується незначний целюлозний пік відбиття (близько 2 200 нм). Завдяки переважаючому поглинанню, в цій частині діапазону рослинність також виглядає темною, хоча і яскравішою, ніж у видимому.

Не дивлячись на те, що рослинність має високу відбивальну властивість в червоній і в зеленій частинах спектра, при побудові вегетаційних індексів зеленій канал не використовується. Є декілька пояснень, чому комбінація ближній ІЧ / червоний краща за зеленій / червоний:

- по-перше, рослини виглядають зеленими (яскравими в зеленому діапазоні) не стільки за рахунок того, що вони відбивають багато зеленого, скільки за рахунок активного абсорбування більшої частину діапазону видимого світла. До того ж, на практиці виявляється набагато легше ідентифікувати об'єкти, які виглядають яскравими, ніж ті, які виглядають темними;

- по-друге, в ранній практиці аналізу ДДЗ було з'ясовано, що комбінації ближній ІЧ / червоний набагато інформативніші за зеленій / червоний;

– по-третє, ґрунти проявляють властивості абсорбування в видимій частині спектра завдяки вмісту оксиду заліза. Ця характеристика стає менш інтенсивною, якщо ґрунти перекриваються рослинністю. Імовірно, що значна частка варіативності, виміряна зелено-червоними індексами пов'язана якраз з цією особливістю, а не з рослинним хлорофілом.

Причому, чим більша просторова варіативність цієї ознаки, тим більш спотвореними можуть бути значення зелено-червоних індексів.

Чіткий контраст між відбитою енергією в видимій червоній та ближній ІЧ частинах спектра покладено в основу розробки більшості ВІ, як кількісних біофізичних параметрів, що пов'язуються з типом рослинності (дерева, чагарники, лучна рослинність), параметрами листяної поверхні (тип, форма, кут нахилу), типом сільськогосподарських культур, архітектурними властивостями рослинного покриву, фазами розвитку рослин, вмістом пігментів та вологи в листі рослин.

Ґрунтова лінія. Значення відбивальної властивості в спектральному ознаковому просторі червоної / ближньої ІЧ демонструють характерний розподіл у вигляді трикутника найвища точка якого відповідає ділянкам з багатою рослинністю (рис. 5.2), а його пласка частина, що лежить навпроти цієї вершини, – відкритому ґрунту.

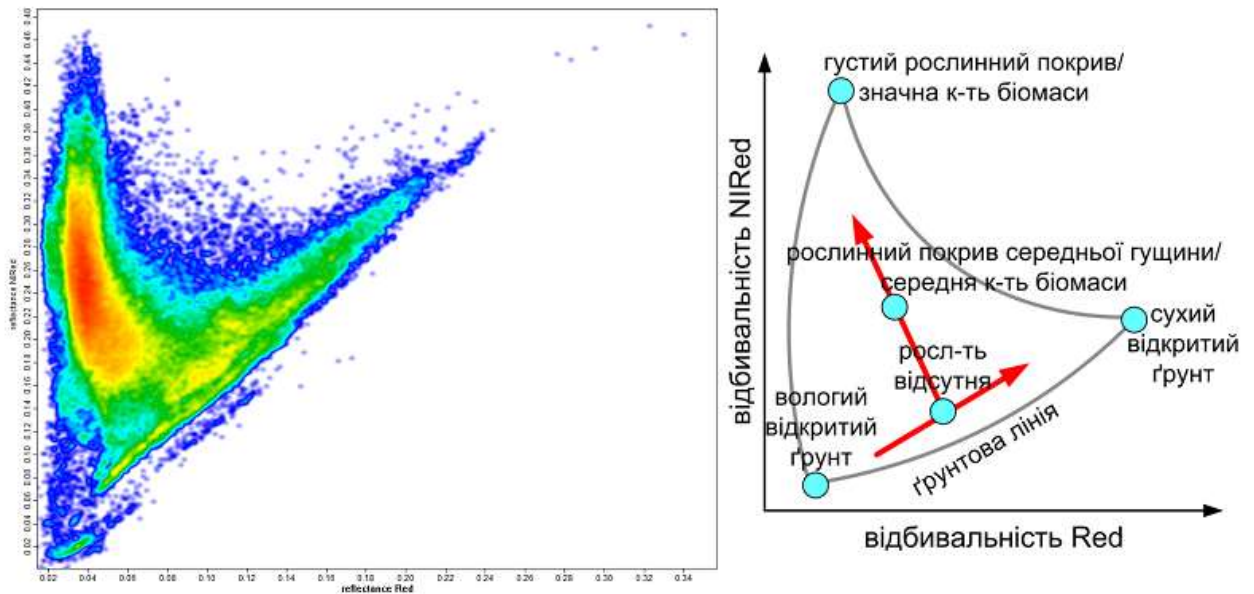


Рис. 5.2. Розподіл значень відбивальної властивості в спектральному ознаковому просторі червоної / ближньої ІЧ

Точки, які представляють відкритий ґрунт, та зосереджені в основі трикутника, тяжіють до розподілу у вигляді лінії, формуючи ґрунтову лінію. Ґрунтова лінія – гіпотетична лінія в спектральному ознаковому просторі червоної / ближньої ІЧ, яка описує варіацію спектра відкритого ґрунту на знімку.

Фактично, ґрунтова лінія описує відсутність рослинності, а будь-які позитивні відхилення від неї можуть розглядатись як зелена рослинність, тому відомості про положення ґрунтової лінії є важливою точкою відліку у розрахунку вегетаційних індексів.

В загальному вигляді співвідношення між відбиттям ґрунту в червоному / ближньому ІЧ каналах характеризується за наступним виразом:

$$\rho_{NIR} = a \cdot \rho_R + b \quad (5.1)$$

де ρ_{NIR} та ρ_R відбиття відкритого ґрунту в ближньому інфрачервоному та червоному каналах відповідно;

а – кутовий коефіцієнт ґрунтової лінії;
 b – зміщення ґрунтової лінії, як величина відрізка, що відтинається ґрунтовою лінією на вісі Y, починаючи від початку координат (рис. 5.3).

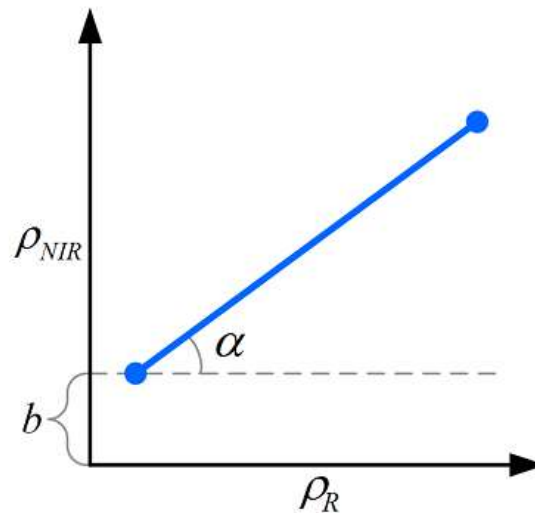


Рис. 5.3. Ґрунтова лінія та її параметри

Параметри ґрунтової лінії а та b демонструють варіативність залежно від:

- характеристик знімальної апаратури (положення та ширина спектральних каналів);
- умов середовища під час знімання, що обумовлюють коливання у яскравості ґрунту, пов'язані з вмістом води та шорсткістю поверхні;
- властивостей самого ґрунту, пов'язаних з особливостями мінерального складу, часткою органічної речовини тощо.

Типологія вегетаційних індексів. Концепція ґрунтової лінії є основою для побудови ВІ, як різноманітних двоканальних комбінацій. Залежно від співвідношення ґрунтової лінії та вегетаційних ізоліній, ВІ можуть бути поділені на два типи (рис. 5.4):

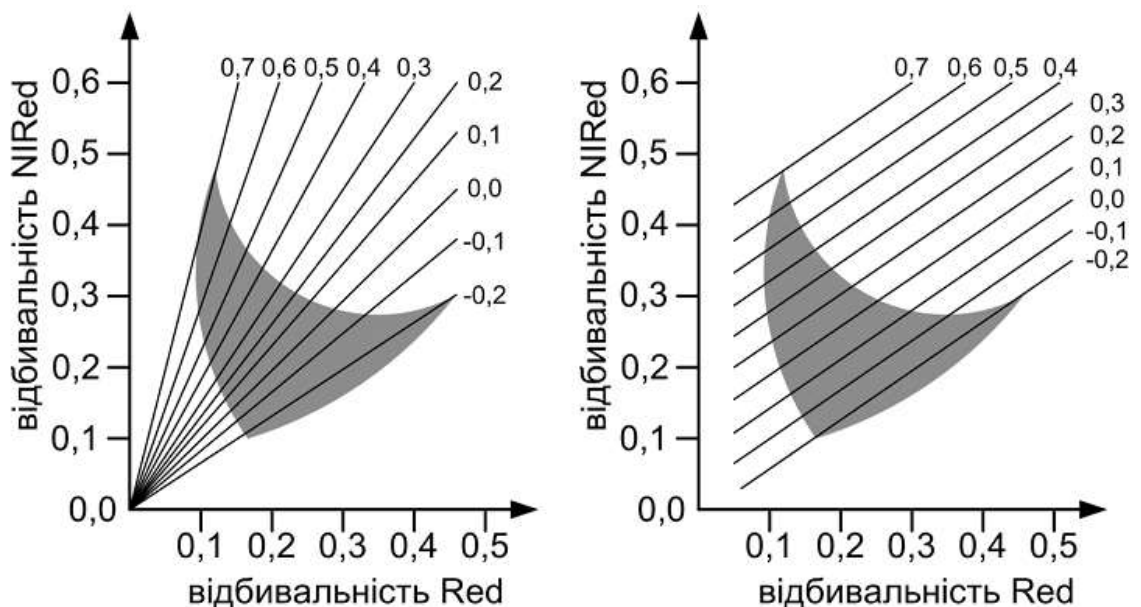


Рис. 5.4. Вегетаційні ізолінії для аналізу відносних (ліворуч) та перпендикулярних (праворуч) ВІ

1. Відносні (ratio-based) або градієнтні (slope-based) ВІ. Всі вегетаційні ізолінії сходяться в єдину точку початку координат. Відносні ВІ вимірюють градієнт лінії, що простягається від початку координат до точки пікселя. До цієї групи належать вегетаційні індекси: NDVI, RVI, NRVІ, TVI, CTVI, TTVI.

2. Абсолютні або перпендикулярні (perpendicular) ВІ, що ґрунтуються на відстані (distance-based). Вегетаційні ізолінії є паралельними ґрунтовій лінії, а ВІ розраховуються на основі вимірювання перпендикулярної відстані від точки пікселя до ґрунтової лінії. Основна мета цієї групи індексів – мінімізація впливу відкритого ґрунту, особливо у випадках розрідженої рослинності. На відміну від попереднього типу, перпендикулярні ВІ, що ґрунтуються на відстані, оцінюють наявність рослинності вимірюючи різницю між відбиттям кожного пікселя по відношенню до відбиття відкритого ґрунту. Відповідно, індекси цього типу, потребують розрахунку параметрів ґрунтової лінії. До цієї групи належать вегетаційні індекси: PVI, WDVІ, DVI.

Найпоширенішим вегетаційним індексом є нормалізований індекс відмінностей рослинного покриву – **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index** – нормалізований диференційний індекс рослинності). Це індекс кількісної оцінки рослинного покриву.

Вегетаційний індекс (NDVI) – це комбінація відбивної здатності поверхні на двох або більше довжинах хвиль, які призначені для виділення певної властивості рослинності (наприклад наявність зеленого листа).

Отримання індексів базується на властивостях рослинності відбивати сонячне проміння. Кожен з вегетаційних індексів призначений для аналізу певної властивості рослинності.

Обчислюється NDVI за формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (5.2)$$

де *NIR* – амплітуда відбиття в ближній інфрачервоній області спектра;

RED – амплітуда відбиття в червоній області спектра.

Відповідно до формули, щільність рослинності (NDVI) в певній точці зображення дорівнює різниці інтенсивностей відбитого світла в інфрачервоному та червоному діапазоні, поділений на суму їх інтенсивностей.

Шляхи застосування NDVI:

1. Комплексна оцінка біоресурсів регіону.
2. Оцінка продуктивності лісів.
3. Картографування наслідків лісових пожеж, аналіз якості відновлення лісів та моніторинг лісових рубок.
4. Моніторинг опустелювання і процесів засолення ґрунтів.
5. Картографування та моніторинг стихійних лих, техногенних аварій. Ефективне застосування індекса NDVI для ідентифікації пригнобленої і загиблої рослинності, продуктивність якої різко відрізняється від здорової.
6. Оцінка наслідків впливу аварій нафтопроводів на рослинний покрив.
7. Оцінка і картографування зон ураження рослинності аерозольними хімічними забрудненнями.
8. Аналіз ефективності рекультивації на місці відкритого видобутку корисних копалин.
9. Оцінка і моніторинг зелених зон міст.

Розрахунок NDVI базується на двох найстабільніших ділянках спектральної кривої відбиття судинних рослин. У червоній області спектра (0,6–0,7 мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом вищих судинних рослин, а в інфрачервоній області (0,7–1,0 мкм) знаходиться область максимального відбиття клітинних структур листа (рис. 5.5).

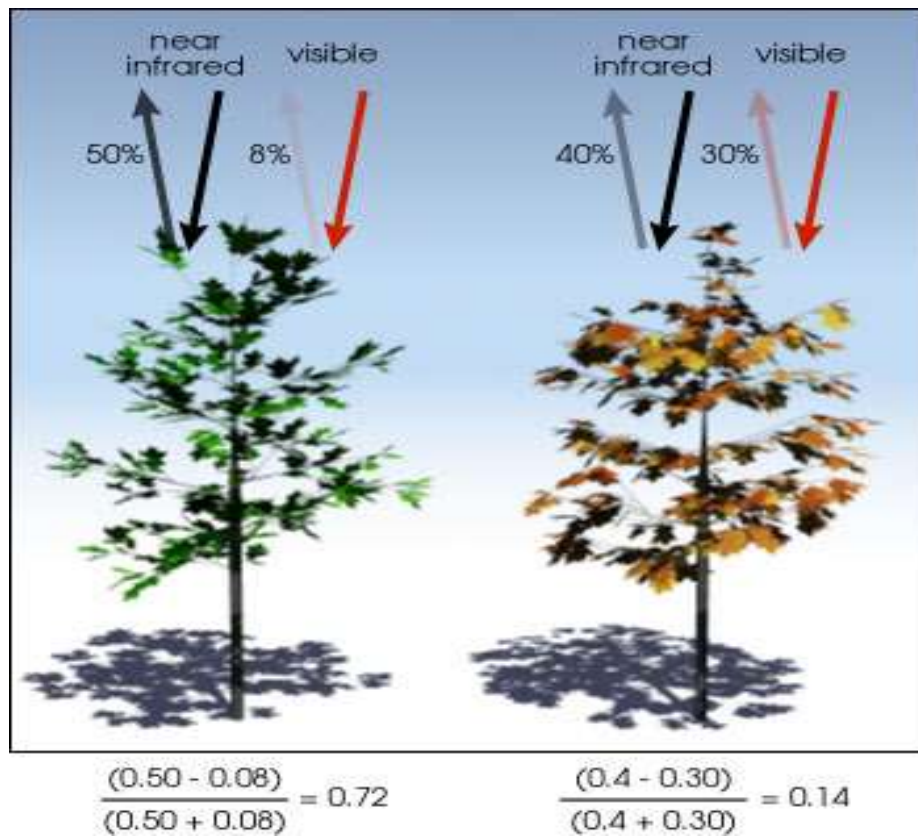


Рис. 5.5. Поглинання та відбиття рослинами червоного та інфрачервоного випромінювання

Тобто, висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з густою рослинністю) веде до меншого відбиття в червоній області спектра і більшого в інфрачервоній (рис. 5.6). Це дає відокремлювати і аналізувати рослинні об'єкти від інших.

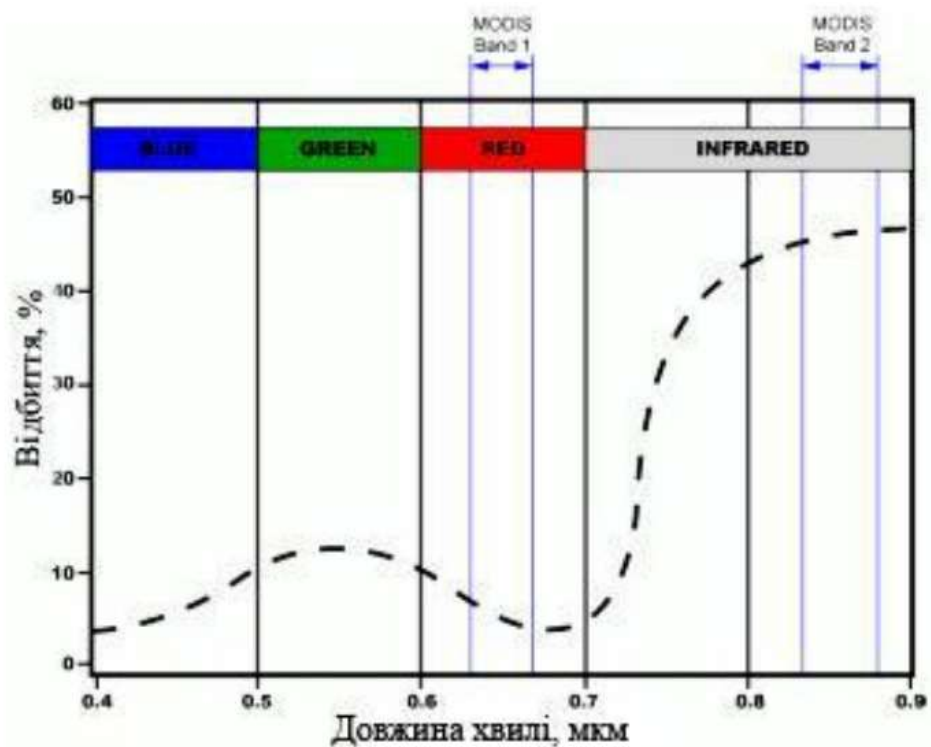


Рис. 5.6. Крива відбиття рослинності, що використовуються для розрахунку NDVI

NDVI може бути розрахований на основі будь-яких знімків високої, середньої або низької роздільної здатності, що мають спектральні канали в червоному і інфрачервоному діапазонах.

Для відображення індексу NDVI використовується стандартизована безперервна дискретизована шкала (рис. 5.7), що показує значення в діапазоні від -1.0 до +1.0.



Рис. 5.7. Дискретизована шкала NDVI

Шкала NDVI показує, що кожному значенню NDVI відповідають різні об'єкти місцевості (табл. 5.1).

Таблиця 5.1.

Шкала значень NDVI

Тип об'єкта	Відбиття в червоній області спектра	Відбиття в інфрачервоній області спектра	Значення NDVI
Густа рослинність	0,100	0,500	0,700
Розріджена рослинність	0,100	0,300	0,500
Відкритий ґрунт	0,250	0,300	0,025
Хмари	0,250	0,250	0
Сніг і лід	0,375	0,350	-0,050
Вода	0,020	0,010	-0,250
Штучні матеріали (бетон, асфальт)	0,300	0,100	-0,500

NDVI не варто застосовувати, якщо рослинний покрив становить менше 30% площі території аналізу. В зріджених посівах, де рослинності менше 30%, використовують перпендикулярні індекси, де виключено вплив яскравості ґрунту. Величина NDVI корелюється з кількістю фотосинтетичної біомаси, тому цей індекс неефективно використовувати у періоди сходів культур і дозрівання та за умов зрідженої рослинності.

Завдання:

1. Описати властивості спектрального індексу. Надати закономірності взаємодії рослинності з різними ділянками ЕМ-спектра (видимий, ближній ІЧ, короткохвильовий ІЧ).
2. Навести пояснення чому комбінація ближній ІЧ / червоний покладена в основу розробки більшості ВІ.
3. Надати характеристику ґрунтової лінії, її параметри, формулу для розрахунку (зарисувати графік зображення ґрунтової лінії).
4. Навести порівняльну характеристику відносних та абсолютних ВІ, вказати їх назви.
5. Описати шляхи застосування NDVI, навести формулу для розрахунку та шкалу значень NDVI.

Контрольні запитання:

1. Що таке спектральний індекс і з якими параметрами рослинності він пов'язаний?
2. Які властивості має спектральний індекс?
3. Що таке радіометрична корекція?
4. Які існують закономірності взаємодії рослинності з різними ділянками ЕМ-спектра?

5. Чому комбінація ближній ІЧ / червоний краща за зелений / червоний?
6. Що таке ґрунтова лінія?
7. Які параметри визначають за допомогою ґрунтової лінії?
8. Від чого залежить варіативність параметрів ґрунтової лінії?
9. На які типи поділяють вегетаційні індекси?
10. Що являють собою відносні ВІ?
11. Що таке перпендикулярні ВІ і в чому їх особливість?
12. Що таке вегетаційний індекс NDVI?
13. Де застосовують NDVI?
14. На чому базується розрахунок NDVI?
15. Коли не варто застосовувати NDVI?
16. Скільки становить індекс NDVI для густої та розрідженої рослинності?

Практична робота № 6

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ «АГРАР ОФІС»

Мета роботи: ознайомитись з призначенням, особливостями та структурою програмного забезпечення «АГРАР ОФІС»..

Теоретичні відомості

Використання навігаційних систем GPS та програмного забезпечення (обладнання для точного землеробства) дозволяє здійснити аналіз та управління діяльністю сільськогосподарських товаровиробників, що дає можливість заощаджувати матеріальні, трудові, фінансові ресурси, збільшує рентабельність та екологічність виробництва.

Для цього використовується наступне обладнання:

- обладнання для автоматичного взяття проб ґрунту на базі GPS для значних площ;
- обладнання для мобільних та стаціонарних ґрунтових лабораторій;
- обладнання для метеорологічних станцій з автоматичною передачею даних;
- прилади для вимірювання вологості ґрунту;
- системи картографування врожайності для зернозбиральних комбайнів;
- датчики вмісту азоту в листі для внесення добрив в режимі online або offline;
- системи GPS, окремі, на базі «Omnistar Systems» (точність 5-20 см);
- прилади паралельного водіння з ручним керуванням, на базі «EZ-Steer» або автоматичне керування, встановлене в трактор;
- програмне забезпечення для створення та суміщення топографічних карт, ґрунтових карт, карт вмісту нітрату, фосфату і калію, карт врожайності та ін.;
- ручні прилади з програмним забезпеченням для підтримки агрономів в ході польових робіт (спостереження зберігаються в пам'яті і вносяться в головну систему управління підприємством).

Програмне забезпечення для сільського господарства «АГРАР ОФІС» є розробкою компанії «Land-Data Eurosoft» (Німеччина).

Вже понад 30 років компанія «Land-Data Eurosoft» займається розробкою комп'ютерних програм для підприємств аграрного сектору, розробивши безліч інноваційних проектів – від окремих рішень автоматизації виробництва до створення комплексної системи управління сільськогосподарським виробництвом.

«АГРАР ОФІС» – це програмне забезпечення для сільгосппідприємств всіх форм власності, що є помічником в прийнятті рішень у сфері агробізнесу. Компанія Land-Data Eurosoft є лідером на ринку програмного забезпечення Європи.

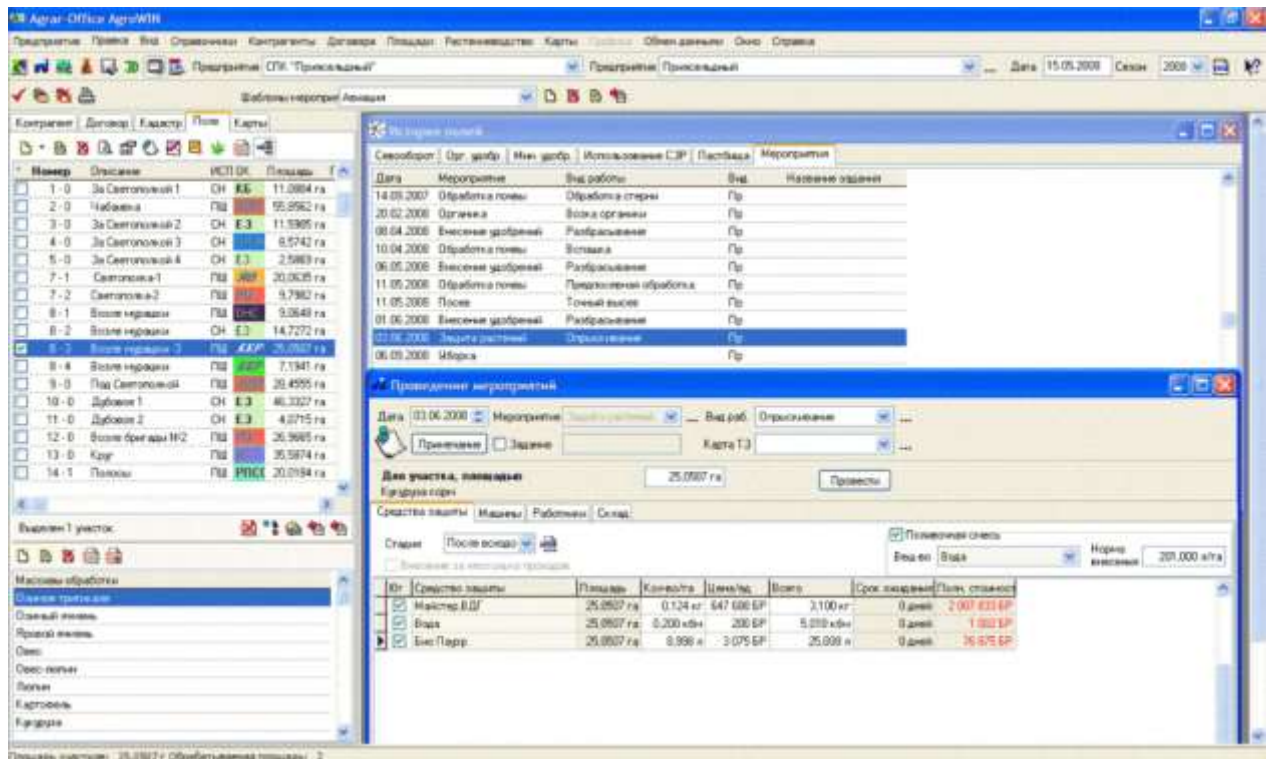
Дана програма дозволяє проаналізувати процес виробництва, автоматично підготувати потрібну документацію, правильно та якісно скласти виробничі плани. В ній накопичується вся необхідна для агротехнологічного планування інформація. Якщо перед агрономом є необхідний матеріал по структурі ґрунту, можна опираючись на ці дані, визначити спосіб обробки ґрунту, і планувати систему машин. Агроном може визначити необхідну кількість добрив та спосіб їх внесення, якщо має достовірні дані агрохімічного обстеження, що є частиною комп'ютерної програми. Інженер, отримуючи з системи відомості про точний об'єм запланованих робіт, складає графік ремонту та обслуговування техніки, заміни робочих органів на знаряддях.

Система «АГРАР-ОФІС» включає в себе ряд модулів, в числі яких «Рослинництво», що складається з розділів:

- «Польовий журнал»;
- «ГІС-Електронні карти полів»;
- «Точне землеробство та агрохімічне обстеження полів».

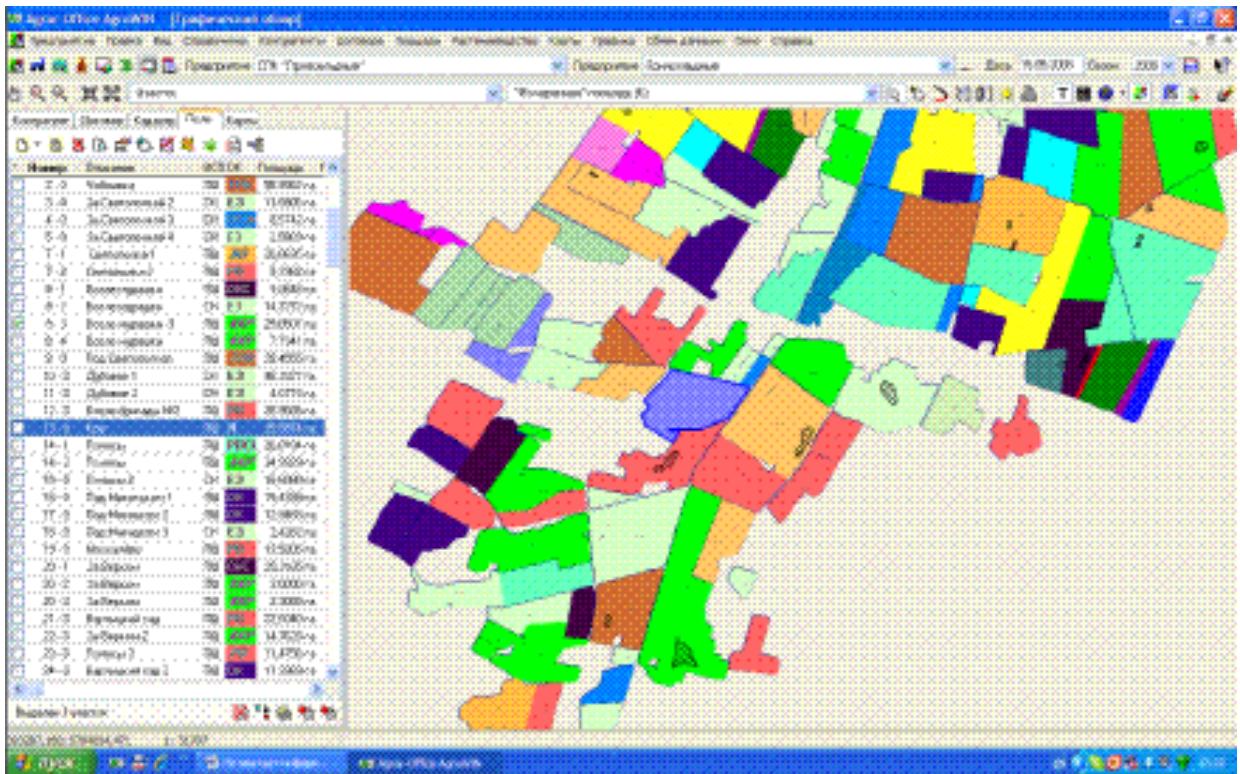
Модуль «Полевий журнал» – це ідеальний помічник сучасного керівника та агронома: дозволяє вести облік та аналіз всіх витрат, є доброю підтримкою при організації виробництва, включає в себе повну документацію по рослинництву, що дозволяє проводити аналіз галузі і на його основі приймати рішення. Він дає можливість планувати та аналізувати любі дії в полі, проводити розрахунок балансу поживних речовин, автоматично складати технологічні карти, розраховувати використані ресурси – фінансові та людські, вести історію полів. Програма контролює кожен ділянку і кожний договір, в ній автоматизовані та відстежуються всі строки та платежі.

Впровадження: введення інформації про підприємство, поля, сівозміну, заповнення довідників; організація обліку та документування – пункти збору інформації, робота з паперовими носіями, комп'ютерами та ін.

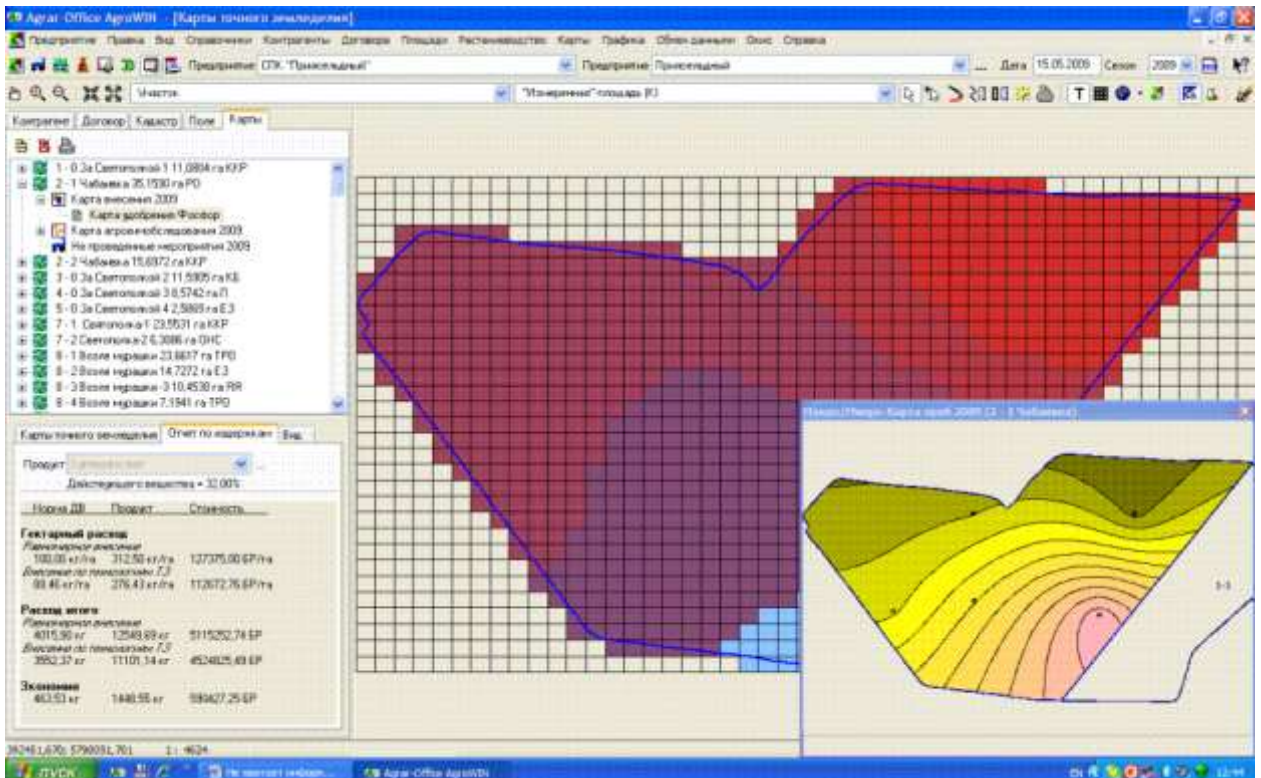


Модуль «ГІС-Електронні карти полів» – дозволяє графічно обробляти дані підприємства, дає можливість проаналізувати всі його площі, розділити або об'єднати ділянки, підготувати та розрахувати електронні карти полів господарства. Спеціаліст спостерігає дійсне розташування кожного поля, що дуже зручно. З'являється можливість планування внесення добрив, вартість яких постійно росте. Програма дозволяє оптимально використати цей засіб виробництва: добрива будуть використовуватись в тих місцях поля, де вони найбільш потрібні та принесуть найбільшу користь.

Впровадження: завантаження в програму всіх наявних в паперовому та електронному вигляді карт; вимірювання полів за допомогою ГСП (ноутбук з антеною або інший ГСП-приймач); вимірювання площ не сільськогосподарського призначення.



Модуль «Точне землеробство та агрохімічне обстеження полів» дає можливість розрахувати норми і скласти карти для локального внесення добрив та засобів захисту рослин, обробляти карти врожайності, аерофотознімки та супутникові фотографії, складати карти вмісту поживних речовин, урожайності та інші, проводити розрахунок норм внесення добрив для поточного року та наступних, передавати дані на комп'ютери різних виробників. Цілі точного землеробства – зменшення витрат; збільшення урожайності, екологічність, якість продукції.



Завдання:

1. Навести призначення програми «АГРАР-ОФІС» та його структуру.
2. Зайти на сайт <http://agrar-ofis> ознайомитись з його структурою, продукцією та її призначенням. Зайти в розділ «Точне землеробство» і переглянути звіти, що отримують за допомогою «АГРАР-ОФІС» та підручники (польовий журнал та ін.)

Контрольні питання:

1. Яке обладнання використовують для точного землеробства?
2. Назвіть призначення та можливості програмного забезпечення «АГРАР-ОФІС» ?
3. З яких розділів складається система «АГРАР-ОФІС» ?
4. Для чого служить модуль «Польовий журнал»?
5. Яке призначення модуля «ГІС-Електронні карти полів» ?
6. З якою метою використовують модуль «Точне землеробство та агрохімічне обстеження полів»?

Список літератури:

1. Куценко М. В. Вступ до географічних інформаційних систем та моделювання стану довкілля : Навчюпос. – Харків : Екограф. 2008. 204 с.
2. Світличний О. О., Плотницький С. В. Основи геоінформатики. Навчальний посібник. – Суми : Університетська книга. 2006. 295 с.
3. Самойленко В. М. Основи геоінформаційних систем. Методологія : Навчальний посібник. – К. : Ніка-Центр, 2003. 276 с.
4. Морозов В. В., Лисогоров К. С., Шапоринська Н. М. Геоінформаційні системи в агросфері : Навч. посібник. – Херсон: Вид-во ХДУ, 2007. 223 с.
5. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування : монографія / за ред. В.І. Лялька, М.О. Попова. – К.: Наукова думка, 2006. 357 с.
6. Аніскевич Л.В., Адамчук В.І. Технології точного землеробства. Науковий вісник Національного аграрного університету. – К.: НАУ. 2006. Вип. 101. С. 8-27.
7. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Левчук С.С., Попович О.М. Спеціалізоване обладнання до посівних машин в системі точного землеробства. Рекомендації. – К. : МінАПК, 2010. 42 с.
8. Аніскевич Л. В. Модель формування щільності розподілу матеріалів в технологіях точного землеробства. Науковий вісник НАУ. В. 92, ч. 2. –2005. С. 370-378.
9. Аніскевич Л. В. Адаптивне управління нормами внесення технологічних матеріалів в точному землеробстві. Науково-виробничий журнал «Електротехніка і механіка». № 1. – 2007. С. 57-66.
10. Аніскевич Л.В., Войтюк Д.Г. Управління режимами роботи збиральних машин в системі точного землеробства. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ. 2010. Вип. 40(2). С. 3-11.
11. Silver B., Mazur M., Wiśniewski A. and Babicz A. (2017). Welcome to the era of drone-powered solutions: a valuable source of new revenue streams for telecoms operators: Communications Review. PwC. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/communications/pdf/communications-review-july-2017.pdf>
12. Lysenko V., Bolbot I., Romasevych Y., Loveykin V., Voytiuk V. Algorithms of Robotic Electrotechnical Complex Control in Agricultural Production. In Control Systems: Theory and Applications. River Publishers: Gistrup, Denmark, 2018. pp. 271–289.
13. Huisman O., Rolf A. (2009). Principles of Geographic Information Systems (GIS): an Introductory Textbook. Publisher: ITC Educational Textbook Series, The Netherlands. 540.
14. Васильковська К.В., Андрієнко О.О., Шепілова Т.П. Ефективність агродронів в системі точного землеробства. Аграрні інновації. – Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2023. – Вип. 16. С. 13-18. (DOI: <https://doi.org/10.32848/agr.ar.innov.2023.17.2>)