

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**С. Г. Нестеренко,
О. В. Афанасьєв,
М. Л. Мироненко**

**СУЧАСНІ ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ В ДОСЛІДЖЕННІ ТЕРИТОРІЙ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2023**

Нестеренко С. Г. Сучасні дистанційні методи та геоінформаційні технології в дослідженні територій : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій / С. Г. Нестеренко, О. В. Афанасьєв, М. Л. Мироненко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 127 с.

Автори:

канд. техн. наук, доц. С. Г. Нестеренко,
канд. техн. наук, доц. О. В. Афанасьєв,
асист. М. Л. Мироненко

Рецензент

В. Д. Шипулін, кандидат технічних наук, професор (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 12 від 15.06.2023

© С. Г. Нестеренко, О. В. Афанасьєв,
М. Л. Мироненко, 2023
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ.....	8
ТЕМА 1 ПОНЯТТЯ ТА ПРИНЦИПИ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ.....	8
1.1 Поняття дистанційного дослідження територій	8
1.2 Види дистанційних методів досліджень	9
1.3 Завдання дистанційного дослідження територій	10
1.4 Міжнародний досвід дистанційного дослідження територій	12
ТЕМА 2 АЕРОКОСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЯК СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ І ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЙ....	18
2.1 Напрями аерокосмічного моніторингу	18
2.2 Моделі аерокосмічного моніторингу	19
2.3 Структура аерокосмічного моніторингу	20
2.4 Прикладні аспекти використання аерокосмічного моніторингу територій	21
2.5 Завдання та результати аерокосмічного моніторингу	22
ТЕМА 3 СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ.....	24
3.1 Аналітичний огляд сучасних методів дослідження територій	24
3.2 Системи дистанційного дослідження навколишнього середовища	25
3.3 Дистанційні методи досліджень за функціональним призначенням	32
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ФОТОГРАММЕТРИЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕРИТОРІЙ	39
ТЕМА 4 ФОТОГРАММЕТРИЧНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ОБРОБЦІ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ.....	39

4.1 Роль фотограмметрії в дослідженні територій.....	39
4.2 Види основних фотограмметричних процесів при обробці даних дистанційного дослідження територій.....	42
4.3 Послідовність проведення основних фотограмметричних процесів при зйомці та обробці отриманих матеріалів	50
4.4 Інтерпретація даних дистанційного дослідження територій.....	57
ТЕМА 5 ПОВІТРЯНІ ЛАЗЕРНІ СКАНУВАЛЬНІ СИСТЕМИ. ТЕХНОЛОГІЇ ЗНІМАНЬ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ	
5.1 Лазерне сканування як джерело отримання даних про місцевість	62
5.2 Лазерні сканувальні системи повітряного базування.....	70
5.3 Технологія знімальних робіт із застосуванням повітряних лазерних сканувальних систем	76
5.4 Обробка даних лазерного сканування місцевості.....	80
ТЕМА 6 СУЧАСНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ	
6.1 Методи обробки даних дистанційного зондування	86
6.2 Програмні засоби для обробки даних дистанційного дослідження територій.....	87
6.3 Зарубіжний досвід обробки даних дистанційного зондування	88
6.4 Напрями використання даних дистанційного зондування для дослідження та моніторингу територій.....	90
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ДОСЛІДЖЕННІ ТА УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІАЛЬНИМ РОЗВИТКОМ ...	
ТЕМА 7 ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ДОСЛІДЖЕННІ ТЕРИТОРІЙ	
7.1 Геопросторовий аналіз територій. Моніторингові геоінформаційні системи.....	92
7.2 Геоінформаційні системи для планування, дослідження та управління територіями	97

7.3 Роль геоінформаційних систем у територіальному плануванні.....	102
ТЕМА 8 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ	
ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА	
УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЙ.....	103
8.1 Досвід застосування даних дистанційного зондування	
для моніторингових задач.....	103
8.2 Управління територіями на основі даних дистанційного	
зондування.....	106
8.3 Прикладні аспекти використання даних дистанційного	
зондування для моніторингу територій.....	114
ТЕМА 9 ПРАКТИКА ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ	
ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ, УПРАВЛІННЯ ТА	
МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РОЗВИТКУ	120
9.1 Застосування геоінформаційних технологій для вирішення	
питань управління земельно-майновими комплексами	120
9.2 Геоінформаційні системи моніторингу використання земель.....	121
9.3 Практика застосування геоінформаційних технологій	
для дослідницьких завдань.....	123
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	126

ВСТУП

Метою викладання навчальної дисципліни «Сучасні дистанційні методи та геоінформаційні технології в дослідженні територій» є формування знань про зміст теоретичних і практичних питань, пов'язаних із використанням цифрових аеро-, фото- і космічних матеріалів, а також теоретичні основи, які розкривають суть сучасних процесів обробки та застосування дистанційних методів та геоінформаційних технологій для дослідження територій.

Вивчення цієї дисципліни базується на відомостях із геоінформаційних технологій, фотограмметрії та дистанційного зондування Землі.

Зміст курсу «Сучасні дистанційні методи та геоінформаційні технології в дослідженні територій» для здобувачів спеціальності «Геодезія та землеустрій» представлено в темах:

1. «Поняття та принципи дистанційного дослідження територій».
2. «Аерокосмічний моніторинг як система оцінювання стану і прогнозування розвитку територій».
3. «Системи та методи дистанційного дослідження територій».
4. «Фотограмметричні процеси при обробці даних дистанційного дослідження територій».
5. «Повітряні лазерні сканувальні системи. Технології знімань та обробки даних».
6. «Сучасні методи обробки даних дистанційного дослідження територій».
7. «Геоінформаційні технології в дослідженні територій».
8. «Особливості застосування даних дистанційного зондування для моніторингу та управління територій».
9. «Застосування геоінформаційних технологій для дослідження, управління та моніторингу територіального розвитку».

У рамках цього курсу виокремлюють три змістові модулі:

1. «Технології дистанційного дослідження територій».

2. «Фотограмметричні методи обробки даних дистанційних досліджень територій».

3. «Геоінформаційні технології в дослідженні та управлінні територіальним розвитком».

У результаті вивчення дисципліни здобувач повинен знати теоретичні основи дистанційного зондування Землі та фотограмметрії і вміти:

– застосовувати технології топографічних знімачів місцевості, топографо-геодезичних вимірювань з використанням сучасних аерокосмічних методів для побудови карти висот, щільної хмари точок та ортофотопланів, отримання ортомозаїки, цифрової моделі рельєфу, цифрової моделі місцевості, створення 3D-моделей;

– використовувати фотограмметричне обладнання і технології, методи математичного оброблення фотограмметричних вимірювань;

– обробляти результати геодезичних вимірювань, топографічних знімачів з використанням геоінформаційних технологій та комп'ютерних програмних засобів і системи керування базами даних.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ

ТЕМА 1 ПОНЯТТЯ ТА ПРИНЦИПИ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ

План

- 1.1 Поняття дистанційного дослідження територій.
- 1.2 Види дистанційних методів досліджень.
- 1.3 Завдання дистанційного дослідження територій.
- 1.4 Міжнародний досвід дистанційного дослідження територій.

1.1 Поняття дистанційного дослідження територій

Ландшафтно-дистанційні дослідження – це поєднання ландшафтних та дистанційних методів вивчення природно-господарських систем Землі. Дистанційні методи забезпечують одержання оперативних, об’єктивних, одночасних для великих територій даних про ландшафтні системи Землі

За допомогою ландшафтного методу за аерокосмічними даними можна відтворювати системну організацію природи Землі. Мережа ландшафтних систем – основа зародження і розвитку геоекологічних процесів та явищ, ефективної територіальної організації господарства, моніторингу, прогнозування, управління тощо.

Взаємодія дистанційного зондування Землі та ландшафтознавства привела до вагомих науково-прикладних результатів. Перспективи пов’язані з реалізацією поставлених у Національних космічних програмах України завдань – створення системи дистанційного природо-ресурсного та екологічного моніторингу, раціонального природокористування, прогнозування техногенних та природних катаклізмів, створення державної системи геоінформаційного космічного забезпечення.

Ландшафтно-дистанційні дослідження – це поєднання ландшафтних та дистанційних (аерокосмічних) методів у вивченні географічної оболонки.

1.2 Види дистанційних методів досліджень

За допомогою аерокосмічних методів можна одержати об'єктивні, оперативні, одночасні для великих територій дані, вони дають змогу фіксувати реальні межі та виявляти цілісні об'єкти, встановлювати закономірності їхнього територіального поширення, чинники формування, особливості функціонування, антропогенні модифікації тощо. Та найважливішою з погляду ландшафтознавства є здатність генералізувати електромагнітний сигнал і передавати відомості не про точку, а про простір як одну з найважливіших особливостей географічних об'єктів загалом, і ландшафтних систем (ЛС) зокрема.

Ефективність ландшафтного методу зумовлена передусім здатністю відтворювати системну організацію природи Землі, елементарними носіями якої є ЛС різного ієрархічного рівня. Атрибутивна властивість ЛС – взаємозв'язки між усіма складовими – створює передумови для одержання відомостей про невізуалізовані на дистанційних матеріалах об'єкти та явища. Чинник взаємного впливу, окрім того, дає змогу пояснювати (інтерпретувати) явища та розуміти їх.

Відображена на ландшафтних картах повторюваність аналогічних чи подібних ЛС – передумова для достовірної екстраполяції одержаних знань на незадіяні безпосередніми дослідженнями території. Мережа та властивості ЛС визначають своєрідність та просторовий розподіл ресурсів, зародження і розвиток геоєкологічних процесів та явищ.

Тривала взаємодія ландшафтознавства та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) вже знайшла відображення у серії складених та уточнених ландшафтних карт, поліпшенні тематичної інтерпретації геологічних, гідрогеологічних, ґрунтових, біогеографічних та інших явищ, встановленні їхніх інформаційних ознак на зображеннях та оцінці їхніх декодувальних можливостей та обмежень, способах опису зображень та сформованих дешифрувальних каталогах,

створених різноманітних моделях ландшафтних явищ та методиці оцінки їхньої достовірності й ефективності, теорії та методах комп'ютерного ландшафтного опрацювання зображень тощо.

Свідченням розуміння місця та ролі ландшафтознавства у сфері тематичного опрацювання даних ДЗЗ в Україні є публікації дотичних до космічної галузі провідних наукових установ.

Проте сьогодні ландшафтно-дистанційний напрям не набув статусу інтегрованого вчення, не має належного теоретико-методичного обґрунтування, не забезпечений спеціалістами. Обидві його складові розвиваються незалежно, лише час від часу використовуючи здобутки одна одної. Тому питання пошуку точок дотику між ними, переваг та можливостей взаємодії ще тривалий час залишатимуться актуальними та потребуватимуть глибокого аналізу та синтезу.

Завдання статті – охарактеризувати найвагоміші надбання науки про ландшафтні системи та аерокосмічного способу одержання інформації, зацентрувати увагу на їхніх взаємодоповнюючих елементах та окреслити спільні можливості у реалізації Третьої Національної космічної програми України (2003–2007 роки).

1.3 Завдання дистанційного дослідження територій

Система дистанційного екологічного моніторингу (СДЕМ) потрібна для автоматизованої оцінки стану навколишнього середовища, дистанційного спостереження за екологічним станом території України, та прогнозування його змін, підготовки рекомендацій для ухвалення рішень створюють.

Окрім дистанційних досліджень, у структурі СДЕМ передбачені тісно пов'язані з ландшафтознавством наземне забезпечення ДЗЗ, збирання, опрацювання та поширення даних, формування баз даних (знімків, карт, фізичних характеристик, матеріалів екологічного прогнозування). Ці дані мають стати основою для виявлення несприятливих екологічних процесів та їхніх джерел, оцінювання та прогнозування станів, ухвалення рішень.

Зокрема, у сфері моніторингу сформульовано принципи та розроблено методичку ландшафтного кадастру: збирання, опрацювання, аналізу, систематизації та збереження інформації.

У галузі раціонального використання природних ресурсів ґрунтовно досліджено антропогенні впливи на ландшафтні системи, їхній сучасний стан, характер модифікацій, типи забруднень, глибину змін, стійкість до антропогенних навантажень та їхні допустимі норми, умови релаксації, виконано відповідне районування та картування.

Для гармонійного поєднання ресурсної та екологічної функцій ЛС розроблено відповідні рекомендації. Ландшафтознавство володіє алгоритмами оцінок репрезентативності, потенційної небезпечності, наслідків втручання, ресурсної та екологічної придатності тощо, має розроблені шкали показників та певну систему їхнього ранжування.

Тривалі дослідження перебігу процесів та явищ, встановлені закономірності їхнього просторового поширення, однорідність ландшафтних ареалів щодо ресурсів, передумов та сценаріїв розвитку дають змогу об'єктивно оцінити ступінь вірогідності виникнення тих чи інших надзвичайних ситуацій, їхні масштаби та наслідки, потенційну можливість розвитку катастроф, завчасно визначити найнебезпечніші ареали, встановити ризики для населення та господарства, запропонувати варіанти доцільних прийомів керування ними, обґрунтувати, спрямовані на їхнє суттєве зменшення або ж повне запобігання, заходи, планувати та створювати оптимальні умови для проживання та діяльності людини.

Суттєвою допомогою у дослідженні динаміки та еволюції ЛС є аналіз одно часових та різночасових дистанційних матеріалів, дослідження впливу антропогенної діяльності на особливості зображення ЛС на знімках, викриття її маскувальних щодо природної ситуації ефектів.

Потреба у здобутках прикладного ландшафтознавства підсилить інтерес до вдосконалення ландшафтознавства фундаментального – уніфікації його теорії, подальшого з'ясування суті ЛС та їхніх властивостей, удосконалення та

розроблення методики ландшафтних досліджень, адаптації теоретичних та методичних надбань ландшафтознавчої науки до змістовного опрацювання аерокосмічних даних.

Долучення ландшафтознавства до розв'язання, спрямованих на розроблення нових програмних засобів ДЗЗ, нових інформаційних технологій і наземної інфраструктури, завдань космічної програми загострить проблему найефективніших аерокомічних зображень ЛС, найефективнішої космічної апаратури для їхнього одержання, найефективніших програмних продуктів для тематичної обробки (алгоритмів аналізу зображень та обробки даних, математичних моделей розпізнавальних систем), можливостей їхньої реалізації на комп'ютері.

Триватимуть пошуки методів, які забезпечують високу вірогідність прийняття правильного рішення і знижують вірогідність помилки розпізнавання. Досліджуватимуть умови їхнього виправданого застосування.

У цьому контексті неминуче виникне питання належного математичного подання ЛС, як основи їхнього комп'ютерного розпізнавання. Моделі мають адекватно відображати предметну область та забезпечувати якісне опрацювання в базах даних.

1.4 Міжнародний досвід дистанційного дослідження територій

Для опису зображень ландшафтних об'єктів використовують як аналітичні, так і структурно-синтаксичні методи. Оскільки ЛС складні неоднорідні утворення, найбільший інтерес становлять їхні структурно-текстурні інформативні ознаки. З огляду на специфіку конкретних ЛС потрібні свої критерії їхньої ідентифікації та відповідні процедури прийняття рішень.

Проте з огляду на малий обсяг вихідних експериментальних даних та недостатню верифікацію у різних географічних умовах запропоновані моделі носять обмежений характер. Не до кінця дослідженою залишається і їхня змістова (географічна, ландшафтна) наповненість, тому для математичного опису та подання ЛС здебільшого використовують апробовані спектральні

ознаки – середні значення, дисперсію, моменти вищих порядків, які розраховують за допомогою функції розподілу яскравості пікселів (локальної гистограми).

За градаціями тональної шкали гистограми можна виявляти характерні риси зображення ЛС, зокрема, їхню фізіономічну складність, ступінь антропогенного освоєння тощо [1]. Але аналіз оптичних ознак далеко не завжди дає бажаний результат, оскільки здебільшого ґрунтується на нехарактерній для ЛС структурній однорідності об'єктів та нормальному розподілі їхньої яскравості. Різноманітні моделі аналізують на придатність для дешифрування ЛС.

В Україні також роблять спроби математично подати геометричні (форми, розміри, відносне положення, орієнтацію), індикаційні, позиційні та інші показники змісту ЛС. Зокрема, розроблена в ЦАКДЗ ІГН НАН України програма дає змогу визначати переважаючий напрям (орієнтацію) витягнутих структур.

Одночасно розробляють методику для об'єктивного оцінювання ефективності різних методів та програм опрацювання. Все це підвищує інформативність одержаних результатів.

Окрім того, існує ще дуже багато аспектів ландшафтно-дистанційних досліджень, які потребують серйозного осмислення та опрацювання. Зокрема, створюючи моделі ЛС, практично не враховують їхню причинно-наслідкову природу. Слабо задіяний лінгвістичний (синтаксичний, структурний) підхід. До того ж аналіз структур дає змогу виробити уявлення про невиражені на зображеннях явища. Не сприяють правдоподібному поданню і значно погіршують якість моделей і традиційні у моделюванні спрощення, узагальнення, усереднення.

Досі потребують відповіді питання щодо підходів та ознак розпізнавання, їхньої оптимальної вибірки та можливих відхилень від норми. Нарощування потребують роботи зі створення алгоритмів розпізнавання форм, розмірів, структур, текстур, меж, багатомодальних класів об'єктів тощо, рекомендацій щодо ефективного машинного впізнавання.

Вдосконалення старих та розроблення нових методів дешифрування (розпізнавання) ЛС потребує накопичення емпіричних даних для встановлення семантико-геометричних відношень, оцінки відповідності (неповторності) форм або текстур (чи їхнього числового подання) та вираженого ними змісту, вироблення єдиної методики стислого та змістовного опису зображень та наочних способів представлення ЛС; формування бази даних еталонів зображень ЛС на різних видах дистанційних матеріалів, виявлення реперних подібностей між ЛС в природі та їхніми зображеннями, аналізу географічної інформативної місткості зображень, поглиблення досліджень у галузі психології сприйняття і залучення вже наявних знань до інтерпретації зображень.

Оскільки візуальне та комп'ютерне дешифрування (розпізнавання) базується на класифікації, потрібно створювати такі алгоритми розбиття простору ознак на області, які б до мінімуму зводили або ж узагалі унеможлилювати прийняття помилкових рішень. Рішення про належність тої чи іншої ділянки до конкретного типу ЛС приймають автоматично за максимальним значенням оператора належності після розв'язання програмою всіх рівнянь, які описують математичні моделі ЛС. Необхідно розробляти такі експрес-методи, які б під час класифікації давали змогу враховувати плавний та безперервний перехід від одного типу ЛС до іншого.

Оскільки однакові характеристичні ознаки можуть належати різним типам ЛС, аналіз будують на базі теорії розмитих множин. Актуальними залишаються питання вироблення критеріїв для пошуку значущих елементів класифікації, їхньої мінімізації та способів поєднання в оптимальні композиції, пошуку елементів, між якими нема розбіжностей у природі та на зображеннях.

Автоматизоване районування території за знімками потребує вироблення єдиних підходів та методик ландшафтного картографування, усунення розбіжностей у розумінні ареалів ЛС та їхніх меж (пошук об'єктивних критеріїв цілісності та цілісності сприйняття), дослідження характеру виявлення ландшафтних меж на знімках, пошуку можливостей розпізнавання нечітких

обрисів, встановлення причин їхньої прихованості, вироблення пропозицій щодо критеріїв проведення меж ЛС на знімках в різних фізико-географічних регіонах.

Найактуальніші серед них – побудова аналітичних виразів для розділу зображень на об'єкти та фон, розроблення автоматичного пошуку порогового значення яскравості для сегментації зображень без втрати об'єктів.

Усі ці відомості дають змогу і візуально, і комп'ютерним способом (автоматично чи автоматизовано) впізнавати ландшафтні утворення на матеріалах дистанційних знімків, визначати їхні властивості, чинники формування, прогнозувати розвиток та функціонування тощо. А підняті проблемні питання змушують переосмислити ідеологію моделювання та програмування, наблизити її до реальної дійсності.

Реалізація проєкту космічної програми «Створення та експлуатація системи геоінформаційного космічного забезпечення» актуалізує фундаментальне для ландшафтознавства питання систематизації наявної (в літературі, картах, фондах тощо) інформації та накопичення нової на тестових полігонах, у т. ч. способом підсупутникового експерименту. Оскільки мережа тестових полігонів в Україні ще не сформована, важливим є питання обґрунтування їхнього територіального розміщення. Один з варіантів щодо його вирішення є в роботі.

Полігони у структурі наземного сегмента ДЗЗ потрібні для встановлення точних даних про відбивно-випромінювальні характеристики природно-антропогенних об'єктів та явищ (формування відповідного банку даних), встановлення чинників їхнього формування, динаміки та географічних закономірностей поширення, розкриття взаємозв'язків між компонентами, властивостями та процесами, еталонування, яке, серед іншого, передбачає співвіднесення зображень з реальною ландшафтною ситуацією, встановлення стандартних типів зображень ЛС, систематизації та формування дешифрувальних ключів.

Ці дані є основою:

– для калібрування, деталізації, корегування спотворень;

- тематичної інтерпретації дистанційних матеріалів;
- перевірки достовірності (верифікації) отриманих при опрацюванні дистанційних даних теоретичних положень, фактів та знань;
- створення адекватних моделей енергомасообміну та зображення ЛС і зменшення частки числових (математичних) експериментів у моделюванні та контролю його якості;
- контрольованої (з навчанням) класифікації зображень;
- екстраполяції одержаних даних і залежностей на великі території та уникнення у такий спосіб трудомісткого, тривалого в часі, наземного вивчення всієї земної поверхні;
- прогнозування поведінки ЛС під впливом природних та антропогенних чинників та ймовірних катастрофічних явищ;
- удосконалення наявної та створення нової універсальної базової методики наземного забезпечення ДЗЗ;
- функціонування експертних систем;
- формування експериментального досвіду та знань спеціалістів тощо.

Остання обставина особливо важлива, оскільки в розроблених технологіях основні функції з розпізнавання, класифікації об'єктів та визначення їхніх характеристик покладають на оператора. Ці дії, як зауважено, досвідчені оператори-дешифрувальники виконують з розпізнавання образів на знімках набагато ліпше за алгоритми автоматичного розпізнавання. Реальних даних потребує і випробовування алгоритмів – розроблення підходів до розпізнавання, їхня перевірка, оцінка ефективності тощо.

Полігональні дослідження підсилюють інтерес до можливостей екстраполяції одержаних даних на інші території. У зв'язку з цим актуалізуються питання вдосконалення методики екстраполяції, формування банку генетичних, морфологічних та фотографічних аналогів ЛС, оцінки ефективності екстраполяції за різними критеріями, вироблення рекомендацій щодо її застосування у різних регіонах.

Забезпечення вивчення методами ДЗЗ безпосередньо невідображених на матеріалах дистанційних зніманих об'єктів та явищ активізують ландшафтно-індикаційні дослідження. Вивчення потребують зв'язки між індикаторами та індикатами і їхня тіснота, особливості та варіації взаємних поєднань та меж коливання параметрів, ранжованість за силою та пріоритетністю впливів, чинники мінливості, необхідні та достатні умови розвитку.

Актуальним залишається визначення достовірності отриманих залежностей та аналіз відхилень у їхньому співвідношенні, окреслення території з одноманітними зв'язками, вироблення рекомендацій щодо ефективності індикації за окремими компонентами, властивостями, регіонами. Ці дані, окрім усього іншого, потрібні для реалізації структурного підходу при автоматичному розпізнаванні ЛС.

Активне залучення ландшафтознавства до розв'язання проблем ДЗЗ потребує вдосконалення у відповідному напрямі реєстраційних систем, технологій опрацювання, підсупутникових експериментів, алгоритмів цифрового опрацювання.

Отже, спільні ландшафтно-дистанційні дослідження відкривають нові можливості для реалізації Національних космічних програм та функціонування системи дистанційного екологічного моніторингу.

Глибокі, систематичні, адаптовані до вирішення завдань ДЗЗ ландшафтознавчі дослідження сприятимуть зростанню інформативності матеріалів ДЗЗ та обсягів одержаних з них даних, збільшиться вірогідність правильного розпізнавання інформаційного сигналу та ступінь правдоподібності створених моделей, підвищать однозначність та правильність інтерпретації досліджуваних явищ.

ТЕМА 2 АЕРОКОСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЯК СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ І ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЙ

План

- 2.1 Напрями аерокосмічного моніторингу.
- 2.2 Моделі аерокосмічного моніторингу.
- 2.3 Структура аерокосмічного моніторингу.
- 2.4 Прикладні аспекти використання аерокосмічного моніторингу територій.
- 2.5 Завдання та результати аерокосмічного моніторингу.

2.1 Напрями аерокосмічного моніторингу

Аерокосмічний моніторинг як система оцінювання і прогнозування майбутнього стану довкілля

Космічні знімки разом з матеріалами традиційних методів вивчення Землі дають надійні дані для будови еколого-геологічних моделей територій, що досліджуються.

Довгострокова стратегія охорони та збереження природи, що розроблена за ініціативою вчених всього світу та підтримана в ООН, потребує рішучого переходу від пасивної реєстрації нищівних наслідків численних екологічних порушень та частих катастроф до їхнього своєчасного попередження і запобігання.

Прийнята міжнародна програма (на рівні Міністерства з Надзвичайних Ситуацій України) спільних дій, яка передбачає створення системи надійного та широкомасштабного моніторингу навколишнього природного середовища. Моніторинг має забезпечувати систематичне та оперативне (слідкування) спостереження за станом природного середовища з метою її контролю та управлінням правильним використанням усіма її складовими.

Оцінка стану та прогноз зміни навколишнього природного середовища мають досить важливе значення для виявлення погрози порушення екологічної рівноваги в природі, а також велике народногосподарське значення.

2.2 Моделі аерокосмічного моніторингу

Припускається, що моніторинг має здійснюватися на трьох ієрархічних рівнях:

- регіональному;
- детальному;
- локальному.

Регіональний рівень повинен охоплювати цілі економічні райони та надавати загальне уявлення про характер, масштаби, інтенсивності різних геологічних процесів, збитки які вони наносять народногосподарським об'єктам та природному середовищу, ефективності захисних заходів, що використовуються тощо. Залежно від ступеня освоєння території та інших факторів він може здійснюватися в широкому діапазоні масштабів від 1: 100 000 до 1: 50 000.

Детальний та локальний рівні повинні давати вже більш повне уявлення про розвиток екологічних процесів в межах окремих інженерних комплексів та споруд або їхніх комплексів. Обрання методів, що використовуються під час моніторингу, визначається його рівнем. Під час регіонального моніторингу за базові доцільно використовувати аерокосмічні методи, доповнюючи їх невеликим об'ємом наземних досліджень. Під час детального та локального моніторингу основні дані будуть одержані наземними дослідженнями, а аерокосмічні методи стануть їхнім істотним доповненням.

Провідна роль в реалізації аерокосмічного моніторингу має належати знімкам, що виконуються в оптичному діапазоні спектру через їхній максимум корисної інформації.

2.3 Структура аерокосмічного моніторингу

Одним із важливих факторів стійкого розвитку України є ряд взаємозалежних задач щодо використання природних ресурсів, захищеності від масштабних загроз техногенного та природного характеру, охорони навколишнього середовища. Прийняття обґрунтованих рішень для забезпечення сталого розвитку в нашій державі не можливе без аналізу існуючої ситуації, спостереження, моделювання та прогнозування стану довкілля. Тому для України на сучасному етапі ринкових трансформацій, одними із важливих передумов сталого розвитку є організація моніторингу забруднень і джерел забруднення, визначення рівнів забруднення всіх складових елементів і ресурсів природного середовища та виявлення найнебезпечніших для здоров'я людини місць, організація системного моніторингу за трансформацією ландшафтів, зміною стану наземних і водних екосистем під впливом антропогенних навантажень а також прогноз динаміки впливів і навантажень на біосферу, а також оцінка негативних наслідків, що виникають при цьому.

Так звана «цифрова революція», яка вже давно відбулась в розвинутих країнах світу дала змогу, завдяки використанню комп'ютерних і аерокосмічних технологій, відстежувати з найретельнішою точністю просторові дані.

Світова практика свідчить про те, що найефективнішим засобом інформаційного забезпечення у разі вирішення даних проблем є аерокосмічні системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Дистанційні методи зондування земної поверхні дають змогу одночасно охоплювати великі за площею території, забезпечити оперативність і повторення визначення великої кількості параметрів земної поверхні і рослинності, здійснювати моніторинг, значно зменшуючи при цьому кількість складних і трудомістких хімічних аналізів, що істотно спрощує і знижує собівартість досліджень. Зокрема, Оксфордським університетом підтверджено, що використання аерокосмічного знімання та комп'ютерних технологій дає можливість знизити вартість моніторингу до 90 %. На сьогодні день орбіти супутників спроектовані таким чином, що є можливість постійного

спостереження за станом земної поверхні, тобто можна оперативно і чітко відслідковувати зміни, що відбуваються в довкіллі (забруднення, пожежі, погіршення стану рослинності, пилові бурі, техногенні катастрофи тощо). Крім того, вартість такої інформації постійно знижується. Так, американські фермери, які вміють рахувати гроші, обирають, за відносно невисоку плату, можливість постійно стежити за станом своїх полів, своєчасно і вибірково вносити дорогі добрива.

2.4 Прикладні аспекти використання аерокосмічного моніторингу територій

Що стосується ГІС, то геоінформаційні системи вже набули широкого розповсюдження для різних галузей народного господарства. Широко використовують можливості ГІС для роботи з картографічними матеріалами (карти, плани, космічні знімки, цифрові моделі рельєфу), базами геоінформаційних даних, їх поєднання, аналізу, візуалізації, моделювання та оформлення і представлення просторової інформації у вигляді цифрових карт, діаграм, 3D-моделей місцевості для завдань екологічного моніторингу.

Ефективність дослідження характеристик земної поверхні та процесів, що відбуваються на ній, за результатами дистанційного зондування Землі найчастіше може бути досягнута тільки при сумісній обробці даних, одержаних у різний час, різними знімальними системами, з різних аерокосмічних апаратів, у різних діапазонах.

Оперативне одержання даних у системі моніторингу можливе лише за умов функціонування космічних апаратів на стаціонарній орбіті чи при використанні угруповань космічних апаратів. Залежно від розміру об'єктів спостереження і задач, що вирішуються, може бути достатнім використання апаратури ДЗЗ, що встановлюють на борту літака (вертольота) чи безпілотного літака з автоматичним керуванням.

Пріоритетним напрямком розвитку засобів ДЗЗ, відповідно до Національної космічної програми України, для задоволення потреб користувачів

є створення постійно діючої системи аерокосмічного моніторингу, основою якої можуть стати багатопозиційні системи, що дозволяють суттєво підвищити оперативність отримання даних, інформативність космічних знімків та шумозахищеність системи для вирішення задач безпеки і оборони країни, а також інформації, необхідної для господарської діяльності, у тому числі розв'язання наукових задач щодо оцінювання і прогнозування майбутнього стану довкілля. Також ідуть роботи над програмою «Високоєфективні технології оцінювання параметрів природних середовищ земної поверхні з аерокосмічних носіїв» – у рамках координаційного плану «Наукові основи створення аерокосмічних технологій» Міністерства освіти і науки України.

2.5 Завдання та результати аерокосмічного моніторингу

Дистанційне зондування Землі забезпечує можливості оперативного збору даних у глобальному масштабі з високим просторовим і часовим розділенням, що і визначає значні інформаційні можливості аерокосмічних систем, можливість їх господарського, природо-екологічного, наукового і військового застосування та потенційну економічну ефективність. Аерокосмічні знімки надають найточнішу і реальну інформацію про ситуації, які сталися

Висуваються такі завдання:

- по-перше, оцінка еколого-санітарного стану об'єктів – виявлення джерел забруднення, контроль за динамікою розповсюдження;
- по-друге, інвентаризація змін, визначення інтенсивності й масштабів процесів, реєстрація змін;
- по-третє, визначення динаміки (як сезонної так і річної) і контроль коливань змін.

Результат – алгоритм аерокосмічного моніторингу і модель оцінювання і прогнозування стану довкілля. Використовуючи шляхи об'єднання класифікованих зображень за різні періоди створюють карти, які вміщують зміни за цей період часу; карти екологічного забруднення, зон небезпеки, карти прогнозованого стану довкілля.

Аерокосмічний моніторинг для оцінювання і прогнозування майбутнього стану довкілля є масштабною багатофункціональною програмою екологічного управління.

У сучасних умовах ефективного вирішення перелічених завдань неможливе без застосування інформаційних технологій. Використання передових засобів автоматизованого збору, обробки та представлення інформації забезпечує якісно вищий рівень наукових досліджень внаслідок можливості співставлення різноманітної інформації та комплексного підходу до вивчення природних явищ. Інформаційне забезпечення наукових досліджень є визначальним чинником їх ефективності, актуальності результатів, узгодження зусиль різних наукових груп.

ТЕМА 3 СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ

План

- 3.1 Аналітичний огляд сучасних методів дослідження територій.
- 3.2 Системи дистанційного дослідження навколишнього середовища.
- 3.3 Дистанційні методи досліджень за функціональним призначенням.

3.1 Аналітичний огляд сучасних методів дослідження територій

Постановка проблеми. Для проведення різноманітних досліджень в галузі використання земель, успішного планування і правильної організації сільськогосподарського виробництва фахівцям сільського господарства необхідно мати в розпорядженні дані про площі, зайняті під різними сільськогосподарськими культурами, та відомості про щорічні зміни цих площ. Для отримання такого роду інформації використовуються методи дистанційного зондування.

Для прогнозування урожаю необхідно протягом певного періоду проводити лазерне сканування, фотографування і спектро-фотометрування місцевості, фіксуючи, за панування яких метеорологічних умов і інших природних чинників, що визначають урожай сільськогосподарських культур, був отриманий той або інший знімок і який урожай був отриманий з цих полів згодом. Порівнюючи знімки поточного сезону з знімками місцевості, отриманими у відповідний період в попередні роки за схожих погодних умов, і враховуючи наявність чинників, що знижують урожай, фахівець може скласти правильний прогноз урожаю культур конкретного поля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Техніка дистанційного зондування забезпечує широкі можливості отримання високоякісної інформації про особливості використання земельних ресурсів у сільському господарстві. Аналіз даних, отриманих в результаті застосування космічних

апаратів для вивчення використання сільськогосподарських земель, дозволив ученим зробити такі висновки:

– у системі класифікації земель, можуть бути успішно використані космічні методи дослідження природних ресурсів;

– близько 90 % даних, необхідних для всебічного аналізу використання сільськогосподарських земель, можна отримати за допомогою техніки дистанційного зондування;

– приблизно 2–5 % відомостей про характер землеволодіння, про призначення сільськогосподарських культур (на корм або насіння тощо) неможливо отримати на основі методів дистанційного зондування.

Проводяться роботи зі створення системи дослідження природних ресурсів Землі з космосу, у яку включені: супутники, призначені для відпрацьовування методів спостереження природних ресурсів з космічних висот; система телеметричних станцій для приймання інформації, що надходить із супутників; група літаків, що роблять лазерне сканування або аерофотознімання і спектрометрування одночасно зі зніманням із супутника; наземні, зокрема й автоматичні, станції, що здійснюють збір даних по навколишньому середовищу; центри обробки, збереження і розподілу інформації, що надійшла.

3.2 Системи дистанційного дослідження навколишнього середовищ

Постановка завдання. Дослідження природного середовища Землі з космосу проводяться на основі застосування техніки дистанційного зондування, дія якої обумовлена властивістю всіх речовин випромінювати і відбивати електромагнітну енергію в різних ділянках спектра. Повітряне лазерне сканування (лазерна локація) нині є одним з найефективніших методів виконання топографічних робіт.

Виклад основного матеріалу. Використання повітряного лазерного сканера (Лідара) для знімання поверхні землі є найпередовішою і найпродуктивнішою технологією отримання високоточних просторових даних, яка дозволяє виконувати значно більші обсяги робіт в менші терміни порівняно з традиційним

топографічним зніманням. Ця технологія робіт дає змогу отримати топографічні карти і плани масштабів 1: 500 і дрібніших, причому без втрати якості кінцевого продукту.

Основний обсяг даних ДЗЗ отримується за допомогою електронних приладів, що реєструють відбиту сонячну радіацію так званих приладів із зарядовим зв'язком – ПЗЗ. Ці прилади дозволяють реєструвати різні діапазони хвиль відбитої сонячної радіації як у видимій, так і в ультрафіолетовій та інфрачервоній спектральних зонах. На основі таких елементів створюються електронні сканувальні пристрої, які можна встановлювати на різних космічних апаратах, призначених для знімання атмосфери, океану і поверхні суші. У разі встановлення радіолокаційних систем такі супутники можуть визначати висоту і довжину хвиль, рівень водної поверхні, розливи нафтопродуктів на поверхні води. З супутників ведуться спостереження за кольором і щільністю рослинного покриву, кольором і текстурою ґрунтів, кольором води, температурою земної поверхні. З космосу здійснюється високоточне знімання для топографічного картографування, радіолокаційне знімання рельєфу і вологості поверхневого шару ґрунту. Знімають безупинно згідно з маршрутом прольоту супутника, дані постійно передають на наземні станції. На наземних станціях виконується оброблення інформації, що надходить:

- здійснюються геометрична корекція (усуваються кутові перекручування крайових зон, лінійні перекручування уздовж лінії знімання тощо);

- радіометрична корекція (усуваються перешкоди, що виникають під час знімання, передавання і приймання даних, атмосферні перешкоди, вирівнюється освітленість);

- нарізка на ділянки визначеного розміру, прив'язування до системи координат тощо.

Такі матеріали можна передавати замовнику протягом тижня після знімання. Багато комерційних систем можуть проводити знімання визначеної ділянки, для чого змінюється кут нахилу знімальної камери або орбіта супутника. У центрах обробки інформації накопичені великі архіви цифрових даних.

З усіх видів космічного дослідження природних ресурсів Землі найефективнішим є метод космічного фотографування. Порівняно з іншими системами спостереження фотографічне зображення відрізняється вищою здатністю, що дозволяє робити різні геометричні виміри об'єктів, що спостерігаються.

Крім того, техніка космічного фотографування доволі добре розроблена. Нефотографічні методи забезпечують надходження додаткової інформації, дозволяють вести цілодобове спостереження за об'єктом.

Фотознімки є основою для різних геометричних вимірювань і стереоскопічного дешифрування, необхідного для визначення площі сільськогосподарських земель. Планові фотознімки плоских ділянок поверхні є готовою картою місцевості. За відомим масштабом фотознімка площі під сільськогосподарськими культурами можна визначити з доволі високою точністю.

Найперспективніший метод розпізнавання видів сільськогосподарських культур є використання комплексу фотографічних і нефотографічних методів дистанційного зондування. На підставі методу космічної спектро-фотометричної індикації розрізняють сільськогосподарські землі, зайняті пшеницею, вівсом, кукурудзою, соєю, конюшиною, люцерною, житом, а також розрізняють види використання земель.

Погіршення стану рослин може бути зумовлено спалахами хвороб, появою шкідливих комах, заморозками, посухою, повеннями, дефіцитом живильних речовин у ґрунті тощо. Проблема розпізнавання цих явищ не є тепер настільки невіршувальною. Здебільшого сільськогосподарські культури, оброблювані в цій зоні, страждають звичайно від одного з цих явищ. Якщо воно один раз було уже визначене і закартовано по фотознімках, то надалі розпізнавання його не становитиме особливих труднощів.

Важливою ланкою в організації сільськогосподарського виробництва є можливість розпізнавання районів, уражених хворобами і шкідливими комахами.

За останні роки значно покращилися засоби контролювання спалахів епідемії хвороб і навали шкідників культурних рослин.

Експерименти, проведені з зображеннями, отриманими в невидимій частині спектра, показали, що визначені захворювання рослин можуть бути зафіксовані датчиками дистанційного зондування, перш ніж вони будуть помічені за допомогою візуальних засобів.

Інформація про врожай і його прогнозування має доволі важливе значення для сільського господарства. Вона необхідна не тільки для сільськогосподарського виробництва, але і для організації обробки, збереження і реалізації його продукції. Дистанційне зондування дає змогу значно скоротити час одержання інформації, необхідної для складання прогнозів і, крім того, підвищити їхню точність.

Постійне збільшення площі земель, підданих ерозії, завдає значної шкоди сільському господарству. Виділення на фотознімках районів, охоплених ерозією, не становить серйозних труднощів завдяки різким контрастам основних елементів яружних систем, таких, як затінений і освітлений схили, світлий тон змитих ґрунтів і темний тон ґрунтового покриву рівнин. Ділянки панування вітрової ерозії визначаються на фотознімках за формами еолового рельєфу і за зонами дії пило-піщаних бур і потоків.

Врожайність і час дозрівання сільськогосподарських культур значною мірою визначаються інтенсивністю росту рослин під час вегетаційного періоду. Оцінка інтенсивності росту сільськогосподарських культур сьогодні заснована на застосуванні методу космічного спектро-фотометрування.

Метод спектро-фотометрування полягає у фіксації енергії, відбитої фізичними об'єктами у вузьких спектральних інтервалах. Використовуються як класичні фотоапарати, забезпечені відповідними світлофільтрами і фотоплівками (в області довжин хвиль 0,3–1,1 мкм), так і спеціальні сканувальні системи. Цей метод дозволяє успішно розв'язувати задачі розпізнавання й ідентифікації різних сільськогосподарських об'єктів з використанням сучасних ПС-технологій.

Фізичні основи цього методу полягають в тому, що пориста мезофільна тканина здорового листка, набряклого внаслідок поглинання ним вологи, що містить значну кількість повітря, є поганим відбивачем променистої енергії. Порушення водного режиму в листку спричиняє руйнування мезофільної тканини, внаслідок чого помітно збільшується коефіцієнт віддзеркалення в області 1,1–3 мкм.

Ці зміни можуть відбуватися задовго до того, як вони будуть помітні у видимій частині електромагнітного спектра, коли відбуваються які-небудь зміни в кількісному і якісному змісті хлорофілу.

Цей самий принцип лежить в основі визначення ураженості сільськогосподарських рослин шкідниками. Поєднання фотографування із спектрофотометричною індикацією є оптимальною системою для виявлення і картографування ґрунтів.

Уперше метод космічного спектро-фотометрування був застосований під час спостереження за природними утвореннями з космічного корабля «Союз-7».

Інфрачервона космічна індикація полягає у фіксації власного теплового випромінювання природних об'єктів. При цьому звичайно виділяються дві області спектра, обумовлені вікнами прозорості атмосфери 3,5–5,5 мкм і 8–15 мкм. Остання зона інформативніша, проте відсутність достатньо чутливих приймачів приводить до зменшення роздільної здатності в цій області.

Реєстрація власного теплового випромінювання проводиться спеціальними сканувальними системами або інфрачервоними радіометрами. Найбільш успішно інфрачервона індикація застосовується для виявлення пожеж і дослідження різних геотермальних процесів. Інфрачервоні датчики, встановлені на супутниках, здатні фіксувати різницю поверхневих температур між окремими ділянками ґрунтів.

На підставі отриманих даних можлива швидка і точна диференціація ділянок ґрунту з різною вологістю і механічним складом на великих територіях.

Поверхнева ґрунтова температура, крім того, вказує на підповерхневі ґрунтові умови. Інфрачервона реєстрація дає якісну характеристику вмісту ґрунтової води у верхньому 50-сантиметровому шарі відкритого ґрунту. Інфрачервона індикація дозволяє виявляти ґрунти з різною текстурою і структурою, а також ґрунти з різним ступенем засоленості. Порівняння теплових знімків, отриманих в різний час доби, дає змогу добре виділяти ділянки, вкриті рослинністю, і ідентифікувати ділянки сільськогосподарських рослин, уражених шкідниками.

Пасивне радіотеплове знімання реєструє природне випромінювання Землі в радіодіапазоні і здійснюється спеціальними радіометрами. Контрасти, реєстровані під час радіотеплового знімання, обумовлені різною випромінювальною здатністю нагрітих тіл у радіодіапазоні. Випромінювальна здатність залежить від складу ґрунтів, стану поверхні, температури і вологості.

Застосування радіотеплового знімання в комбінації з інфрачервоною індикацією дає змогу кількісного визначення температури і вологості поверхневого шару ґрунтів.

За допомогою техніки дистанційного зондування, встановленої на штучних супутниках Землі, можна вести постійні спостереження за циркуляцією атмосферних повітряних мас, станом хмарного покриву й інших кліматичних факторів, настільки необхідних для складання надійних прогнозів погоди для сільського господарства.

Повені, урагани, пожежі, епідемії хвороб і нашествия шкідливих комах ще доволі часто завдають серйозного збитку сільському господарству багатьох країн світу. Своєчасне розпізнавання і картографування стихійних лих – важлива проблема. Вирішити її можна було б за допомогою методів дистанційного зондування.

Інтереси розвитку сільського господарства, тенденції до розширення міських і рекреаційних земель спричиняють необхідність ретельного аналізу сучасного стану й особливостей розміщення земельних ресурсів, використовуваних у різних галузях народного господарства. Успішний розвиток

і правильна організація сільськогосподарського виробництва неможливі без обліку характеру використання сільськогосподарських земель і їхньої продуктивності. Потреба в новітній всебічній інформації, необхідної для інвентаризації земель, сприяла застосуванню космічних методів у дослідженні сільського господарства.

Отже, методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) ґрунтуються на реєстрації і подальшій інтерпретації відбитої сонячної радіації від поверхні ґрунту, рослинності, води та інших об'єктів. Винос пристроїв, що реєструють, у повітряний або навколоземний простір дозволяє одержати значно ширше охоплення території порівняно з наземними методами досліджень. Під час дистанційного зондування значний вплив на якість і застосовність одержуваних даних чинять спектральний діапазон знімання, просторова точність, радіометрична точність, просторове охоплення, оперативність і повторюваність знімання, вартість даних.

Аналіз досвіду використання методів дистанційного зондування земельних ресурсів переконує в тім, що ці методи в найближчому майбутньому в основному замінять традиційні способи одержання інформації про земельні ресурси. На сучасному етапі розвитку та впровадження інформаційних технологій у різних галузях народного господарства на одне з перших місць виходять завдання оперативного одержання інформації про стан земельних ресурсів, їхнього якісного оброблення й аналізу з метою всебічного наукового обґрунтування прийнятих рішень у галузі планування подальшого використання земель.

З огляду на усе вищенаведене, треба відзначити, що для ефективного виконання поставлених завдань у сучасних умовах потрібно збирати й аналізувати значні обсяги інформації з високою періодичністю, що сьогодні можна виконати тільки з використанням комбінації методів ДДЗ та ГІС-технологій.

3.3 Дистанційні методи досліджень за функціональним призначенням

Дистанційні методи дослідження навколишнього середовища

Дистанційні методи – це комплекс апаратурних та методичних розробок, що дозволяють отримувати й інтерпретувати фото-, кіно- та телевізійні зображення, спектральні картини природних і штучних утворень, які доставляються або передаються з аерокосмічних засобів спостереження.

Розробка та використання дистанційних методів вивчення природного середовища, слідкування за станом довкілля і його змінами розглядаються нині як самостійний і перспективний напрямок, що у сукупності є дистанційним моніторингом. Головними, практично значимими перевагами дистанційних методів моніторингу є інтеграція:

- горизонтальна – отримання на одному зображенні великих ділянок поверхні Землі;
- вертикальна – отримання на одному зображенні різних компонентів ландшафту: літосфери, гідросфери, біосфери, антропосфери та атмосфери;
- динамічна – отримання однією реєструвальною системою послідовних зображень тієї самої території через певні проміжки часу.

Зображення, що отримують методами дистанційного моніторингу, відповідно до рівня їх просторової інтеграції поділяють на:

- глобальні – знімки та спектри всієї (або майже всієї) освітленої частини поверхні Землі;
- регіональні, що охоплюють значні площі географічних районів і країн;
- локальні, які дають уявлення про віддалені райони і ландшафти.

Використання системи дистанційних досліджень і відповідної техніки дозволяє:

- виявляти сторонні речовини у навколишньому середовищі;
- ідентифікувати специфічні забруднювачі та класифікувати їх;
- спостерігати за вирівнюванням концентрацій забруднень через певні проміжки часу;

– контролювати джерела, рух та долю забруднень; виявляти вплив забруднень на навколишнє середовище;

– оцінювати якісний стан довкілля, його чутливість до факторів негативного впливу та отримувати відомості для планування і моделювання стану довкілля;

– вивчати та освоювати природні ресурси (геологічні, рослинні, ґрунтові, водні, промислові);

– визначати дрейф морських криг; виявляти та прогнозувати зміни у регіональній системі міських зон тощо.

Робота приладів для дистанційних досліджень ґрунтується на вибіркового поглинанні та відбиванні радіації природними утвореннями і біологічними об'єктами в інфрачервоному, видимому та ультрафіолетовому діапазонах спектра сонячного випромінювання або штучних джерел оптичного та радіодіапазонів. Ці прилади конструктивно об'єднують у лазерні та радарні сканувальні системи і встановлюють на літальних апаратах та супутниках. Найзручнішою для дистанційних вимірювань частиною спектра є середня інфрачервона, де більшість забруднень має свої специфічні спектри поглинання. Спостереження можуть здійснюватися як вдень, так і вночі. Особливо незамінними дистанційні дослідження є у важкодоступних районах - непрохідних тропічних лісах, Арктиці тощо.

Дистанційні методи вивчення забруднення атмосфери

Основною перевагою дистанційних вимірювань є можливість безперервного визначення середніх концентрацій шкідливих речовин по площі, а також оцінки вертикального розподілу домішок, які характеризують потенціал забруднення. Одночасно дистанційні методи забезпечують встановлення напрямку руху забруднюючих речовин в атмосфері.

Спостереження переносу газоподібних забруднювань можуть бути організовані як на мережі станцій впродовж кордонів держав, так і за допомогою пересувних установок, що розміщуються на автомобілях і літаках.

Виміри концентрацій газоподібних забруднень здійснюють за допомогою спектрометрії прямого і розсіяного атмосферного сонячного або місячного випромінювання, а також резонансними методами.

Найбільш перспективними методами дослідження дальнього переносу газоподібних забруднень слід вважати активний адсорбційний метод з розміщенням на літакові лазерного джерела випромінювання і оптичного гетеродина, який тримає відбите земною поверхнею лазерне випромінювання.

На підставі таких вимірювань (цілодобових) виготовляють карти горизонтального розподілу забруднень і висотні профілі молекулярних компонентів атмосфери.

Найбільш систематизовано організовані спостереження вмісту озону в атмосфері. Світова мережа налічує 100 станцій. В країнах СНД функціонує 45 озонетричних станцій, 3 з яких – в Україні.

Дослідження димового забруднення атмосфери здійснюють за допомогою космічних знімків. Найбільшу яскравість димові забруднення мають в частині спектру 0,4–0,5мкм.

Світлі полоси димових струменів від пожеж особливо чітко виявляються на локальних фотографіях, а також на знімках з супутника природних ресурсів «ЛАНДСАТ – 1» і «ЛАНДСАТ – 2».

За допомогою метеорологічних супутників Землі ведуться цілодобові спостереження за вулканічними виверженням.

Пилове забруднення атмосфери вивчають з використанням космічних зображень. Космічна зйомка дає можливість визначити розміри пилових бур, встановити склад пилу, дослідити шляхи переміщення пилу і встановити райони «розвантаження».

При спостереженнях стану атмосферного повітря в містах здійснюють:

- контроль викидів, що дає змогу виявляти, ідентифікувати та визначати потужності джерел викиду;
- контроль рівня забруднень.

Вимірювання проводять за допомогою пасивних та активних засобів виміру.

Пасивні прилади – це мас-спектрометри та фільтрові радіометри на SO_2 і NO_2 .

До активних засобів виміру відносять: лідари диференційного поглинання-розсіювання (ДПР); комбінаційного розсіювання і флюоресценції. Ці прилади здатні проводити контроль викидів у будь-який час доби в широкому діапазоні метеоумов. Контроль викидів здійснюють за допомогою пересувних постів на базі автомобілів, літаків або із зручних точок.

Найефективнішими методами слід вважати лідари диференційного поглинання – розсіювання, які забезпечують визначення у викидах: SO_2 , NO_2 , NO , Cl_2 , Hg , бензол, формальдегід з радіусом дії від 0,5 до 6 км.

При безпосередньому контролі забруднення атмосферного повітря в автоматичному режимі використовують газоаналізатори різних типів на SO_2 , NO_2 , NO , CO , O_3 , NH_3 , HF , H_2S , HCl , суму вуглеводнів.

Дистанційне вивчення водного середовища

Отримані з космосу фотографії та телевізійні зображення широко використовуються при вивченні забруднення Світового океану, структури і напрямків морських течій, первинної продуктивності морів, стану поверхневих вод.

В ідентифікації процесів забруднення моря можуть бути використані матеріали аерокосмічних зйомок у видимому та ІЧ-діапазонах, отриманих за допомогою багатоканальних сканувальних пристроїв («МСУ-С», «МСУ-Е», «НВЧ- радіометрами», а також апаратурою «КАТЕ-140», «МЕФ-6»).

Дистанційні методи виявлення забруднень водних басейнів поллютантами ґрунтуються на виявленні фітопланктону, наявність якого тісно пов'язана з рівнем забруднення поверхневих вод. В свою чергу оптичні характеристики фітопланктону тісно пов'язані з оптичними характеристиками хлорофілу, який впливає на інтенсивність розсіяного водою світла.

Дистанційні методи виявлення нафтових забруднень вод морів, акваторій ґрунтується на відмінності оптичних, теплових властивостей води, забрудненої нафтопродуктами, і чистої води. Дистанційні засоби виявлення нафтових забруднень поділяють на пасивні і активні. Пасивні методи ґрунтуються на реєстрації теплового випромінювання (ІЧ та НВЧ) і природного γ -випромінювання. При використанні активних засобів досліджувана поверхня води опромінюється джерелами випромінювання визначеного спектрального складу з наступною реєстрацією відбитого випромінювання або флюоресценції. Використовують УФ, видиме, ІЧ та НВЧ випромінювання.

Радіолокаційні методи дозволяють картографувати площі нафтового забруднення, а також визначати тип нафти. Використання радіолокаційної техніки істотно розширює можливості авіаційних методів моніторингу морської економічної зони як за рахунок значно більшої ширини смуги огляду засобами телевізійної зйомки, так і за рахунок можливості вести зйомки.

Дистанційні методи дослідження суші

Останнім часом все більшого поширення набувають сучасні методи дистанційного дослідження ділянок суші земної поверхні із застосуванням супутників, лазерної і радарної техніки. Існує різноманітна апаратура для радарної аерозйомки (РАЗ), яка дає оперативну та детальну інформацію. РАЗ є потужним узагальнюючим засобом вивчення ландшафтних особливостей. Успішність методу дозволяє здійснювати зйомку у критичний фенологічний пе-ріод, коли відмінності рослинних асоціацій виражені найбільш чітко.

Одним з найбільш поширених дистанційних методів вивчення вмісту вологи в ґрунтах є метод НВЧ-радіометрії. Цей метод дозволяє визначати: ступінь зволоження, запаси вологи, якість поливу посівів, мінералізацію водоймищ, фільтрацію води з магістральних каналів, ділянки суші з високими рівнями ґрунтових вод.

Визначення дистанційними методами вмісту гумусу в ґрунтах ґрунтується на визначенні у видимій і ближній ІЧ областях спектру (0,4–1,2 мкм) коефіцієнта

яскравості, який корелює і зменшується зі збільшенням вмісту гумусу в горизонті А1.

У зв'язку з інтенсивним освоєнням земель велике значення має складання карт, на яких відображають ерозійні процеси (вітрової і водної ерозії).

Методи дистанційної індикації засолених ґрунтів використовують оптичний і радіотепловий діапазон. Встановлено, що солі відрізняються найвищим з ґрунтових утворень значенням яскравості.

За допомогою матеріалів, отриманих радарними чи лазерними сканувальними системами, встановленими на літальних апаратах, можна визначити висоту дерев, кількість рослин, виміряти потік енергії, що входить в екосистему та виходить з неї (співвідношення поглинутої та відбитої радіації), отримати дані, які дозволяють передбачити поширення і статистичні параметри рослинності в зонах, де немає наземного контролю. Особливо перспективними є лазерні дослідження, за допомогою яких можна здійснити облік пасовищ або ділянок, що обробляються, локалізувати та виміряти осередки поширення фітопатогенних факторів, виявити лісові пожежі тощо.

За допомогою аерофотозйомки та дешифрування отриманих знімків можна визначити зімкнутість та щільність лісу, провести лісопатологічні дослідження. Сухостій у насадженнях в більшості випадків надійно виділяється за допомогою спектрональних аерознімків. Деревостани та окремі дерева, пошкоджені пожежею, ентомо- та фітошкідниками, за характером зображення помітно відрізняються на аерознімках від здорових дерев. Аерофотозйомка, що проводиться після пожежі у важкодоступній місцевості, дає можливість визначити вид пожежі і ступінь пошкодження насаджень, а також намітити різні лісогосподарські заходи.

Основними напрямками розвитку аерокосмічного моніторингу екосистем є використання реєстрацій відбивання світла і власного випромінювання Землі в різних спектральних інтервалах: візуальні спостереження (0,40–0,64 мкм), фотографування (0,40–0,92 мкм), спектрофототитрування (0,4–2,5 мкм), телевізійна зйомка (0,45–0,75 мкм), тепла ІЧ зйомка (2,6–5,5 і 8,0–14,0 мкм),

багатоспектральна зйомка (0,32–12,5 мкм), мікрохвильова зйомка ($> 0,3$ см), а також активні методи локації.

При дослідженні водно-болотних угідь добре зарекомендував себе метод радіолокаційної зйомки. Великі перспективи для вивчення болотних масивів відкриває багатозональна зйомка.

Дистанційні дослідження знаходять застосування і в сільському господарстві. Різноманітні форми впливу людини на природні ландшафти, як правило, добре розпізнаються на аерознімках. На середньомасштабних аерознімках (1: 25 000) розрізняють основні типи культур і дуже окультурені ландшафти, на крупномасштабних (1: 10 000) – всі типи окультурених ландшафтів. При сільськогосподарському дешифруванні знімків велике значення має розпізнавання культурної рослинності, вторинної рослинності цілини та культуро-технічного становища пасовищ і сіножатей.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ФОТОГРАМЕТРИЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕРИТОРІЙ

ТЕМА 4 ФОТОГРАМЕТРИЧНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ОБРОБЦІ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ

План

4.1 Роль фотограмметрії в дослідженні територій.

4.2 Види основних фотограмметричних процесів при обробці даних дистанційного дослідження територій.

4.3 Послідовність проведення основних фотограмметричних процесів при зйомці та обробці отриманих матеріалів.

4.4 Інтерпретація даних дистанційного дослідження територій.

4.1 Роль фотограмметрії в дослідженні територій

Починаючи з сімдесятих років минулого століття, з розвитком засобів обчислювальної техніки виникла велика кількість дисциплін, пов'язаних з розробкою зображень. До таких дисциплін відноситься машинна графіка, розпізнавання образів і аналіз сцен, реконструкція зображень, цифрова фільтрація, зір роботів, зорове сприйняття і ряд інших. В основу цих дисциплін лягли теорія сигналів, обчислювальна геометрія, теорія інформації, теорія ймовірності і математична статистика, операційні методи, теорія зв'язку та інші. Зараз під зображенням розуміється вже не фотографії на паперових носіях, а багатовимірні цифрові сигнали, які є функціями багатьох змінних. Фотограмметрія також змінилася і підготувалася до переходу на цифрові методи обробки, утворивши новий напрям – цифрову фотограмметрію.

Цифрова фотограмметрія має справу з цифровими зображеннями об'єктів, отриманими цифровими камерами з кадровими, сканерна, лазерними знімальними системами або шляхом перетворення аналогового зображування в цифрову форму. Цифровий знімок становить матрицю, елементами якої є числа,

що характеризують щільність або колір елементарної ділянки, що знімається. Аналітичні рішення фотограметричних завдань із розвитком цифрових технологій також зазнали зміни, але залишилися фундаментом і в цифрових методах обробки.

Перехід в фотограмметрії від аналогових і аналітичних методів до цифрових ще гостріше поставив перед фотограмметристами колишні проблеми зі значного скорочення польових топографо-геодезичних робіт і автоматизації процесів обробки аерокосмічних і наземних знімків. Та традиційні процеси, як ортофототрансформування, побудова цифрових моделей рельєфу місцевості, автоматизація стереоототожнення і високоточні вимірювання однойменних точок, що перекриваються аерокосмічними знімками, синтезом зображень, отриманих в різних спектральних діапазонах, були значно вдосконалені. Внесла свій внесок в цифрову фотограмметрію радіоелектроніка. Це відноситься до автоматизованого визначення координат центрів проєктування знімальних камер за допомогою GPS-технологій і удосконаленню інерційних навігаційних систем (ІНС), що призвело до автоматизованого визначення кутових елементів зовнішнього орієнтування, т. е. до повної автоматизації процесу визначення всіх елементів зовнішнього орієнтування знімків.

Нині помилки визначення координат за допомогою GPS становлять в районі 1 м, а за допомогою ГЛОНАСС – до 2,7 м. При спільному використуванні обох навігаційних систем точність визначення координат на території Європи вже на рівні від 1 до 0,5 м. планується, що в 2016 р точність визначення координат за допомогою ГЛОНАСС буде доведена до 1,1 м. Проводяться розробки щодо визначення в динамічному режимі координат з точністю до 0,1 м (рис. 4.1). Щоб не втратити ці точності, у фотограмметрії з'явився новий процес – визначення елементів виставки навігаційної та іншої апаратури в будівельній системі координат носія.

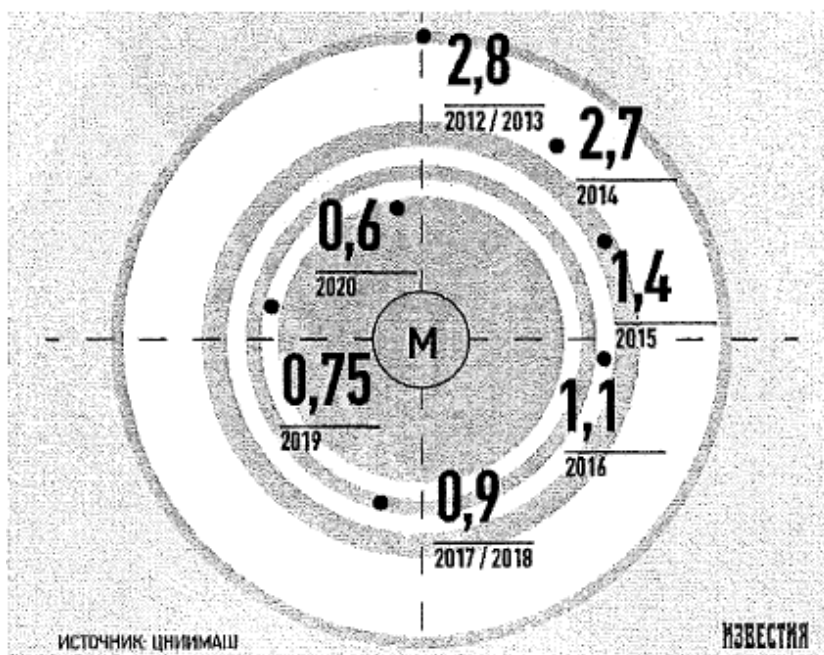


Рисунок 4.1 – Точність позиціонування ГЛОНАСС

Інерціальна система, яка встановлюється на платформі літального апарата, служить для визначення його кутового положення в просторі, складається з елементів для визначення вертикалі місця, вимірювання та інтегрування прискорень, обчислювальної частини. Зазвичай розрізняють три типи систем: геометричний, напіваналітичного і аналітичний.

У системах першого типу блок гіроскопів орієнтується і стабілізується в інерціальному просторі, а платформа з акселерометром для стеження за становищем місцевої вертикалі орієнтується в горизонтальній площині. Вимірювання кутів між платформою і блоком гіроскопів визначають координати місця, що рухається.

Акселерометри і гіроскопи в системах другого типу розташовуються на одній платформі, причому прецесія гіроскопів (а за ними і поворот платформ ми) викликаються сигналами з акселерометрів. Поза платформи розташоване на обчислювальній машині, яка визначає координати позиціонуванням об'єкта.

В інерційних системах третього, аналітичного, типу і акселерометри, і гіроскопи нерухомі в інерційному просторі. Координати об'єкта містяться в лічильно-вирішальному пристрої, у якому обробляються сигнали, що знімаються

з акселерометрів і пристроїв, що визначають поворот самого об'єкта щодо гіроскопів і акселерометрів.

Кадровий аерокосмічний цифровий знімок відрізняється високою точністю зображення. Застосовується для створення топографічних карт земної поверхні. Фокальна площина знімальної камери є відкалібрована ПЗС-матриця.

4.2 Види основних фотограмметричних процесів при обробці даних дистанційного дослідження територій

Для впізнання і маркування піксельних координат опорних точок цифрового знімка і їх маркування на екрані дисплея за допомогою контурів або інших описів геодезичними способами виконується планово-висотна прив'язка аерокосмічних знімків з визначенням просторових координат опорних точок в заданій просторовій системі координат. Після цього на перекриваючих знімках виконується маркування і вимір координат точок згущення. При цьому знімки повинні мати поздовжнє і поперечне перекриття. Просторова фототриангуляція проводиться з метою значних зменшень дорогих польових геодезичних робіт. Зазвичай використовуються статистично суворі методи зрівнювання блоку або маршруту знімків. Перекриття знімків уздовж маршруту близько 60 %, а на поперечних маршрутах – близько 30 %. При зрівнюванні використовується метод найменших квадратів. Умовні рівняння – не лінійні, а нормальні – мають дуже великий порядок. Завдання вирішується ітеративним методом. До зрівнювання всі виміряні координати повинні бути приведені в цифрову форму, а до цього моменту стереоопізнання і вимір точок проводиться автоматизованим способом. В даний час в світі створено величезну кількість програм зрівнювання. Найкращим рішенням буде таке, при якому з високою точністю будуть визначені координати центрів проєктування і кутові елементи, а також враховані майже всі систематичні помилки, процес фото триангуляції відпадає, і для кожного знімка будуть відомі елементи орієнтування.

Наступним етапом робіт є вимірювання по перекриванню знімків піксельних координат ідентичних точок, перетворення координат цих точок в

цифрову форму, рішення задачі прямих багаторазових зарубок в ортогональній або іншій картографічній проєкції, побудова тріангуляції Делоне з обробкою грубих вимірів, регулярної сітки вузлів з характерними точками рельєфу і створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР) (рис. 4.2). Вихідною інформацією для рішення задачі прямих фотограмметричних зарубок є елементи зовнішнього орієнтування використаних знімків.

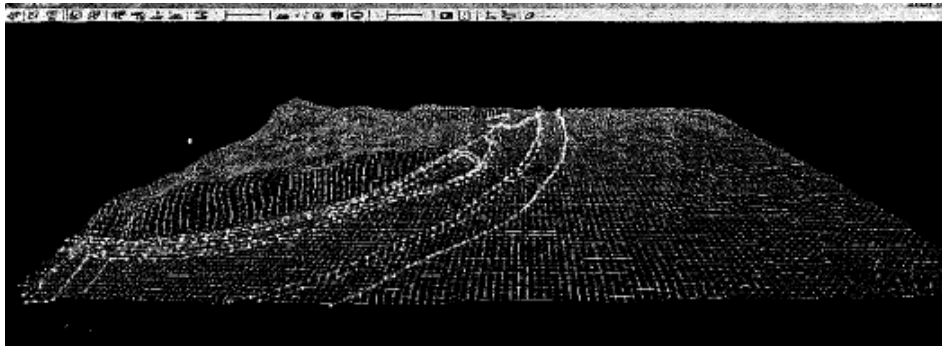


Рисунок 4.2 – ЦМР для ортофотопланів

ЦМР – засіб цифрового представлення тривимірних просторових об'єктів (поверхонь, рельєфу місцевості) у вигляді тривимірних даних як сукупності висот або відміток глибин і інших значень аплікату (координати Z) в вузлах регулярної сітки з утворенням нерегулярної мережі (TIN) як сукупність даних записів горизонталей (ізогіпс, ізобат) або інших ізоліній. Джерелами вихідних даних для створення ЦМР служать топографічні карти, аерознімки, космічні знімки, дані альтиметричних зйомки і т. д. ЦМР – дискретна модель представлення просторових поверхонь у формі, зручній для обробки, зберігання та подання в інформаційних системах.

Ортотрансформовані зображення можуть використовуватися як фоновий шар ГІС або для цифрування і оновлення карт. Сканований аерофотознімок або супутникове зображення трансформуються цифровимірвальними методами в ортографічній проєкції шляхом обробки кожного пікселя за допомогою рівнянь просторової фотограмметричної зарубки. Ця обробка вимагає в якості вихідних

даних або координат опорних точок (даних і (або) обчислених шляхом зрівнювання мережі) і координат з відповідних точок на зображенні, або параметрів зовнішнього орієнтування, а також інформації про ЦМР.

Цифровий ортофотознімок – це орієнтоване в системі координат місцевості зображення, створене по похилому фотознімку або іншому зображенню дистанційного зондування, на якому усунуті зміщення, викликані орієнтацією датчика і рельєфом місцевості. Матеріалами зйомки при цьому безпосередньо є цифрові моделі рельєфу місцевості і цифрові карти в горизонталях. В якості текстури використовують знімки з елементами зовнішнього орієнтування (рис. 4.3).

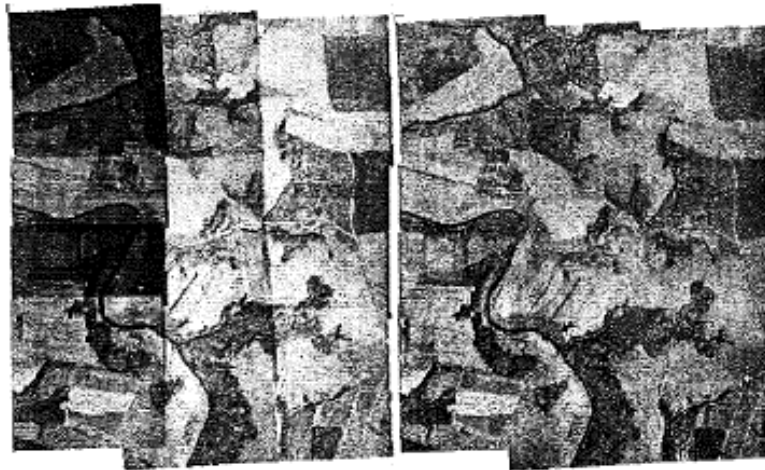


Рисунок 4.3 – Мозаїка вихідних знімків без вирівнювання і результат глобального та локального вирівнювання

Ортофотознімок є важливою продукцією для безлічі завдань картографування, управління і моніторингу. Крім даних у вигляді аеро- або супутникових знімків, системи опорних точок і ЦМР для отримання фотоплану необхідна відповідна спеціалізована система. Як приклад можна привести систему «ImageStation OrthoPro» (рис. 4.4).

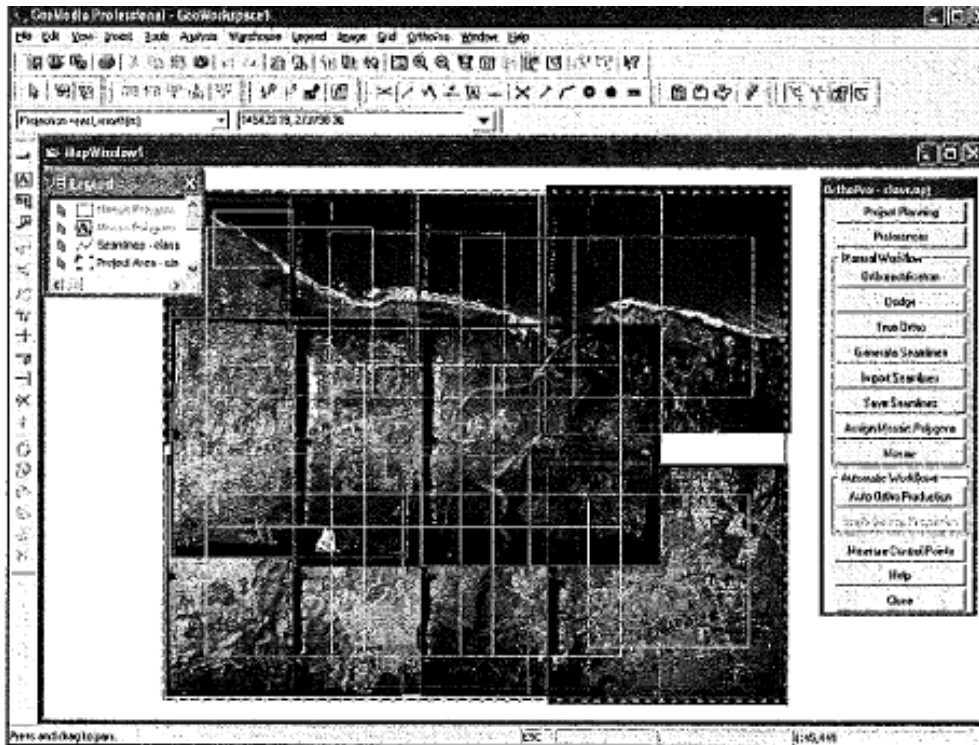


Рисунок 4.4 – Панель управління «OrthoPro»

Нині практично вирішене і питання створення високоточних цифрових топографічних аерокосмічних знімальних камер. Насамперед це стосується цифрової знімальної системи «DMC», створеної фірмою «Carl Zeiss / Intergraph» («Z / I Imaging»), і літакового цифрового датчика зображень «ADS100», створеному LH Systems (Швейцарія) і німецьким аерокосмічним центром DLR (рис. 4.5) .

На сьогодні група компаній «Hexagon» також пропонує найбільший набір різних типів сенсорів для топографічної аерофотозйомки:

- широкоформатний авіаційний сканерний сенсор серії «ADS»;
- високопродуктивні кадрові аерофотокамери серії «DMC»;
- середньоформатні кадрові аерофотокамери серії «RCD30» в модифікаціях для планової та перспективної зйомки.

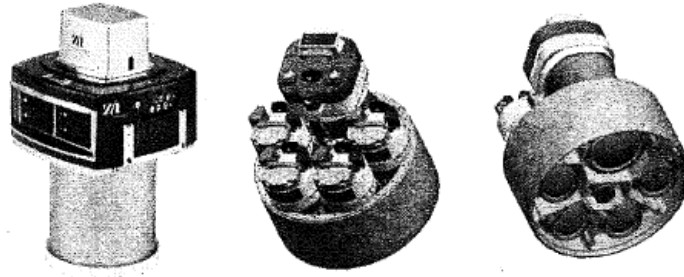


Рисунок 4.5 – Цифрова камера Z / IDMC (її пристрій)

Це стало можливим внаслідок приєднання у 2010 році двох раніше конкуруючих компаній – «Leica Geosystems» і «Z / I Imaging», збереження, розвитку і поєднання технологій, створених цими компаніями.

Нова авіаційна сканерна камера «ADS100» була презентована в березні 2013 року. Принцип формування зображення зберігся таким же, яким він був і для попередньої моделі, «ADS80»: три лінійних сенсора, спрямованих уперед, назад і складаються з декількох спектральних лінійок, формують «цифровий килим». Однак камера «ADS100» більш досконала.

Основна відмінність камери «ADS100» – збільшення смуги захоплення з 12 000 до 20 000 пікселів упоперек маршруту для всіх лінійок і, відповідно, збільшення продуктивності. У камері «ADS100» відсутній панхроматичний канал (рис. 4.6) всі кольорові канали мають найвищу дозвіл (20 000 пікселів).

Наступне важливе вдосконалення – це наявність режиму часової затримки і накопичення сигналу (TDI – «time-delay integration») для компенсування зсуву зображення. Всі використовувані CCD-лінійки є матрицями з 16 рядками, що дозволяє застосовувати різні режими TDI (від 1 до 15 пікселів). Наявність TDI-режиму дає можливість літати на більших швидкостях при гірших умовах освітлення.

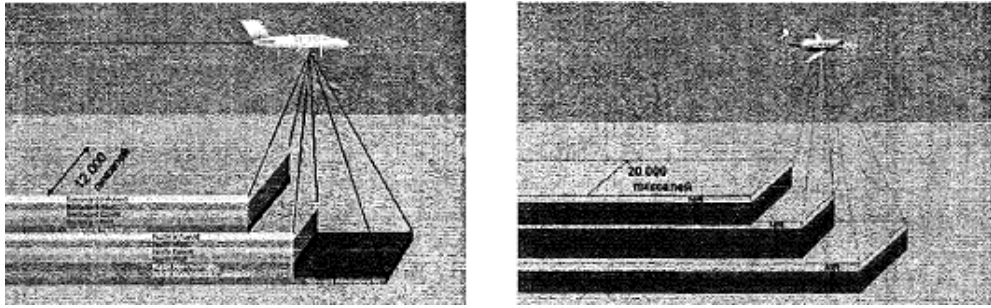


Рисунок 4.6 – Схема отримання зображень у камерах «ADS80» і «ADS100»

При космічній зйомці геометрія зйомки змінюється по розташуванню сканерів щодо орбітальної системи координат і відносно горизонтальної площини ділянки. До цифровим методам застосовуваної в даний час зйомки відноситься і сканерна зйомка із застосуванням ПЗС-лінійок. Елементи ПЗС-лінійки (пікселі) розташовані на прямій з заданим однаковим кроком в фокальній площині об'єктива знімальної камери. Отже з'єднання рядків, отриманих в поточні моменти часу по трасі польоту носія, являє собою зображення місцевості, яке будемо називати сканерно-орбітальною панорамою. З метою полегшення камеральної обробки панорама розбивається на умовні кадри (сканерний знімок). У ряді випадків з метою зменшення накопичення геометричних спотворюючих умовний кадр додатково розбивається на окремі сегменти.

Кожне зображення рядка при цьому підкоряється закону центрального проєктування і утворює плоску систему координат знімка з початком до ординат в головній точці знімка. У межі при суцільному послідовному розташуванні ПЗС-лінійок в фокальній площині цифрової камери утворюється кадровий знімок центрального проєктування з ПЗС-матрицею. Зауважимо, що для отримання хорошої фотометричної якості при сканера зйомці найкращим варіантом буде розташування ПЗС-лінійки в середній частині кадру фокальній площині.

У низці випадків однорядкові і багаторядкові сканери випускають зі стикуватися паралельно двома або трьома лінійками, що забезпечує краще

розпізнавання об'єктів. При цьому кожна фірма-розробник вибирає свій варіант конструкції, який вважає кращим для рішення тих чи інших завдань.

Варто розрізняти:

- зйомку одною знімальною камерою, жорстко встановленої на носії при постійному заданому кутовому положенні в просторі;

- зйомки одною знімальною камерою з послідовним заданим зміненням її кутового положення в просторі під час зйомки;

- одночасні зйомки декількома знімальними камерами, встановленими на носії в заданих кутових положеннях в просторі під час зйомки;

- одночасні зйомки декількома знімальними камерами, встановленими на об'єкті з послідовним заданою зміною їх кутового положення в просторі під час зйомки.

Крім положення знімальних камер, на об'єкті потрібно також розрізняти:

- розташування в просторі самих носіїв:

- постійне кутове положення носія при зйомці;

- відстеження центральним променем сканування місцевої вертикалі;

- відстеження центральним променем сканування заданої точки місцевості;

- довільне положення носія в просторі.

На практиці використовується більшість перерахованих схем зйомки.

За геометрії формування також можливі різні варіанти сканерних зйомок.

Найбільш типові такі:

- зйомка за допомогою оптико-механічних сканерів - окремі обертові дзеркала або активні елементи або лінійки з невеликим числом елементів;

- сканерна зйомка однією лінійкою ПЗС;

- сканерна зйомка двома лінійками ПЗС, до того ж за можливості стереообробна зйомка виконується з перекриттям, або конвергентно, з однієї траси, або з двох трас управо або вліво;

- сканерна зйомка трьома лінійками ПЗС (рис. 4.7).

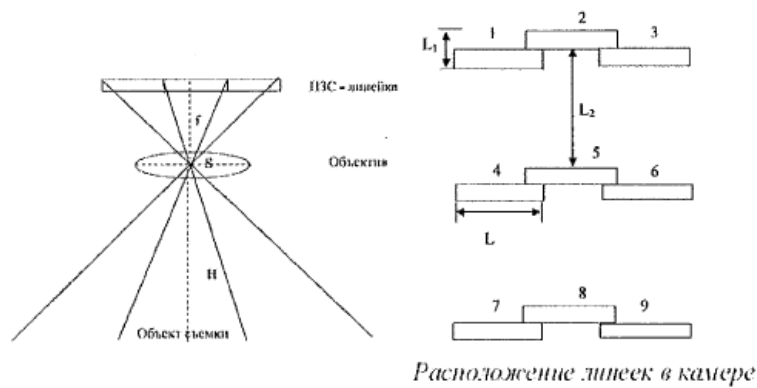


Рисунок 4.7 – Сканерна зйомка трьома лінійками ПЗС

При трьохсканерній синхронній зйомці одна лінійка розгорнута для зйомки по місцевої вертикалі, а дві інші – в бік руху носія і в протилежну сторону. При цьому поздовжні кути їх нахилу відносно площині сканування для середньої лінійки мають протилежні за знаком кути і постійні значення за величиною. Синхронна зйомка трьома лінійками ПЗС дозволяє формувати кадрові знімки центрального проєктування, що складаються всього з трьох рознесених рядків, але які відносяться до одному моменту часу.

Застосування цифрових способів зйомки і обробки отриманих матеріалів сприяє створенню знімального обладнання, заснованого на нових фізичних принципах. Це в першу чергу відноситься до створення лазерних знімальних систем. Лазерні знімальні системи являють собою комплекс приладів, здатних практично в реальному масштабі часу опрацювати знімальний матеріал. Цей комплекс включає в себе лазерний 3D-сканер, бортову GPS-антену, інерційну систему, цифрову аерознімальну камеру та інше допоміжне обладнання. Уся апаратура жорстко закріплюється на літальному апараті. Лазерний сканер – це активне середовище дистанційного зондування, воно дозволяє з допомогою дальності і кута відхилення лазерного променя від вертикального положення отримати хмару точок, відбитих від об'єкта сигналів. У низці комплексів для отримання хмари просторових точок на поверхні об'єкта зазвичай використовується принцип оптико-механічного сканування: за допомогою оберտального дзеркала і руху носія. Крім оберտального дзеркала, у низці випадків

використовують обертальні призми, оптичний клин і інші пристрої. Джерелом випромінювання служить напівпровідниковий лазер ближнього інфрачервоного діапазону. Лазер працює в імпульсному режимі. Часовий інтервал від моменту випромінювання до отримання відбитого від об'єкта сигналу дозволяє визначити похилу дальність до об'єкта. Якщо на шляху променя зустрічаються інші пробивані лазерним променем об'єкти, то від них також відбувається часткове відображення сигналів, що дозволяє і до цих об'єктів визначати похилі дальності.

У системі координат лазерного пристрою. Кут сканування і дальність дозволяють обчислити вектор просторових координат точки в заданій системі координат сканера, в якій фіксуються кути відхилення лазерного променя від початкового положення. В результаті дистанційного зондування для кожного лазерного вимірювання в фіксовані моменти часу визначаються дальність до відображеної точки і шість елементів зовнішнього орієнтування в геоцентричній системі координат.

4.3 Послідовність проведення основних фотограмметричних процесів при зйомці та обробці отриманих матеріалів

Бортова лазерна сканувальна система геодезичного класу «FALCON III». «FALCON» є комплект бортового устаткування і програмних засобів для отримання цифрових моделей поверхні (ЦМП), цифрових моделей рельєфу (ЦМР) і цифрових ортозображень. «FALCON III» розроблений на основі багаторічного виробничого досвіду роботи компанії «ТороSys» з власними системами лазерного сканування. Основне призначення бортового комплексу «FALCON III» є отримання ЦМР, ЦММ і цифрових ортофотопланів (рис. 4.8).

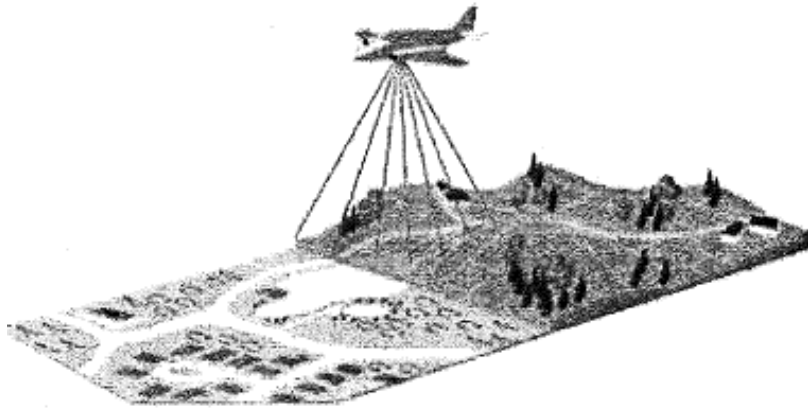


Рисунок 4.8 – Схема зйомки території

До складу комплексу входить:

- апаратна частина – робочий блок, блок обробки, пульт;
- оператора і пульт штурмана (додатково);
- модульний пакет програмного забезпечення для обробки даних зйомки.

Точність вимірювання відстаней у цьому комплексі становить менше 2 см.

Система використовує принцип віялового сканування. Напрямки лазерних променів відносно один одного в цій системі фіксовані в діапазоні 20 градусів. За рахунок великого темпу видачі лазерних імпульсів будується модель поверхні з кроком 0,24 м. З відстані 0,5 м лазерний промінь безпечний для зору. Калібрування блоків комплексу на жорсткій платформі проводиться в заводських умовах. Спектрозональний лінійний сканер комплексу отримує цифрові зображення в чотирьох зонах спектра: червоному, зеленому, синьому і ближньому інфрачервоному (рис. 4.9). Система включає в себе високоякісних, світлочутливу, оптичну систему, яка дозволяє збирати дані навіть в умовах поганої освітленості. При роботі з багатьма додатками зображення, записані одночасно з результатами вимірювань, отриманими за допомогою лазерного сканера, часто спрощують інтерпретацію даних по висот. Отримання даних в чотирьох частинах спектра (червоному, зеленому, синьому і близькому до інфрачервоного) дозволяє отримати реалістичне кольоровідтворення («true color»), а отримання даних в інфрачервоному, красному і зеленому спектрах дозволяє отримати знімок в синтезованих кольорах. Синтезований

знімок дозволяє легко вичленити вкриті рослинністю області, красному і зеленому спектрах дозволяє отримати знімок в синтезованих кольорах.

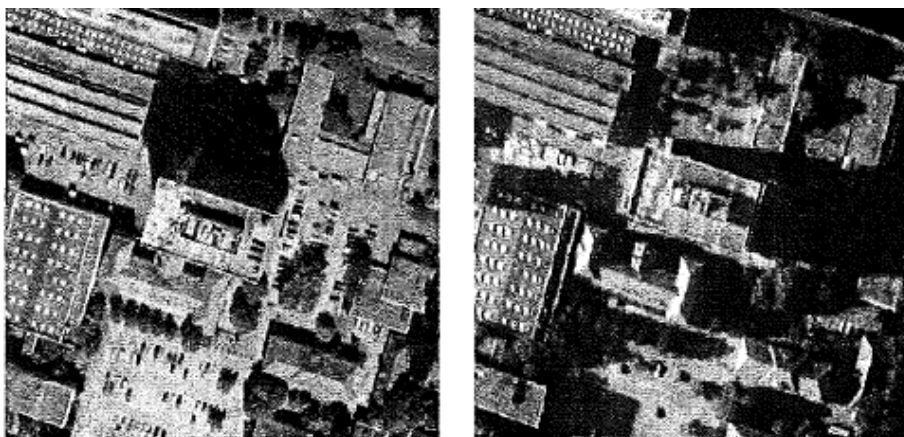


Рисунок 4.9 – Варіанти інтерпретації знімків

Незважаючи на те що авіаційна лазерна сканувальна система «FALCON» відмінно зарекомендувала себе в виробничому процесі впродовж багатьох років, компанія «ToroSys» продовжує розробки по удосконаленню як апаратної частини, так і програмного забезпечення. Мета полягає у тому, щоб як в обладнанні, так і в програмному забезпеченні системи «FALCON» завжди були реалізовані новітні досягнення у сфері високих технологій. Модульне програмне забезпечення включає програми обробки даних і перетворює результати майже в будь-який формат даних, наприклад: «ERDAS imaging», «ENVI», «PCI» «Geomatics», «ESRI ArcGIS», «Terrasolid, Surfer».

*Авіаційна лазерна система картографування !ALTM 3100! компанії
«Optech»*

Лазерний промінь «ALTM 3100» безпечний для зору на відстані 80 метрів. Метод сканування – осцилювальне дзеркало. Максимальний кут сканування – 50°. Точність кутового положення лазерного променя 0,005–0,008 градуси, точність визначення висоти 15 см при висоті до 1 200 м і 35 см – при висоті до 3 000 м, точність планового положення $\frac{1}{2}$ від висоти (в метрах). Сканування поверхні виконується з частотою 1 кГц, що дозволяє провести 100 000 вимірювань за секунду. Аерозйомка справджується камерою «Rollei AIC

Modular LS». Залежно від висоти зйомки, типу літального апарату і призначення ALTM-система розподіляється на чотири групи систем: «ALTM Gemini», Серія «Orion M», Серія «Orion C» і «SHOALS-3000» (рис. 4.10).

«ALTM Gemini» – це висотний сенсор картографування великих територій, який може також ефективно працювати і на малих висотах. Ця розширена функціональність забезпечує оптимальність вибору «ALTM Gemini» для тих, хто хоче більшої універсальності для використання системи в різних областях застосування. З низкою додаткових периферійних опцій, включаючи реєстрацію форми хвилі сигналу для можливості комплексного моделювання та отримання цифрових знімків високого дозволу, «ALTM Gemini» становить універсальне рішення для професійних аерознімальників.

«ALTM Orion» – це найкомпактніша система лідарного картографування. Як остання інноваційна технологія та конструкція системи, «Orion» забезпечує економічну, надійну зйомку, зберігаючи при цьому всі властивості і переваги продуктивності, які очікують від великих систем.

Серія «Orion M» є середньовисотною, високопродуктивною системою, яка забезпечує дані захоплюючої точності і дозволу, здебільшого використовується для інженерних додатків. Здатна збирати дані виняткової точності з висот вище 2 000 м, система «Orion M» ідеальний вибір, коли потрібно використовувати літальний апарат з обмеження не справжньою здатністю або необхідне використання системи в різних додатках.

Системи серії «Orion 3» призначені для зйомки з малих висот і розроблені спеціально для коридорних додатків, де потрібно максимальна деталізація, що знімається і дані високої точності. Забезпечуючи можливість отримувати видатну щільність точок на поверхні землі (на ефективній частоті 200 кГц) і здатна працювати цілком безпечно для зору на вкрай малих висотах (дальність понад 7 м безпечна для зору), система «Orion 3» є кращою системою для професіоналів.

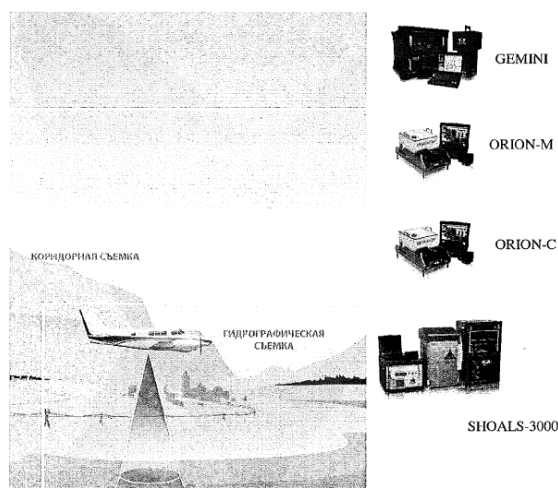


Рисунок 4.10 – Використання лідарних комплексів залежно від призначення і типу літального апарату

Повітряна лазерна батиметрична система «SHOALS 3000» (Optch. Inc., Канада) – це система, призначена для одночасного картографування берегової зони мілководдя до 50 метрів в чистій воді і до 40 метрів на мілководді. Дешифрування піддаються підводні об’єкти до 2 метрів. Висота повітряної зйомки – 200–400 метрів. Кут сканування – 20 градусів. Система з’єднана з гіперспектральною камерою. Сенсор системи «SHOALS-3000» і системи обробки даних застосовують цей принцип за допомогою аналізу форми хвилі відбитого сигналу для отримання максимальної точності про мету (рис. 4.11).

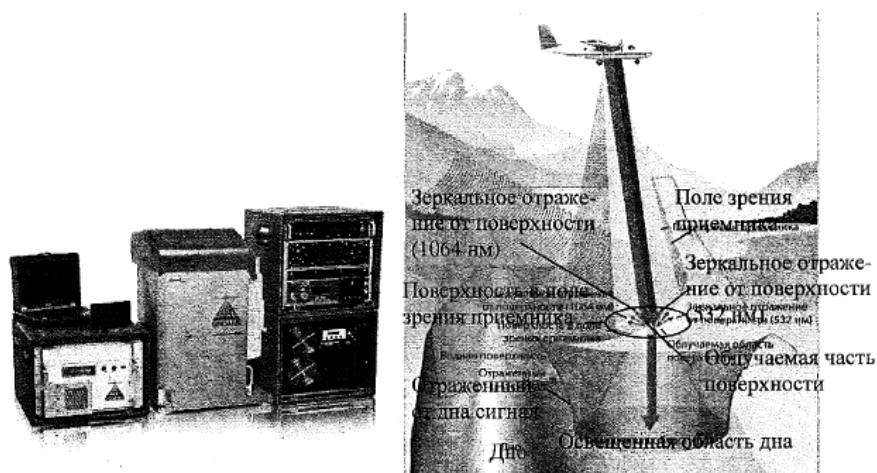


Рисунок 4.11 – Авіаційний лазерний батиметр «SHOALS-3000» і фізичні принципи його роботи

Гідрографічна система «SHOALS-3000» компанії «Ortech» створює цілісні моделі даних завдяки обробці і відображенню даних в режимі реального часу. Кінцеві дані включають детальні моделі поверхні над водою і під водою з довірчими інтервалами, допоміжні фотознімки, образи відбивної здатності для класифікації характеру поверхні і дані форми хвилі відбитого сигналу. Система готова до роботи з даними GPS, ГЛОНАСС і L-band.

Набули подальшого розвитку і радіолокаційні станції (РЛС) із синтезованою апертурою (SAR). Ці радіолокаційні станції являються активними системами зондування, які забезпечують своє власне джерело підсвітки і можуть отримувати зображення в денний і нічний час доби. РЛС SAR є когерентними системами, які зберігають фазу і величину кожного відбитого сигналу. Роздільна здатність РЛС SAR від 3 до 100 м з шириною смуги захоплення від 1 до 500 км. До того ж дозвіл РЛС SAR теоретично не залежить від висоти розміщення РЛС і дальності цілі (рис. 4.12).

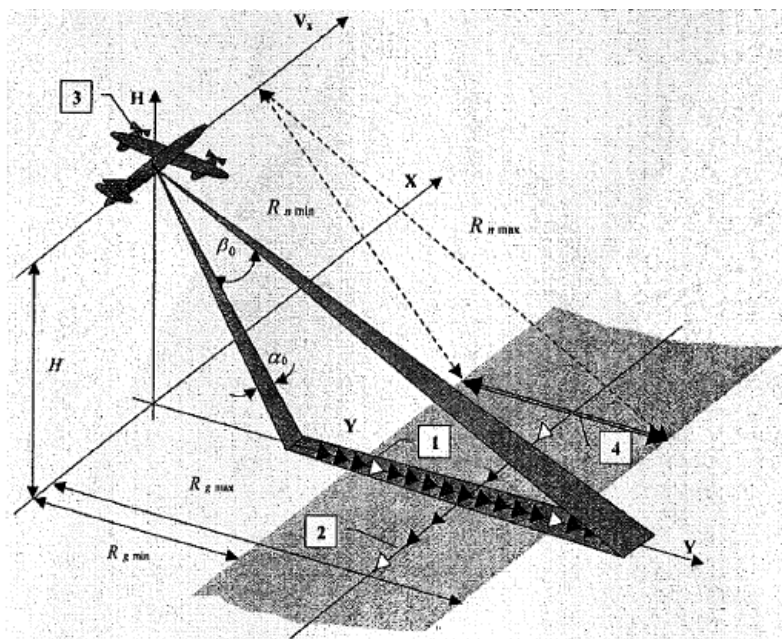


Рисунок 4.12 – Використання системи зовнішньої (наземної) калібрування на однорідній ділянці земної поверхні вздовж напрямку польоту носія SAR

Деякі РЛС володіють можливостями багаточастотної і множинної поляризації сигналів, які дозволяють характеризувати цілий ряд різних типів

об'єктів і поверхонь. Робота на довших радіохвилях PP-діапазону (75 см) і LL-діапазону (24 см) забезпечує сильно відбиті сигнали головним чином для більших об'єктів і особливостей земної поверхні. Ці діапазони дозволяють також проникати радіо хвилям крізь сніговий і рослинний покрив і, за певних умов, через пісок і ґрунт. Більш короткі хвилі CC-діапазону (5,6 см) і XX-діапазону (3 см) корисні для виявлення меж малих об'єктів місцевості. Крім того, випромінювання CC і XX-діапазонів має тенденцію більш сильно відбиватися рослинним і сніжним покривами, а також ґрунтом, що дозволяє характеризувати ці типи поверхонь.

У кожному діапазоні подальше виявлення більш дрібних об'єктів міцності забезпечується за допомогою комбінацій різних типів поляризації сигналів. Подібні типи поляризації – горизонтальна поляризація випромінюючого сигналу і горизонтальна поляризація прийнятого сигналу (HH) або вертикальна поляризація випромінюваного сигналу і вертикальна поляризація прийнятого сигналу (VV) – мають тенденцію виявляти зворотне розсіювання радіохвиль від об'єктів, орієнтованих в тому ж самому напрямку, що і падає хвиля. Поперечні типи поляризації – горизонтальна поляризація випромінюваного сигналу і вертикальна поляризація прийнятого сигналу (HV) або вертикальна поляризація випромінюваного сигналу і горизонтальна поляризація прийнятого сигналу (VH) – виявляють відбиті сигнали, які утворюються в результаті множинного розсіювання, яке деполіризує енергію, як наприклад, в разі покриву рідколісся, або в результаті множинного радіо відлуння, як наприклад, в разі сигналів, відбитих від земної поверхні і стовбурів дерев. Подібні типи поляризації мають тенденцію до забезпечення найсильніших відбитих сигналів зворотного розсіювання, тоді як поперечні поляризації мають тенденцію до меншого впливу кута падіння радіо промінню і змін ухилу місцевості. Повний поляриметричними режим дозволяє синтезувати будь-яку комбінацію типів поляризації, включаючи кругову поляризацію. Отже, маючи можливості багаточастотної і множинної поляризації, можна підібрати поєднання цих параметрів, що дозволяють отримувати зображення з певного сюжету зйомки з посиленням різних типів і

об'єктів поверхні, або в результаті множинного радіо промінню, як наприклад, в разі сигналів, відбитих від земної поверхні і стовбурів дерев.

РЛС працюють також в СВЧ-області електромагнітного спектра. Довші хвилі НВЧ-енергії можуть проникати крізь хмарний покрив, туман дощ, що дозволяє РЛС працювати в несприятливих метеорологічних умовах, які виключають використання систем спостереження у видимій та ІЧ-областей. Сьогодні РЛС можна віднести до найбільш поширеним цифровим знімальним системам. РЛС SAR, маючи з високий дозвіл, застосовуються в геологічному і географічному картографуванні. Своєчасний моніторинг стану моря і льодової обстановки в інтересах мореплавства, детальна характеристика біомаси також завдання РЛС. Вони встановлюються як на повітряних, так і на космічних носіях, забезпечуючи покриття зйомкою земної поверхні як в регіональному, так і в глобальному масштабі на періодичній основі або за запитами.

Після успішного застосування радіолокаторів бічного огляду з синтезованою апаратурою для високоточного визначення висот за радіолокаційними стереопаратами був розроблений також інтерферометричний спосіб. Цей спосіб використовує різницю фаз сигналів з двох розташованих на деякій відстані радіолокаторів. Радіоінтерферометрія застосовується як у льотному, так і в космічному варіантах.

4.4 Інтерпретація даних дистанційного дослідження територій

Для проведення повноцінної автоматизованої обробки аерокосмічних знімків зазвичай створюються спеціалізовані цифрові фотограмметричні станції (ЦФС). Обробка цифрових растрових знімків зазвичай проводиться в стереоскопічному режимі з використанням спеціальних засобів: 3D-моніторів, звичайних моніторів з стереоскопічної насадкою або звичайних моніторів з стереоскопічними окулярами. Останній спосіб найбільш часто застосовується в реальних виробничих системах, так як менше обмежує руху оператора в просторі і при цьому дає хороший стереоефект в великому діапазоні точок простору перед монітором. Для демонстраційних цілей і на рівні напівпрофесійного

використання також застосовується аналітичний метод стерео з колірним поділом стереозображень.

Автоматизовані процеси геометричних перетворень і дешифрування утворюють основу ПО цифрових фотограмметричних станцій.

Зокрема, при встановленні зв'язку координат точок зображення з просторовими об'єктами використовуються проєктні перетворення. Це пришвидшить рішення, але часто не відповідає реальному процесу, оскільки вимагає геометрично ідеальної моделі формування зображення, чого майже не зустрічається на практиці. У фотограмметрії проєктні перетворення застосовуються лише на етапі визначення початкового наближення при вирішенні завдання.

Крім того, як і в машинній графіці, часто виникає необхідність заповнення даних, коли через кілька точок слід провести криву або по поверхню – це класична задача інтерполяції і частий випадок апроксимації. Для вирішення таких завдань використовуються інтерполяція ВВ-сплайнами, апроксимація кривими Безьє і низка інших методів. В фотограмметрії аналогічними способами вирішуються такі специфічні завдання, як укладання горизонталей, побудова меж однотипних областей, які відображаються на картах тощо.

У зв'язку з формуванням відеомоделей об'єктів для побудови перспективних знімків за цими моделями в фотограмметрії завдяки обчислювальній геометрії виник і новий процес – триангуляція Делоне. Тепер з'явилася можливість будувати перспективні знімки, які спостерігаються з заданих точок простору і під заданим ракурсом. Завдання щодо усунення «мертвих просторів» успішно вирішена з залученням зусиль геометрів і фахівців з машинної графіці. Також вирішене і завдання видалення невидимих поверхонь, тобто знаходження перетворення, що відображає безліч тривимірних об'єктів на безліч їх видимих частин в двовимірному просторі.

Проблема автоматизації виявлення і дешифрування об'єктів виявилася набагато складніше завдання автоматизації процесу геометричних перетворень. Тож успіхів тут менше. Велике значення мали комп'ютерні технології. У сучасній

цифровій фотограмметрії використовуються різні способи виділення однорідних областей, відрізків і їх атрибутів (за якими, наприклад, дешифруються окремі будівлі прямокутної форми, дороги та ін.), згладжування кривих, виділення кіл, побудову карт, маркованих об'єктів, виділення країв і кутів, межі тіней і т. д. Кольорові і багатоспектральні знімки дозволяють виокремлювати рослинність, водойми, штучні об'єкти тощо. Геометричними процесами тут є інтерполяція і апроксимація поверхонь.

Основною науковою проблемою в даній області сьогодні є удосконалення алгоритмів і програмного забезпечення цифрових фотограмметричних станцій і впровадження у виробництво технологій, заснованих на сучасних цифрових методах обробки аерокосмічних знімків. Застосування цифрових способів зйомки і обробки аерокосмічних знімків, включаючи і побудова відеомоделей ділянок місцевості, вимагає використання і нових підходів до якісної і кількісної оцінки розроблюваних знімальних датчиків, теорій і методів вирішення фотограмметричних за дач. Велика увага також має бути приділена і синтезу відеоінформації, отриманої з різних датчиків систем в різних діапазонах спектру, а також розробці загальної системи параметрів для цих систем в частині їх стандартизації при виконанні фотометричного і геометричного калібрування.

Розвиток сучасних цифрових фотограмметричних систем обумовлюється наступними факторами:

- розвиток методів дистанційного зондування Землі;
- розвиток комп'ютерної техніки;
- розвиток алгоритмів обробки;
- розвиток комп'ютерних мереж.

Основний напрямок розвитку ЦФС – автоматизація процесів, що виключають ручну працю оператора, а також прискорення процесів фотограмметрії чіткої обробки даних з використанням обчислювальних можливостей персональних комп'ютерів і комп'ютерних кластерів.

Усі перелічені вище технології у фотограмметричному виробництві впливають не тільки на виробництво різних видів робіт у картографуванні, а й

системно змінюють відносини між замовником і виконавцем робіт, впливають на ринок послуг і виробництво програмного і технічного забезпечення.

Порівняння системи цифрового фотограмметричного виробництва подано на рисунках 4.13 і 4.14.

У зв'язку зі зміною технологій на ринку фотограмметричних послуг спостерігаються такі тенденції:

– відкриття філій і переведення виробництва в країни з потенціалом ним ринком послуг і дешевою робочою силою («Infoterra Austrium» – «Infoterra Hungary»; «Kampsax» – «Kampsax India»); покупка транснаціональними компаніями фірм, що надають фотограмметричні послуги і виробляють фотограмметричне обладнання («Kampsax» – «COWI», «Vexcel» – «Microsoft», «Leica Geosystems» – «Hexagon»);

– об'єднання європейських фірм в синдикати з метою максимально широкого охоплення ринку даних послуг, більш гнучкого використання ресурсів цих фірм і швидкого надання послуг потенційним замовникам («BLOM group, «UK», «Germany», «Norway», «Denmark», «Sweden», «Finland», «Spain»).

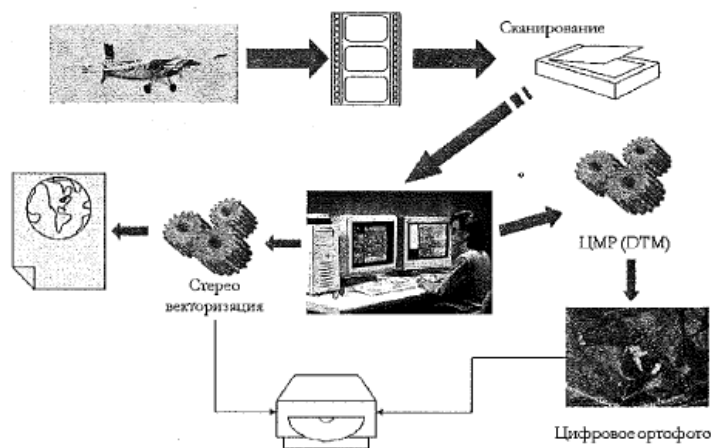


Рисунок 4.13 – Цифрове фотограмметричне виробництво наприкінці

XX століття

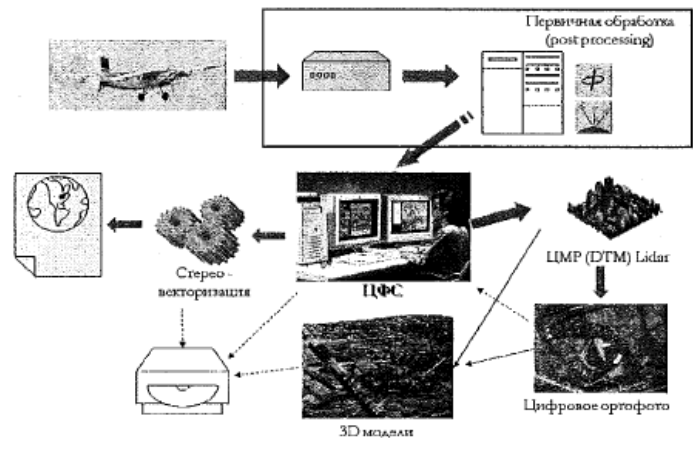


Рисунок 4.14 – Цифрове фотограмметричне виробництво сьогодні

ТЕМА 5 ПОВІТРЯНІ ЛАЗЕРНІ СКАНУВАЛЬНІ СИСТЕМИ. ТЕХНОЛОГІЇ ЗНІМАНЬ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ

План

5.1 Лазерне сканування як джерело отримання даних про місцевість.

5.2 Лазерні сканувальні системи повітряного базування.

5.3 Технологія знімальних робіт із застосуванням повітряних лазерних сканувальних систем.

5.4 Обробка даних лазерного сканування місцевості.

5.1 Лазерне сканування як джерело отримання даних про місцевість

У сучасному управлінні територіями, інженерними мережами, будівництві, моніторингу природно-антропогенних систем широко використовують лазерне сканування місцевості.

Лазерне сканування територій має низку переваг стосовно інших методів зйомки. Воно характеризується високою швидкістю роботи, більш високою точністю вимірювання та безпечністю під час зйомки важкодоступних і небезпечних об'єктів. Ще однією істотною перевагою цього методу є те, що лазерне сканування дає змогу збирати інформацію про досліджуваний об'єкт у цифровому вигляді, що значно розширює можливості подальшої комп'ютерної обробки результатів.

Сучасні 3D-сканери складаються з двох основних компонентів: сканувальної системи і цифрової відеокамери. Сканувальна система призначена для моделювання форми вимірюваних об'єктів, а цифрова відеокамера – для точної передачі кольору об'єктів.

Увесь процес зйомки повністю автоматизований. Отримані в момент зйомки «сирі виміри» становлять набір («хмару») точок, які необхідно представити у вигляді креслень, схем у графічному форматі. Зрозуміло, що при скануванні можна бачити тільки одну частину об'єкта, яка знаходиться в зоні

прямої видимості. Для того щоб зняти об'єкт повністю, його необхідно відсканувати зі всіх сторін. Після об'єднання усіх «хмар точок» в єдиний геометричний простір виходить єдиний опис об'єкта зйомки. Процес вирівнювання називається реєстрацією.

Далі відбувається обробка сканів з метою створення єдиного скану для повного покриття знятої поверхні. Потрібно відзначити, що для створення єдиного скану («зшивки») використовується метод сумісництва сканів по опорних точках, які відображаються на суміжних сканах. Для цього під час зйомки на опорних точках встановлюються відбивачі (трипельпризми), світловідбиваючі пластини або наклейки, що мають вищий коефіцієнт відбивання, і тому цілком однозначно визначаються.

За принципом дії лазерні сканери поділяють на імпульсні (TOF), фазові та триангуляційні.

Імпульсні сканери розраховують відстань як функцію часу проходження лазерного променя до вимірюваного об'єкта і назад. Фазові оперують із зсувом фаз лазерного випромінювання. В триангуляційних 3D-сканерах приймач і випромінювач рознесені на певну відстань, яка використовується для розв'язку задачі трикутник-випромінювач – об'єкт-приймач.

Основні параметри лазерного сканера – дальність, точність, швидкість, кут огляду.

За дальністю дії і точності вимірів 3D-сканери поділяються на:

- високоточні (похибка менше міліметра, дальність від дециметра до 2–3 метрів);
- середнього радіуса дії (похибка до декількох міліметрів, дальність до 100 м);
- дальнього радіуса дії (дальність сотні метрів, похибка від міліметрів до перших сантиметрів);
- маркшейдерські (похибка доходить до дециметрів, дальність понад кілометр).

Останні три класи за здатністю розв'язувати різні типи задач відносять до розряду геодезичних 3D-сканерів, які використовуються для виконання робіт по лазерному скануванню в архітектурі і промисловості.

Швидкість дії лазерних сканерів визначається типом вимірів. Як правило, найбільш швидкісні фазові, на певних режимах швидкість яких досягає 1 млн вимірів за секунду і навіть більше, імпульсні трохи повільніші, такі прилади оперують зі швидкостями в сотні тисяч точок за секунду.

Кут огляду – ще один важливий параметр, який визначає кількість даних, що збираються з однієї точки стоянки, зручність і кінцеву швидкість роботи. На сьогодні всі геодезичні лазерні сканери мають горизонтальний кут огляду в 360°, вертикальні кути варіюються від 40–60° до 300°.

Окрім систем, у яких реалізовано ці способи, існують так звані триангуляційні системи, у яких віддаль визначається з трикутника, утвореного точкою випускання (і відхилення) лазерного променя, точкою відбиття (на об'єкті) та оптичним центром камери, що визначає напрям відбитого сигналу.

Переваги застосування сканера:

- висока швидкість сканування поверхні, що лежить в діапазоні від 5 000 до 1 000 000 вимірів за секунду;
- високий ступінь автоматизації польових робіт, практично за мінімальної участі оператора;
- безконтактність з об'єктом досліджень, який може бути важкодоступним для людини (встановлення відбивної призми, рейки, як у разі тахеометричного знімання), висока щільність точок на поверхні об'єкта (тисячі або сотні тисяч точок).

Серед компаній, які виготовляють сканери геодезичного призначення можна відзначити «Riegl» (Австрія), «Callidus» (Німеччина-США) (рис. 5.1), «Сурах» (США-Швейцарія), «ILRIS» (Німеччина), «MENSI» (Франція).

Важливою складовою лазерної системи є програмне забезпечення. Воно дозволяє виконувати функції контролю польових робіт, керування приладом, оптимізації об'єму інформації для збереження, а також візуалізацію «образів»,

побудову 3D-моделей, аналізу даних та подання результатів опрацювання у стандартних форматах, доступних для інших систем.

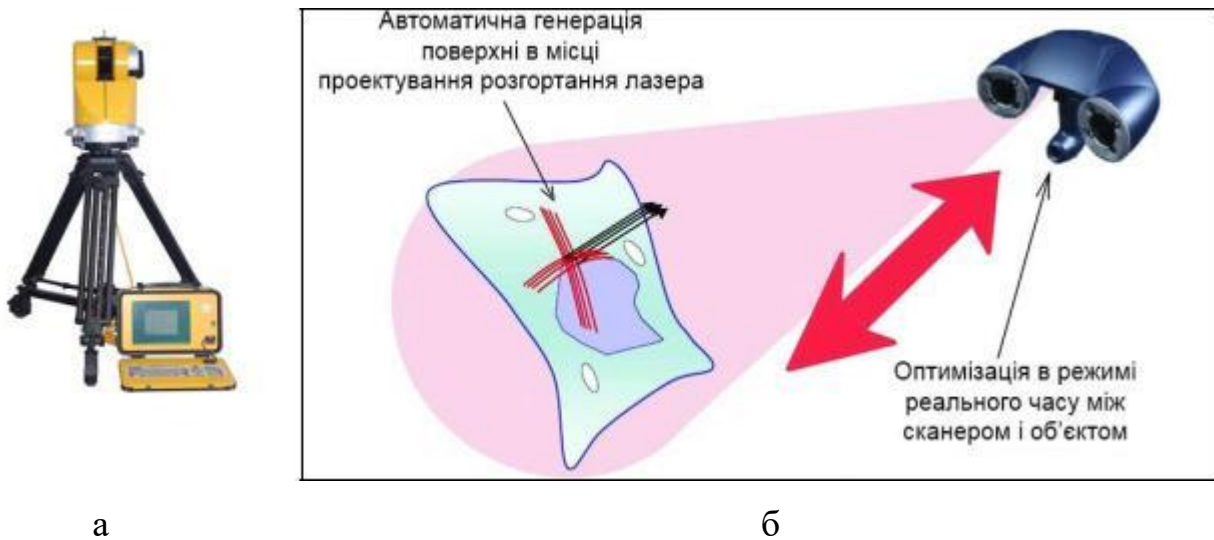


Рисунок 5.1 – Сканер «Callidus 3D» (фірма «Dr. Niebuhr GmbH», Німеччина):
а – загальний вигляд лазерного сканера; б – автоматична генерація в місці проєктування розгортання лазера

Деякі системи, наприклад, «HDC 3000» («Leica», Швейцарія), мають цифрову камеру, яка розташована на одній оптичній осі з віссю лазера. У такий спосіб можна отримати реальний колір точки в системі кольорів RGB (червоний, зелений, синій). Якщо ж такої фіксації немає, то кожна точка отримує псевдоколір залежно від інтенсивності відбитого сигналу.

Доречно зауважити, що фазові сканери випромінюють лазерну пляму безперервно, що є перевагою порівняно з імпульсними системами. Тому швидкість перших є значно вищою і може становити 100 000 точок за 1 с і навіть більше.

Набір відсканованих точок залежить від кроку сканування у вертикальній площині, кроку повороту гідроприводу у горизонтальній площині та кутів поля зору сканера.

Деякі технічні параметри сканувальних систем представлено на рисунку 5.2.

Назва системи	Діапазон віддалі, м	Точність мм/при віддалі, м	Кут сканування: горизонт., верт.	Час сканування, хв	Робоча температура °С
Callidus	0,15–150	5/32	360x180	4–9	0±40
Сурах 2500	1,5–100	4/50	40x40	10	20±40
ILRYS -3D	2–800	10/100	40x40	8	–20±50
SOISIC (MENSI)	0,8–40	0,5/5	46x320	15	5±40
LMZ-Z210 RIEGL	2–350	25/200	330x80	0,5	0±40
LMZ-Z360 RIEGL	2–200	6/20	360x90	0,5	0±40
LMZ-Z420 RIEGL	2–1000	20/1000	330x80	2	–20±50
LPM-25HA RIEGL	1–40	8/20	180x50	2	5±40

Рисунок 5.2 – Технічні параметри лазерних систем

Якщо кути «поля зору» становить $360 \times 180^\circ$, кроки сканування у горизонтальній та вертикальній площинах становлять $0,1^\circ$, отже маємо:

- кількість точок у вертикальній площині $180 : 0,1 = 1\ 800$ точок;
- кількість смуг (у горизонтальній площині) $360 : 0,1 = 3\ 600$ смуг;
- загальна кількість точок $1\ 800 \cdot 3\ 600 = 6\ 480\ 000$ точок.

За невисокої швидкості сканування 5 000 точок за 1 с загальний час становитиме 21 хв. За високої швидкості 100 000 точок за 1 с затрачений час становить всього 1 хвилину.

Після польових робіт настає камеральне опрацювання отриманих даних. Опрацювання залежить від того результату, який хочемо мати: або просторові координати всіх вимірних точок (існує такий термін, як «хмара точок лазерного

віддзеркалення», або TIN-модель, або набір геометричних параметрів – периметри, діаметри, площі, об’єми тощо.

Технологія камерального оброблення «хмари точок» складається з декількох основних етапів, які логічно впливають з геометрії формування лазерного набору точок [2].

Об’єднання (зшивання) окремих сканів. Зняти об’єкт повністю з однієї станції практично неможливо. Наприклад, будинок знімають з трьох-чотирьох позицій так, щоб охопити його повністю. Іноді спостерігається розмитість деяких деталей об’єкта – його кутів, країв, граней. Лазерний промінь падає на об’єкт не у вигляді точки, а у вигляді плями невеликих розмірів. Наприклад, лазер системи «HDC 2500» («Leica») на віддалі 50 м дає пляму діаметром 6 мм. Саме це спотворює відбитий сигнал, який реєструється приймачем як два або й більше сигналів. Тому такі точки не реєструються безпосередньо, а моделюються з «хмари точок». З цих причин виникає потреба об’єднання окремих сканів для того, щоб отримати образ об’єкта.

Трансформування координат. Увесь набір точок повинен бути зафіксований в єдиній просторовій системі координат. Оскільки центр сканування для кожного скану розміщений у центрі вимірювальної головки сканера, а вона змінює своє розташування у просторі, то необхідно виконати перерахунок координат. Ця задача з погляду аналітичної геометрії збігається із задачею «поворот простору». Тут теж існує декілька варіантів: можна об’єднувати сусідні скани за опорними точками, а можна об’єднувати за відомими лінійними та кутовими елементами орієнтування сканера.

Створення поверхонь. Весь масив («хмара точок») повинен бути поданий поверхнями, що математично описуються. Це потрібно для того, щоб можна було надалі використовувати дані в САД-системах або ж при 3D-моделюванні. Тому в програмний комплекс входить великий набір прикладних програм, який дає змогу створювати прості математичні поверхні (сфера, циліндр, конус, площина тощо). Або використовувати апарат апроксимації поверхонь (наприклад TIN-поверхня). Отримані результати подають у стандартних форматах, які дають

змогу їх експортувати в системи автоматичного проєктування та в різноманітні системи прийняття інженерних чи інших рішень.

Для користувачів лазерних скандувальних систем дуже важливою є точність отриманих просторових координат. Задекларована фірмами-виробниками точність здебільшого не збігається з реальними характеристиками, тому кожна система повинна бути досліджена на точність. Прослідковується аналогія з підходами, що здавна існують у фотограмметрії (калібрування знімальних систем та калібрування вимірювальних приладів).

На точність отримання координат сканерними системами впливають:

- точність визначення віддалі;
- характеристика розрізненості;
- граничні ефекти (розмитість сигналів);
- відбивна здатність поверхонь;
- фізичний стан середовища, в якому поширюється лазерний промінь.

Дослідники розробили спеціальні тест-об'єкти, які дають змогу виявити інтегральну точність кожної з досліджуваних систем. Наприклад, у праці було досліджено 7 типів систем. Основні експертні висновки, як приклад, наведено на рисунку 5.3.

Марка системи	Переваги	Недоліки
Callidus	Велике поле зору	Недостатня розрізненість по вертикалі (0,25 град)
Сурах 2500	Висока точність	Мале вікно сканування (40x40 град)
S 25	Висока точність при малих віддальх	Не працює при сонячному світлі і на великі віддалі
GS 100	Велике поле зору	Великі шуми
Riegl Z210	Велике поле зору. Сканування при великих віддальх	Низька точність
Riegl Z4210i	Велике поле зору. Сканування при великих віддальх	Великі шуми
Zoppler+Frochlich (Imager 500)	Велике поле зору	Низька якість реєстрації країв. Обмежена кутова розрізненість (0,018 град)

Рисунок 5.3 – Переваги і недоліки деяких лазерних систем

На рисунку 5.4 представлена наземна лазерна сканувальна система «Riegl LMS-Z420i»



Рисунок 5.4 – Наземна лазерна сканувальна система «Riegl LMS-Z420i»

Сфери застосування лазерних систем:

- тривимірне топографічне знімання місцевості;
- гірнича справа (знімання кар'єрів, відкритих гірничих копалень, шахт, тунелів тощо);
- геологічне знімання;
- промисловість (побудова просторових моделей складних промислових установок, комунікацій, резервуарів, складних технологічних виробництв тощо);
- будівництво (промислове і цивільне будівництво, автомобільні дороги, мости, аеродроми тощо);

- архітектура (фасади будівель, розміри будівель, фронтальні плани, перерізи, архівація окремих архітектурних фрагментів);
- енергетика, археологія, моделювання скульптур тощо.

Під час вибору лазерної системи користувач (замовник) повинен орієнтуватись і на точність роботи системи, і на інші чинники. Зокрема, на вартість системи, умови і частоту необхідного калібрування системи, сервісне обслуговування, гарантійні умови й терміни, кадрову підготовку, програмне супроводження системи.

Підсумовуючи вищенаведене, можна цілком обґрунтовано стверджувати, що лазерні сканувальні системи є потужним технічним засобом для розв'язання широкого кола завдань, пов'язаних із просторовим моделюванням об'єктів.

5.2 Лазерні сканувальні системи повітряного базування

Стрімкий розвиток лазерної техніки й комп'ютерних технологій стимулював розроблення та використання нових технологій отримання геопросторових даних. До них належить і метод лазерного сканування поверхні Землі з літака чи гелікоптера.

Системи повітряного базування «ЛІДАР» (від англ. «LIDAR» – «Light Detection and Ranging») працюють за принципом безперервного отримання смуг сканування. Лазерний промінь у межах однієї смуги відхиляється дзеркалом або призмою (в оптичних сканерах), а набір смуг отримується внаслідок руху носія (рис. 5.5).

Окрім лазера, який надсилає імпульс з оптичного центру, на носії встановлено GPS-приймач для фіксації просторових координат точки S та інерційно навігаційну систему (INS), що фіксує нахил платформи з лазером, тобто три кути Ейлера.

Фіксація даних (GPS+INS) дає можливість визначити просторове знаходження і орієнтацію оптичного центру – точки S у момент надсилання світлового імпульсу, а також положення вектору, наприклад SA, у тій просторовій системі координат, у якій працює позиційна система GPS.

Кінцевим результатом лазерного сканування є визначені просторові координати точок земної поверхні.

Сукупність точок відбиття лазерних променів утворює нерегулярну сітку з великою кількістю таких точок. За цими даними математичним способом можна, після камерального доопрацювання, отримати цифрову модель рельєфу (ЦМР) поверхні у вигляді регулярної сітки.

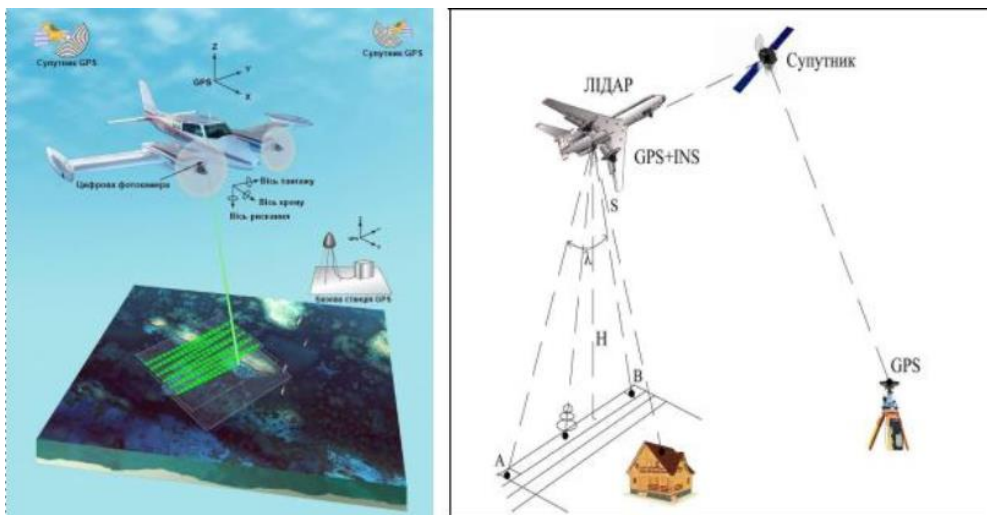


Рисунок 5.5 – Схема лазерного сканування з літака

Густота точок відбиття залежить від частоти генерування імпульсів. У деяких системах це 100 кГц, тобто за одну секунду фіксується 100 000 точок відбиття.

Окрім згаданої вище апаратури, деякі системи оснащені й допоміжною апаратурою – однією або двома відеокамерами. Перша орієнтована в надирному напрямі до землі, а друга – під кутом 45 градусів до надиру й скерована вперед. Отримані зображення можна використовувати як доповнення до побудованої сканером ЦМР. Деякі найновіші системи оснащені цифровими аерознімальними камерами, що у сукупності утворює потужний багатоцільовий знімальний комплекс.

Сучасні лідарні системи дають змогу фіксувати декілька відбитків променя від об'єкта. Наприклад, якщо лазерний промінь падає на крону дерева, то перше відбиття буде від крони, а наступне – від поверхні Землі. Лазерний промінь широко використовують на практиці, оскільки можна побудувати, наприклад, цифрову модель лісового покриття за кронами дерев (рис. 5.6), цифрову модель дахів будинків для забудованих теренів, цифрову модель високовольтних ліній електропередач тощо.

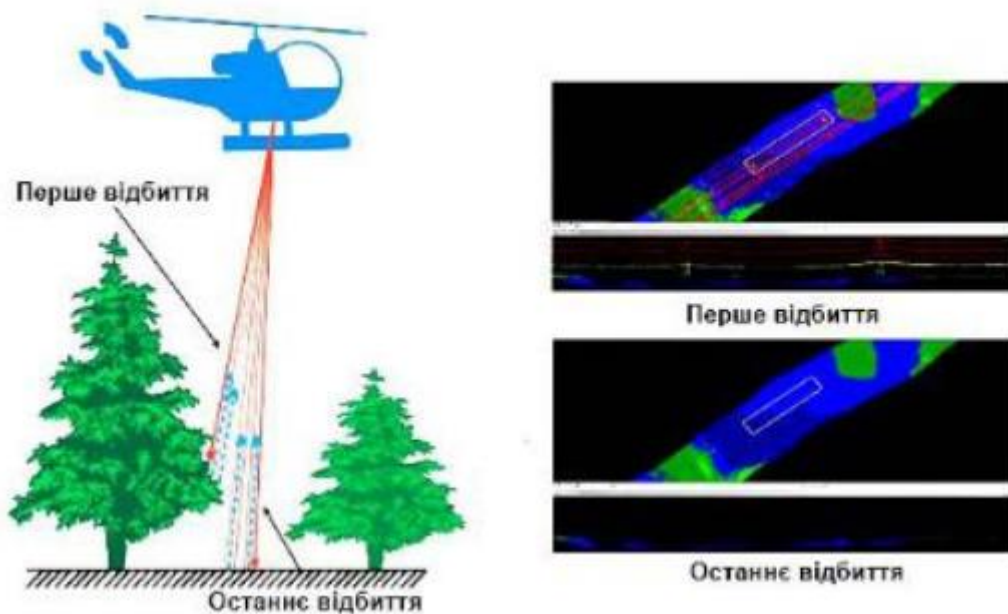


Рисунок 5.6 – Вимір рельєфу під шаром рослинності

Коли йдеться про картографування території, то з технологічного погляду побудова ЦМР системами «ЛІДАР» вимагає так званого «чищення», тобто усуваються імпульси, що не пов'язані з поверхнею Землі. Частково це робиться апаратно-програмно, проте повністю цей процес автоматизувати не вдається й тому потрібне втручання оператора-фотограмметриста.

У світовій практиці сьогодні накопичено значний досвід лазерного сканування місцевості та побудови ЦМР. Це, по суті, перший етап використання ЛІДАРів.

Основні технічні параметри лазерних систем представлені на рисунку 5.7.

Сучасні лазерні системи дають змогу в ході сканування реєструвати певну кількість відбитої енергії, так звану «intensity images». Наприклад, система ALTM 3100 реєструє за одне вимірювання 12 бітів інформації. Це означає, що відбита енергія є інформацією для створення образу того пікселя, від якого відбився промінь. Зареєстрований образ називають «intensity images». Ступінь відбиття оптичного сигналу, що надсилається в ближньому інфрачервоному діапазоні (а саме в цьому діапазоні працює лазер), доволі різний: для металевих дахів – до 90 %, для снігу та льоду – 50–80 %, для рослинного покриву – 50 %, для піску – 15 %, а для водної поверхні – майже нуль.

Параметри	ALTM3/70	ALTM3100	ALS50
Частота генерування імпульсів, кГц	33, 50, 70	33, 50, 70, 100	83
Висота польоту, Н (м)	200–300	80–3500	до 4000
Ширина смуги захоплення	від 0 до 0,93Н	від 0 до 0,93Н	від 0 до 0,93Н
Кут сканування, градуси	0–25	0–25	до 75
Кількість реєстрованих відбиттів	4	4	3–4
Частота сканування, кГц	0–70	0–70	–
Тривалість імпульсу, нс	10	10	10
Частота реєстрації GPS, Гц	1–2	1–2	1–2
Частота реєстрації INS, Гц	50–200	50–200	50–200
Розходження лазерного променя, мрад	0,2–0,7	0,3 або 0,8	–
Точність визначення віддалі, см	1	1	1
Точність визначення висоти, см	15–35	15–35	–
Точність визначення планового знаходження, см	1/2000Н	1/2000Н	–

Рисунок 5.7 – Основні технічні параметри ЛІДАРІВ

Донедавна такі образи не використовувались, і головна причина цього – довжина хвилі, яка не давала змоги отримати образ з високою розрізненістю. Проте останнім часом вдалося істотно покращити якість зображення, тому

активізувалось вивчення можливостей і практичного використання «intensity images», навіть з'явився термін «лідарограмметрія».

Порівняно з аерофотозніманням, лазерне сканування має низку переваг. Оскільки така система є активною з позицій випромінювання, то отриманий образ не залежить від натурального освітлення території. Тому можна виконувати знімання з малих висот з-під хмар, здійснювати знімання вночі, а в цей період доби Земля закрита хмарами значно менше. На таких зображеннях немає тіней, а для всієї території отримуємо фактично одну стереомодель.

Використання методу лазерного сканування дає можливість отримувати й низку допоміжних даних, які можуть бути використані при інженерних вишукуваннях і проєктуванні. До таких даних, передусім, треба віднести ЦМР (рис. 5.8), представлену в різних видах (растрова модель, «TIN», «GRID» тощо), ортофотоплан, отриманий на основі класифікаційних точок земної поверхні, а також математичні моделі поверхні, що відображують ситуацію за інтенсивністю відбиття лазерного імпульсу і за відносною (абсолютною) висотою з певним перетином.

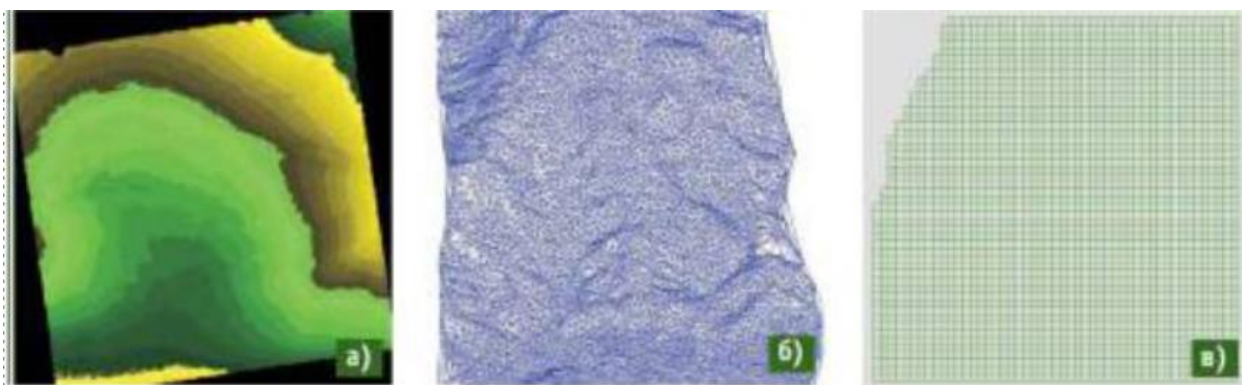


Рисунок 5.8 – Цифрова модель рельєфу:

а – растрова; б – «TIN»; в – «GRID»

До того ж дані лазерного сканування зручно використовувати для наочного подання характеру рельєфу, антропогенної забудови, для визначення форми і геометричних вимірів інженерних споруд, а також для дешифрування об'єктів

місцевості. Отримувані в результаті сканування дані можуть бути представлені в дальномірній формі (рис. 5.9, а) і у вигляді інтенсивності відбитого імпульсу (рис. 5.9, б) лазерноолокаційних зображень.

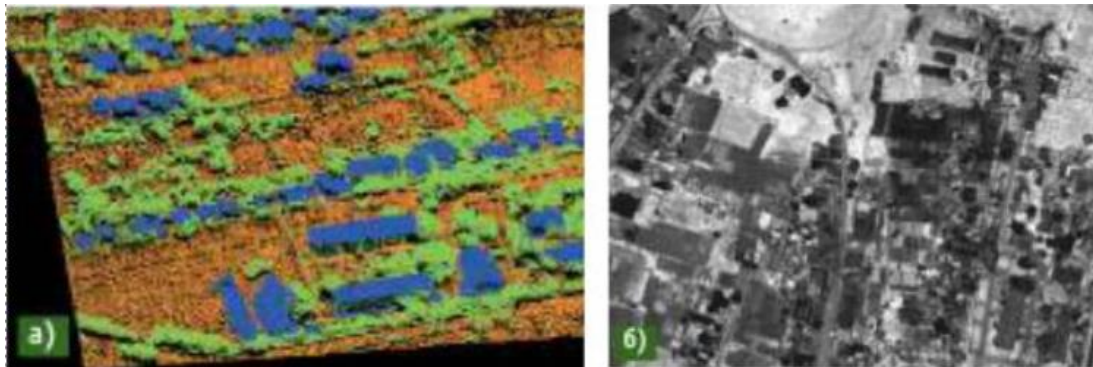


Рисунок 5.9 – Подання лазерноолокаційних даних:

а – дальномірна форма; б – інтенсивність відбитого імпульсу

Дальномірна форма є розподілом у просторі тривимірного «хмари точок», які утворюють просторову подібність об'єктів лазерної зйомки. Одночасно з реєстрацією просторових координат «хмари точок» лазерний сканер фіксує інтенсивність відбитого імпульсу, яка являє собою значення енергії імпульсу, що повернулося на сенсор сканера. Ця величина залежить від багатьох факторів, серед яких найбільш важливими є величина дальності випромінювання, кількісні показники пропускання, розсіювання атмосфери, а також спектральна відбивна здатність об'єкта, що сканується, яка залежить від типу об'єкта. Зображення у формі інтенсивності дозволяє добре дешифрувати об'єкти місцевості, які на ортофотоплані можуть відображатись нечітко або бути відсутніми взагалі (рис. 5.10).

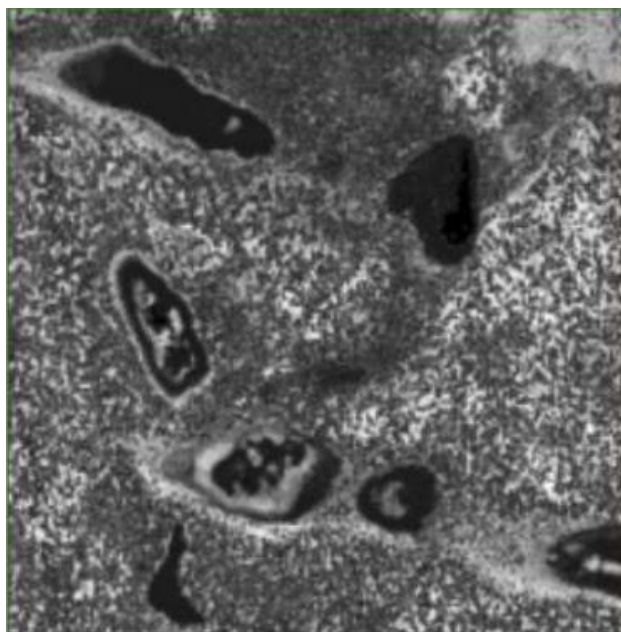


Рисунок 5.10 – Межі водних об'єктів на даних інтенсивності

5.3 Технологія знімальних робіт із застосуванням повітряних лазерних сканувальних систем

При освоєнні і впровадженні методу лазерного сканування можна запропонувати таку технологію створення цифрових топографічних планів за даними лазернолокаційної зйомки. Її можна представити у вигляді етапів:

- класифікація лазерних точок;
- створення ЦМР;
- ортотрансформування аерофотознімків;
- створення растрових моделей поверхні;
- створення векторної моделі рельєфу;
- дешифрування;
- створення топографічного плану.

Таким чином, першочергове завдання полягає в коректному розподілі точок лазерних відбиттів (ТЛВ) за класами і виділення поверхні землі. Передусім, видаляються помилкові точки, тобто ті, які не утворюють просторовий образ об'єкта зйомки. До них відносяться лазерні точки, які зазнали безлічі перевідбиття, в результаті чого вони виявляються набагато нижче загальної

«хмари» ТЛВ. Також у процесі зйомки лазерний промінь може задіти птахів, що пролітають або може виникнути ефект, що проявляється у відбитті лазерного імпульсу від зважених атмосферних частинок. У цьому випадку точки знаходяться набагато вище загальної «хмари» ТЛВ. Зазвичай для побудови топографічних планів достатньо виділити такі класи ТЛВ: точки, що віднесені до земної поверхні, і точки, які просторово описують інші об'єкти місцевості (дерева, будівлі тощо). Ортотрансформування аерофотознімків відбувається при використанні даних зовнішнього орієнтування знімків і цифрової моделі рельєфу. На основі даних про абсолютну висоту й інтенсивність відбитого сигналу створюються просторово координовані растри, що описують об'єкти поверхні дешифрування і рельєф із заздалегідь визначеною метричною шкалою.

По точках відбиття від земної поверхні програмними засобами Autodesk Civil 3D будується модель поверхні, що являє собою нерегулярну мережу трикутників (TIN), що візуалізована за допомогою ізоліній рельєфу (рис. 5.11).



Рисунок 5.11 – TIN-модель поверхні з накладанням горизонталей

Отримана поверхня приводиться у відповідність з растровою моделлю рельєфу, що класифікована за висотою. Співставлення інтерпольованих горизонталей і растрової моделі поверхні за висотою дозволяє виявити похибки, допущені на стадії класифікації ТЛВ. Ці помилки усуваються шляхом редагування поверхні стандартними засобами «Civil 3D». На ділянках зі складним рельєфом точність побудованої поверхні підвищується за рахунок згущення триангуляційної мережі. Описана процедура уточнення моделі рельєфу

дозволяє легко отримати додаткові точки із файлу ТЛВ, оскільки їх загальна кількість зазвичай надлишкова. Програма дозволяє моделювати поверхні з різною густиною мережі трикутників для створення топографічних планів необхідних масштабів. Дешифрування об'єктів місцевості здійснюється за ортотрансформованими аерофотознімками, растровими моделями, поданих у формі інтенсивності, і точках лазерного відбиття, що описують просторові об'єкти місцевості (рис. 5.12).

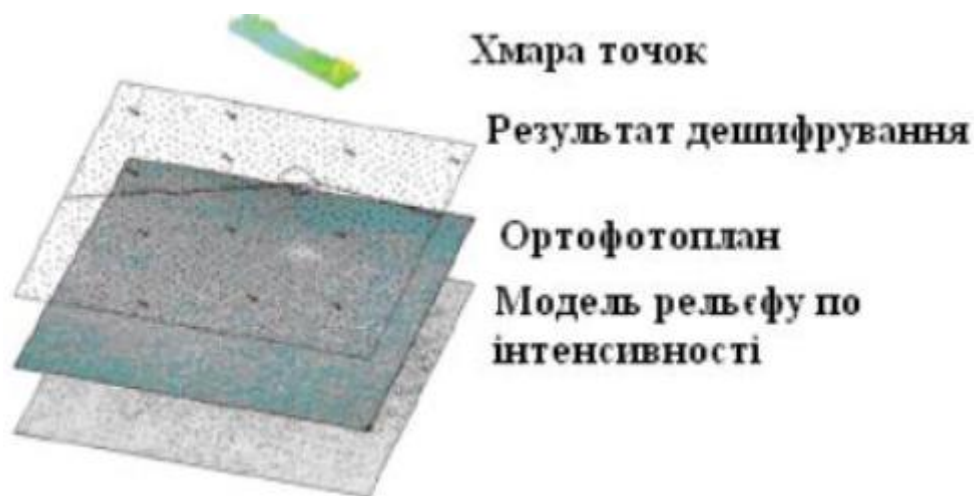


Рисунок 5.12 – Етапи процесу дешифрування

Ортофотоплан дозволяє скласти загальне уявлення про ділянку місцевості, що дешифрується, виділити об'єкти за прямими дешифрувальними ознаками. На растрових моделях за інтенсивністю добре дешифруються лінійні (дороги, об'єкти гідрографії) і площинні об'єкти (області різних типів рослинності, водна поверхня). Точки, що не беруть участь у процесі побудови поверхні, використовуються для визначення висотних характеристик (рослинності, об'єктів промисловості). У випадку відсутності коректних ортофотопланів процес дешифрування об'єктів місцевості може базуватись тільки на растрових моделях за інтенсивністю і точками лазерного відбиття, що мають точну планову прив'язку. Кожний об'єкт на топографічному плані повинен позначатися стандартним умовним знаком, що відповідає заданому масштабу плану.

Потрібно відзначити основні практичні достоїнства використання технології лазерного сканування порівняно з традиційними наземними методами топографічної зйомки, в тому числі:

- високу продуктивність (випуск топографічних планів масштабу 1:2 000 здійснюється протягом 1–2 діб);
- можливість виконання робіт у важкодоступних і недоступних для наземної зйомки районах (засніжені території, густий рослинний покрив, пустелі);
- гнучкість методу прив'язки в різні системи координат;
- відсутність необхідності виконання наземних геодезичних робіт з планово-висотного обґрунтування;
- використання різних лазерно-локаційних даних при дешифруванні для повного відображення якісних і кількісних характеристик об'єктів;
- істотне зменшення фінансових витрат.

Крім того, специфіка технології повітряного лазерного сканування дозволяє використовувати отримувані дані не тільки для цілей картографування території, але й для розв'язання широкого кола наукових і прикладних задач у різних галузях економіки. Так, наприклад, отримувані при лазерній локації земної поверхні надлишкові просторово прив'язані дані можна використовувати в роботах з таксації лісових угідь, в землеустрої, при експлуатаційній оцінці стану електроенергетичних мереж, екологічній оцінці, а також для визначення збитків при техногенних катастрофах і стихійних лихах.

На сьогодні лазерне сканування є предметом посиленої уваги як науковців, так і практиків через нові широкі можливості цього методу для виконання важливих господарських завдань. Лазерне сканування ґрунтується на тій самій ідеї, що й лазерне вимірювання відстаней: надісланий лазером сигнал відбивається від об'єкта і повертається до приймача. За часом проходження оптичного сигналу обчислюється відстань від лазера до об'єкта. На сьогодні широко використовується понад два десятки лазерних скандувальних систем як наземного, так і повітряного базування.

5.4 Обробка даних лазерного сканування місцевості

Оцінюючи ситуацію на ринку даних дистанційного зондування, можна з певністю стверджувати, що знімки високої розрізненості, отримувані з космічних радіолокаторів із синтезуванням апертури (РСА), зайняли свою нішу і вже існує низка додатків в ГІС і ДЗЗ, що використовують як дані радіолокаційні знімки. Це передусім стосується додатків, що потребують оперативного отримання інформації незалежно від погодних умов і освітленості поверхні (екологічний моніторинг, наприклад, визначення площ розливу нафтопродуктів, підтоплених територій під час паводку, контроль за вирубкою лісу). Крім того, космічна радіолокаційна інформація може бути використана для геологічних досліджень (складання геологічних карт районів, перспективних для видобутку корисних копалин), дослідження процесів у приповерхневому шарі морів і океанів з метою картографування. Останній додаток на сьогодні розвивається досить інтенсивно.

Можна умовно виділити два напрямки в картографуванні, де найбільше застосовуються засоби аналізу радіолокаційних даних ДЗ знаходять найбільше застосування. Перший напрямок це створення цифрових моделей рельєфу і на їх основі цифрових топографічних карт з використанням стереометричного (рис. 5.13) та інтерферометричного методів.

Іншим напрямком є об'єктовий аналіз радіолокаційних знімків, що використовує різні дешифрувальні властивості знімків. Об'єкти на знімках поділяються на точкові і просторово розподілені. До точкових відносяться об'єкти, просторові розміри, які не перевищують одиниць елементів розрізнення РСА. Просторово розподілені об'єкти іноді називають площинними, до них відносяться, наприклад, лісові масиви, поля тощо.

Дешифрувальними властивостями знімка є його яскравість або амплітуда, текстури, розміри і форми об'єктів. Амплітудні і текстурні властивості використовуються головним чином для ідентифікації й класифікації площинних об'єктів. Точкові об'єкти характеризуються, поряд з яскравістю, кількістю відліків сигналу та їх взаємним розташуванням. Таким чином, радіолокаційні

дані ДЗ можуть бути використані в картографічних додатках двояким чином: по-перше, для виявлення або уточнення об'єктного складу поверхні, класифікації об'єктів, уточнення їх границь і, по-друге, для побудови цифрових моделей рельєфу, тобто для створення третьої просторової координати радіолокаційного знімка. Існує декілька методів, що дозволяють виділити з радіолокаційних даних інформацію про піднесення рельєфу поверхні: стереометричний, інтерферометричний, клинометричний і поляриметричний.



Рисунок 5.13 – Використання стереопари для створення ЦМР

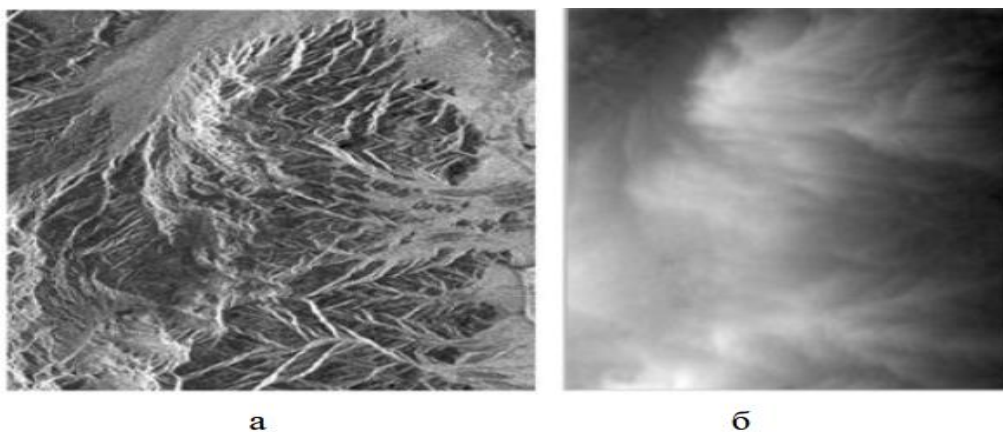
Стереометричний та інтерферометричний методи потребують двох знімків однієї і тієї ж ділянки поверхні, клинометричний працює тільки з одним знімком, а поляриметричний потребує набору зображень, виконаних з різними поляризаціями сигналу. Зважаючи на певні особливості цих методів, практичне використання при створенні рельєфу поверхні знаходять тільки стереометричний та інтерферометричний методи.

Стереоскопічна радіолокаційна зйомка з космосу відома з початку 80-х років ХХ ст., коли вперше були отримані стереопари з американського супутника «РСА SIR-B», за якими за після цифрової обробки, був відновлений рельєф

поверхні. В подальшому, наприкінці 80-х і початку 90-х років ХХ ст., радіолокатори розробили НВО «Вега» на космічних апаратах «Космос-1870» і «Алмаз-1», створених НВО «Машинобудування». Було отримано багато радіолокаційних стереоскопічних знімків, які дозволили фахівцям НВО «Машинобудування» розробити і впровадити програмні засоби цифрової обробки стереоданих з метою отримання ЦМР.

На сьогодні джерелом отримання радіолокаційних стереопар на ринку даних ДЗ слугує канадський «РСА RADARSAT», який, завдячуючи конфігурації орбіти і характеристикам самого радіолокатора, здатний здійснювати стереозйомки великих площ поверхні (тисячі квадратних кілометрів) з інтервалом у декілька діб. Умовою отримання знімків, придатних для цифрової стереообробки, є зйомка з однойменних витків (висхідних або спадних) з різницею кутів візування приблизно від 5 до 30 градусів. При підборі стереопар бажано обирати знімки, виконані з меншим часовим інтервалом, щоб уникнути взаємної декореляції зображень через різні зміни на поверхні за час між зйомками.

Точність відновлення вертикальної складової при цифровій стереообробці залежить практично тільки від просторової розрізненості радіолокатора. Це обумовлено тим, що цифровий кореляційний аналіз знімків стереопари може бути зроблений з точністю до величини елемента розрізнення. Хоча існують методи субпіксельної обробки, які дозволяють отримати статистичну точність кореляції до половини елемента розрізнення, при оцінці реальної розрізненості методу за висотою треба орієнтуватися на величину просторового розрізнення. Просторова розрізненість сучасних космічних РСА становить одиниці метрів (наприклад, 8 метрів у РСА RADARSAT). На рисунку 5.14, а представлений один із знімків стереопари на ділянку місцевості в штаті Невада, США, отриманий за допомогою РСА RADARSAT. На рисунку 5.14, б представлена цифрова модель рельєфу, побудована за допомогою цифрової обробки стереопари.



а

б

Рисунок 5.14 – Знімок стереопари:

а – ділянка місцевості; б – цифрова модель місцевості

Інтерферометрична обробка даних РСА полягає у виокремленні фазової інформації з радіолокаційного сигналу і спільної обробки фазових полів, отриманих зйомкою однієї і тієї самої ділянки місцевості на двох витках або одночасно двома антенними системами.

Основними сферами застосування інтерферометричної зйомки є картографування (отримання моделей рельєфу) з високою точністю, моніторинг різноманітних ресурсів, виявлення різних забруднень на земній поверхні, оцінка результатів природних катастроф (зсув великих ділянок поверхні при землетрусах, зсувах, розширення зони пустель, зміна структури ґрунту або ерозія), контроль за переміщенням льодових полів у зонах морського судноплавства.

Для інтерферометричної зйомки необхідне точне знання параметрів орбіти космічного апарату. Умовою одержання інтерферометричних даних є відстань між траєкторіями при зйомках (або інтерферометрична база), яка повинна складати декілька сотень метрів. Інтерферометричні пари знімків можуть бути отримані РСА ERS-1/2, JERS-1, RADARSAT. Є база інтерферометричних даних, отриманих при польоті РСА SIR-C/X. Крім того, існує декілька інтерферометричних систем на літаках, призначених для досліджень можливостей інтерферометричного методу, особливо для отримання високоточних карт рельєфу.

Точність інтерферометричного методу залежить від якості вихідних зображень, тобто від рівня фазового шуму знімків і від ступеня їх часової декореляції, якщо зйомка виконувалась під час двох прольотів. Практичні результати, отримані американськими фахівцями на інтерферометричній системі авіаційного базування (експеримент TOPSAR) підтвердили досягнутої точності відновлення висотної складової рельєфу 1 метр місцевості з помірними взгір'ями і 3 м гірського рельєфу. В межах спільного експерименту НВО «Машинобудування» і NASA з дослідження можливостей інтерферометричного методу для картографування, російськими фахівцями була проведена обробка інтерферометричних знімків з PCA SIR-C/X для тестової ділянки в районі м. Жуковський Московської області. Точність відновлення рельєфу склала 3–5 метрів залежно від рівня фазового шуму на поверхні. Розмір оброблених ділянок знімків на місцевості для цього експерименту склав приблизно 6х6 кілометрів. Іншим прикладом оцінки точності інтерферометричного методу можуть слугувати результати обробки знімків з SIR-C/X в НВО «Машинобудування» одного з районів штату Каліфорнія. Оброблялася повна ділянка перекриття між двома знімками інтерферометричної пари з розмірами на місцевості 40 на 25 км. Помилка відновлення рельєфу склала 13 метрів для одного краю результуючої моделі і 15 метрів для іншого краю. При цьому треба врахувати дві обставини, що знижують точність обробки. По-перше, платформа SIR-C/X (МТКК «Спейс Шаттл») має через низьку висоту вкрай нестабільну орбіту, знижуючи точність необхідних фазових компенсацій. По-друге, досліджувана ділянка має різкі перепади рельєфу, тобто планові помилки істотно впливали на оцінку точності.

Яскраве зображення одного із знімків інтерферометричної пари для цієї ділянки наведено на рисунку 5.15, а, цифрова модель рельєфу, отримана цифровою обробкою – на рисунку 5.15, б. На рисунку 5.16 показано перспективне трьохмірне подання моделі рельєфу.

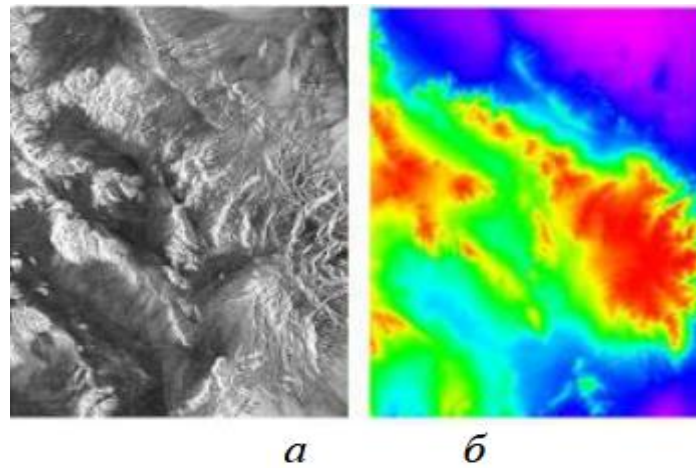


Рисунок 5.15 – Знімок інтерферометричної пари:
а – яскравісне зображення; б – цифрова модель рельєфу

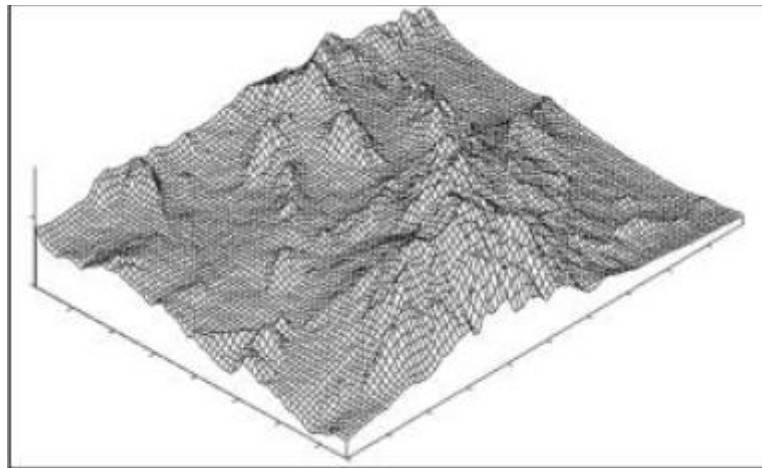


Рисунок 5.16 – Перспективне тривимірне подання рельєфу

Одночасно з розвитком інструментальних засобів радіолокаційного зондування удосконалюються і програмно-алгоритмічні засоби обробки даних. Розширення бази даних радіолокаційних знімків, які задовольняють вимоги до стереоскопічної та інтерферометричної зйомки, визначає актуальність розробки програмного забезпечення, що дозволяє виокремити з цих знімків закладену в них інформацію про рельєф.

ТЕМА 6 СУЧАСНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ

План

6.1 Методи обробки даних дистанційного зондування.

6.2 Програмні засоби для обробки даних дистанційного дослідження територій.

6.3 Зарубіжний досвід обробки даних дистанційного зондування.

6.4 Напрями використання даних дистанційного зондування для дослідження та моніторингу територій.

6.1 Методи обробки даних дистанційного зондування

Методи відновлення зображень. Основним завданням відновлення зображень є виправлення отриманих даних для досягнення якомога більш правдивого зображення земної поверхні. Зображення містять цілий ряд випадкових, системних та систематичних спотворень, пов'язаних із впливом атмосфери, кривизною Землі та рухом знімального апарату відносно її поверхні в момент зйомки, фізичними характеристиками використовуваних сенсорів та каналів зв'язку. Для виправлення цих спотворень, із врахуванням їх специфіки, використовується корекція декількох видів радіаційна:

- радіометрична;
- геометрична;
- калібрування.

Радіаційне відновлення пов'язано із корегуванням кількості електромагнітної енергії, яка приймається кожним сенсором, оскільки атмосфера не однаково пропускає випромінювання різних ділянок спектрального діапазону. Калібрування полягає у перетворенні безрозмірних даних, отриманих від сенсорів окремих спектральних зон в істинні нормалізовані значення відбитої або випромінюваної енергії. Радіометрична корекція пов'язана із зменшенням

спотворень, які вносяться самими сенсорами і пристроями передачі та прийому даних (системних спотворень). Геометрична корекція або трансформування зображень призначена для зменшення спотворень, які виникають внаслідок кривизни та обертання Землі, а також кута нахилу орбіти супутника до площини екватора. Цей вид корекції на першому етапі може виконуватися автоматично у відповідності з інформацією про параметри орбіти супутника. Більш точна трансформація та прив'язка зображення до визначеної координатної сітки зазвичай виконується із використанням інтерактивно заданих опорних точок. У процесі трансформування відбувається перерахунок значень пікселів на нову сітку растру. При цьому форми об'єктів на зображенні в більшій чи меншій мірі змінюються, а рамка зображення із звичайної прямокутної перетворюється в паралелепіпед або в більш складну фігуру із криволінійними границями. Часто для представлення та сумісної обробки матеріалів різних видів (типів) зйомок, а також різночасових зображень однієї і тієї ж території, використовується проекція, яка називається ортопланом. Вона використовується у світовій практиці в ролі обмінного стандарту. При геометричній корекції фотографічних зображень високої роздільної здатності зменшуються спотворення, які виникають під впливом рельєфу місцевості.

6.2 Програмні засоби для обробки даних дистанційного дослідження територій

Попередня обробка зображень. Основне призначення цієї групи операцій - модифікація даних із метою покращення зорового сприйняття зображення, або перетворення його в форму, більш зручну для подальшого візуального або комп'ютерного аналізу. За особливостями організації обробки даних, операції цієї групи можна розбити на декілька типів. До першого типу відносяться модифікації значень кожного окремого пікселя, які виконуються, як правило, із використанням табличного способу представлення перетворюючої функції (таблиця перекодування). Різні види лінійного та нелінійного контрастування, призначені для покращення візуального сприйняття зображень, є характерними

представниками даних перетворень. Другий тип – це локальні операції, особливістю яких є модифікація значення кожного елементу зображення із використанням значень сусідніх пікселів у якій-небудь обмеженій (локальній) області. Типовими перетвореннями цього виду є операції фільтрування зображень. Згладжувальні, або низькочастотні, фільтри дозволяють зняти шум та видалити малі деталі. Це дозволяє отримати більш однорідні ділянки зображення, придатні для подальшої обробки із метою виявлення певних об'єктів. Високочастотні фільтри призначені для виділення або підкреслення перепадів значень пікселів, що використовується при пошуку на зображенні границь об'єктів та виявленні різних структур, які проявляються у вигляді зсуву або перепаду значень елементів зображення. До групи операцій перетворення геометричних характеристик зображень відносяться:

- монтування зображень із окремих фотографій або їх фрагментів;
- вирізання потрібного фрагменту; - компресія зображення або його розтяг;
- трансформація зображення в яку-небудь картографічну проекцію.

Третій вид операцій призначений для створення різних кольорових композицій, оптимальних для візуального сприйняття. Ця група перетворень дозволяє отримати кольорові зображення у віртуальних умовних та псевдокольорах, що є одним із способів обробки багатомірних зображень.

6.3 Зарубіжний досвід обробки даних дистанційного зондування

Проводити автоматизоване розбиття зображення на однорідні по певному критерію області (класи об'єктів) дозволяє класифікація. Отримане при цьому зображення називається тематичною картою. Оскільки зазвичай виділяють змістовно інтерпретуючі класи об'єктів, то класифікацію можна розглядати як процедуру автоматизованого дешифрування даних дистанційного зондування. Процедура класифікації найчастіше всього полягає в статистичному аналізі різних характеристик зображення: просторових, спектральних або часових. До простіших корисних просторових характеристик відносяться: текстура, контекст, форма та структурні співвідношення. Під часовими характеристиками слід

розуміти сезонні зміни земної поверхні (особливо рослинності), які можуть бути їх індикаторами. Однак прийнято вважати, що основну інформацію про природу об'єктів на земній поверхні містять їх спектральні характеристики, тому в більшості відомих алгоритмів класифікації використовуються спектральні образи (сигнатури) типів поверхонь. Розрізняють два основних методологічних підходи до проведення класифікації: класифікацію із навчанням та автоматичну класифікацію. У випадку класифікації із навчанням, задача полягає в знаходженні на зображенні об'єктів вже відомих типів, що потребує деяких попередніх знань про досліджувану ділянку земної поверхні. На першому етапі процедури необхідно інтерактивно вибрати на зображенні еталонні ділянки, які є характерними (типовими) представниками виділених класів об'єктів. Етап навчання полягає фактично в розрахунку та аналізі деякого набору статистичних характеристик розподілу значень пікселів, які складають ці полігони. Однак більшою популярністю користується інший вид класифікації, який не потребує додаткової наземної інформації і глибокого знання дистанційних методів обробки. Методологічною основою автоматичної класифікації є кластерний аналіз, у ході якого намагаються визначити всі типи об'єктів при деякому рівні узагальнення (вибраних критеріях об'єднання, розділення або числа класів). Завдання їх інтерпретування вирішується на другому етапі. Існують алгоритми, які поєднують елементи автоматичну класифікацію із навчанням. За способом віднесення окремих елементів зображення до певного класу об'єктів, розрізняють суворі та м'які класифікатори. У разі використання суворих (традиційних) класифікаторів, приймається чітко визначене рішення відносно приналежності пікселів до деякого класу. М'які ж класифікатори оцінюють ймовірність, із якою аналізований елемент зображення може належати всім наявним класам поверхонь (включаючи і невідомі). Сучасні класифікатори дозволяють також вводити елемент невизначеності на різних стадіях процесу, що допускає присутність змішаних класів поверхонь у кожному окремому пікселі (субпіксельна класифікація). Ще один порівняно новий вид класифікації пов'язаний із обробкою гіперспектральних даних. Такі дані надходять із систем

ДЗЗ, які працюють із дуже вузькою шириною зон традиційного спектрального діапазону, що збільшує кількість спектральних каналів до десятків або сотень. У цьому випадку для автоматизованого виділення класів об'єктів поверхонь використовуються бібліотеки спектральних кривих різних земних матеріалів.

Зазвичай виникає необхідність тематичного корегування результатів класифікації, особливо автоматичної, яка виконується за інформаційними характеристиками об'єктів. Для цього використовується цілий набір процедур, які називаються операціями після класифікаційної обробки: злиття класів, розділення класів, видалення малих побічних об'єктів, згладжування границь об'єктів і ін. Важливим етапом у процесі класифікації є оцінка точності отриманих зображень, яка може виконуватися як за даними польових вимірювань, так і шляхом порівняння із відповідними тематичними картами. Ця сфера обробки зображень натеper доволі інтенсивно розвивається: появляються нові класифікатори, які базуються на останніх досягненнях у галузі моделювання штучного інтелекту та інших областях прикладної математики (наприклад, нейронні мережі).

6.4 Напрями використання даних дистанційного зондування для дослідження та моніторингу територій

Перетворення зображень. Ця група операцій дозволяє створювати нові (вторинні) зображення в процесі математичних перетворень декількох спектральних зон вихідного (первинного) зображення. Такий вид операцій зазвичай називають алгеброю зображень. Одним із широко використовуваних вторинних зображень є різні вегетаційні індекси, які вираховуються як лінійна комбінація інфрачервоного та червоного спектральних каналів. Ще одним прикладом вторинних даних є зображення головних компонент первинного зображення. Аналіз головних компонент використовується для перетворення декількох спектральних зон зображення таким чином, щоб нові зони вторинного зображення (які називаються компонентами) не корелювали один із одним та розміщувались в порядку спадання кількості інформації, яку вони містять. Кожна

така компонента завжди містить тільки унікальну інформацію, причому перші декілька нових зон містять більшу частину інформації про первинне зображення.

Спеціалізована тематична обробка. До цієї групи відносяться операції виділення певних специфічних природних або антропогенних об'єктів. Зазвичай, такі об'єкти детектуються саме за їх характерними особливостями. До цього типу відносяться, наприклад: операції, призначені для виявлення та виділення лінійних або кільцевих структур.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ДОСЛІДЖЕННІ ТА УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІАЛЬНИМ РОЗВИТКОМ

ТЕМА 7 ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ДОСЛІДЖЕННІ ТЕРИТОРІЙ

План

7.1 Геопросторовий аналіз територій. Моніторингові геоінформаційні системи.

7.2 Геоінформаційні системи для планування, дослідження та управління територіями.

7.3 Роль геоінформаційних систем у територіальному плануванні.

7.1 Геопросторовий аналіз територій. Моніторингові геоінформаційні системи

Серед усього розмаїття традиційних областей використання геоінформаційних систем помітно домінує нова її галузь – екологічна. Використання геоінформаційних систем дозволяє оперативно отримувати інформацію по запити та відображати її на картооснови, оцінювати стан екосистеми та прогнозувати її розвиток. Можливості геоінформаційних систем, що застосовують під час моніторингу екологічної ситуації на певній території:

- введення, накопичення, зберігання та обробка цифрової картографічної та екологічної інформації;
- побудова на підставі отриманих даних тематичних карт, що відображають поточний стан екосистеми;
- дослідження динаміки зміни екологічної обстановки у просторі та часі, побудова графіків, таблиць, діаграм;

– моделювання розвитку екологічної ситуації в різних середовищах та дослідження стану екосистеми залежно від метеоумов, характеристик джерел забруднень, значень фонових концентрацій;

– отримання комплексних оцінок стану об'єктів навколишнього природного середовища на основі різнорідних даних. Екологічні проблеми часто вимагають негайних та адекватних дій, ефективність яких безпосередньо пов'язана з оперативністю обробки та подання інформації.

При комплексному підході, характерному для екології, зазвичай, доводиться спиратися на узагальнюючі характеристики навколишнього середовища, внаслідок чого, обсяги навіть мінімально достатньої вихідної інформації, безсумнівно, повинні бути великими. У деяких випадках обґрунтованість дій та рішень навряд чи може бути досягнутою. Однак, простого накопичення даних теж, на жаль, недостатньо, дані повинні бути легкодоступні та систематизовані відповідно до потреб. Добре, якщо є можливість зв'язати різнорідні дані один з одним, порівняти, проаналізувати, просто переглянути їх у зручному та наочному вигляді, наприклад, створивши на їх основі необхідну таблицю, схему, креслення, карти, діаграму. Угруповання даних у потрібному вигляді, їх належне зображення, зіставлення та аналіз цілком залежать від кваліфікації та ерудованості дослідника, обраного ним підходу інтерпретації накопиченої інформації.

На етапі обробки та аналізу зібраних даних істотне місце займає технічна оснащеність дослідника, що включає відповідні апаратні засоби та програмне забезпечення для вирішення поставлених завдань. Застосовують сучасну потужну технологію географічних інформаційних систем. Геоінформаційні системи з успіхом використовуються для створення карт основних параметрів навколишнього середовища. Наприклад, під час отримання нових даних, створені карти використовують для виявлення масштабів та темпів деградації флори та фауни. За допомогою введених дистанційних даних, зокрема, супутникових, та звичайних польових спостережень можна здійснювати моніторинг місцевих та широкомасштабних антропогенних впливів. Дані про

антропогенні навантаження доцільно накласти на карти зонування території з виділеними областями, що викликають особливу зацікавленість з природоохоронної точки зору, наприклад, парки, заповідники та заказники.

Оцінку стану та темпів деградації природного середовища можна проводити по виділених на всіх шарах карти тестовим ділянкам. За допомогою геоінформаційних систем зручно моделювати вплив та поширення забруднення від точкових та неточкових (просторових) джерел на місцевості, в атмосфері та по гідрологічній мережі. Результати модельних розрахунків можна накласти на природні карти, наприклад, карти рослинності, або ж на карти житлових масивів у певному районі.

У результаті можна оперативно оцінити найближчі та майбутні наслідки таких екстремальних ситуацій, як розлив нафти та інших шкідливих речовин, а також вплив постійно діючих точкових та площинних забруднювачів. Ще одна поширена сфера застосування геоінформаційних систем – збір та управління даними по охоронним територіям, такими як заказники, заповідники та національні парки. У межах охоронних територій можна проводити повноцінний просторовий моніторинг рослинних спільнот, цінних та рідкісних видів тварин, визначати вплив антропогенних втручань, таких як туризм, будівництво доріг або ліній електропередач, планувати та доводити до реалізації природоохоронні заходи. Можливе виконання багатокористувацьких задач, наприклад, регулювання випасу худоби та прогнозування продуктивності земельних угідь. Такі задачі геоінформаційна система вирішує на науковій основі, тобто вибираються рішення, що забезпечують мінімальний рівень впливу на дику природу, збереження на необхідному рівні чистоти повітря, водних об'єктів та ґрунтів, особливо в часто відвідуваних туристами районах. Регіональні та місцеві керівні структури широко застосовують можливості геоінформаційних систем для отримання оптимальних рішень проблем, пов'язаних з розподілом та контрольованим використанням земельних ресурсів, улагоджуванням конфліктних ситуацій між власником та орендарями земель.

Корисним, і часто необхідним, буває порівняння поточних кордонів ділянок землекористування до зонування земель та перспективними планами їх використання. Геоінформаційна система забезпечує також можливість зіставлення меж землекористування з вимогами дикої природи. Наприклад, у низці випадків буває необхідно зарезервувати коридори міграції диких тварин через освоєння території між заповідниками або національними парками. Постійний збір та оновлення даних про межі землекористування може надати велику допомогу під час розробки природоохоронних, у тому числі адміністративних та законодавчих заходів, відслідковувати їх виконання, своєчасно вносити зміни та доповнення в існуючі закони та постанови на основі фундаментальних наукових екологічних принципів та концепцій. Геоінформаційна система є ефективним засобом для вивчення середовища проживання в цілому, окремих видів рослинного та тваринного світу в просторовому та часовому аспектах.

Якщо встановлені конкретні параметри навколишнього середовища, необхідні, наприклад для існування будь-якого виду тварин, включаючи наявність пасовищ та місць для розмноження, відповідні типи та запаси кормових ресурсів, джерела води, вимоги до чистоти природного середовища, то геоінформаційна система допоможе швидко підшукати райони з відповідною комбінацією параметрів, у межах яких умови існування або відновлення чисельності даного виду будуть близькі до оптимальних. На стадії адаптації переселеного виду до нової місцевості геоінформаційна система ефективна для моніторингу найближчих та віддалених наслідків вжитих заходів, оцінки їх успішності, виявлення проблем та пошуку шляхів їх подолання. Функціональні інтегральні можливості геоінформаційної системи у найбільш явному вигляді проявляються та сприяють успішному проведенню спільних міждисциплінарних досліджень, вони забезпечують об'єднання та накладення один на одного будь-яких типів даних, щоб їх можна було відобразити на карті. До подібних досліджень відносяться, наприклад, такі: аналіз взаємозв'язків між здоров'ям населення та різноманітними (природними, демографічними, економічними)

факторами; кількісна оцінка впливу параметрів навколишнього середовища на стан локальних та регіональних екосистем та їх складових; визначення доходів землевласників у залежності від переважаючих типів ґрунтів, кліматичних умов, віддаленості від міст; виявлення чисельності та щільності ареалів поширення рідкісних та зникаючих видів рослин у залежності від висоти місцевості, кута нахилу та експозиції схилів. Геоінформаційна система спрощує процедуру публікації будь-яких видів картографічної продукції. За допомогою вбудованої мови програмного забезпечення (наприклад, ARC / INFO ARC Macro Language (AML)) [6] можна написати програми автоматичного створення будь-яких типів друкованих карт, графіків, діаграм та таблиць. Крім того, прості програмні продукти (наприклад, «ArcView GIS») дозволяють переглядати та безпосередньо оперувати з даними, що містяться у базі даних геоінформаційної системи, навіть малодосвідченому користувачеві [4]. За допомогою таких простих та легкодоступних програм будь-який користувач має можливість зчитувати та роздруковувати карти (записані, наприклад, на CD-ROM у форматі геоінформаційної системи «ARC / INFO»).

Оскільки створення паперових карт за допомогою геоінформаційних систем значно спрощується та здешевлюється, з'являється можливість отримання великої кількості різноманітних природних карт. З огляду на простоту копіювання та виробництва картографічної продукції її може використовувати практично будь-який науковець, викладач або студент. Більше того, стандартизація формату та компоновання базових карт служить основою для збору та демонстрації даних, отриманих науковцями, обміну даними між навчальними закладами та створення єдиної бази по регіонах та в національному масштабі. Можна підготувати спеціальні карти для землевласників з метою ознайомлення їх з планованими природоохоронними заходами, схемами буферних зон та екологічних коридорів, які створюються у даному районі та можуть торкнутися їх земельних ділянок. У міру розширення та поглиблення природоохоронних заходів однією з основних сфер застосування геоінформаційних систем стає стеження за наслідками вжитих дій на локальному

та регіональному рівнях. Джерелами оновленої інформації можуть бути результати наземних зйомок або дистанційних спостережень з повітряного транспорту та з космосу. Використання геоінформаційних систем ефективно для моніторингу умов життєдіяльності місцевих та привнесених видів, виявлення причинно-наслідкових ланцюжків та взаємозв'язків, оцінки сприятливих та несприятливих наслідків вжитих природоохоронних заходів на екосистему в цілому та окремі її компоненти, прийняття оперативних рішень щодо їх коригування залежно від мінливих зовнішніх умов. Отже, усі моніторингові дані повинні бути прив'язані до певних об'єктів. Варто зазначити, що під час роботи з конкретними об'єктами активно використовуються географічні інформаційні системи, які дозволяють працювати з різними цифровими картографічними матеріалами, а також оперативно доповнювати їх свіжими моніторинговими даними [3]. Отже, під час використання геоінформаційних систем всі дані всіх масштабів зберігаються на комп'ютерних носіях і можуть бути в подальшому використані.

Створення блоку моделей для інформаційно-аналітичної системи управління якістю середовища промислового міста потребує практично всього арсеналу сучасної науки. Починають з більш простих, актуальних та близьких до реалізації моделей, що застосовуються в екологічній експертизі, які необхідно налаштувати або допрацювати відповідно до місцевих умов та задач.

7.2 Геоінформаційні системи для планування, дослідження та управління територіями

Головними цілями геообробки є надання інструментів та основ виконання геоінформаційного аналізу та управління географічними даними. Можливості моделювання та аналізу, які надає геообробка, роблять ArcGIS повноцінною геоінформаційною системою [11]. Геообробка включає багато інструментів для вирішення геоінформаційних задач, починаючи від простої побудови буфера та накладення полігонів до комплексного регресійного аналізу та класифікації зображень. Багато із задач, які необхідно автоматизувати, можуть бути

звичайними, наприклад, перетворити групи даних з одного формату в інший, або задачі, які можуть бути дуже креативними, вирішення яких вимагає послідовності операцій моделювання та аналізу комплексних просторових відношень, наприклад:

- розрахунок оптимальних маршрутів через транспортну мережу;
- прогнозування поширення природних пожеж;
- аналіз та знаходження закономірностей;
- визначення територій, схильних до зсувів;
- прогноз повені внаслідок злив.

Геообробка базується на загальному середовищі перетворення даних. Стандартний інструмент геообробки здійснює операції з набором даних ArcGIS та створює новий набір даних як результат роботи інструменту. Кожен інструмент геообробки виконує невелику, але важливу операцію з географічними даними. Геообробка дозволяє складати ланцюжки інструментів, коли заключні дані попереднього інструменту є вихідними для наступного, тому можна використовувати цю можливість для формування необмеженого числа моделей геообробки (послідовність застосування інструментів), які допоможуть автоматизувати роботу та вирішити складні проблеми.

Геостатистика – це розділ статистики, який займається аналізом та прогнозуванням значень, пов'язаних з просторовими та просторово-часовими явищами. Геостатистика включає просторові координати аналізованих даних. Багато геостатистичних інструментів спочатку були розроблені як практичні засоби опису просторових моделей та інтерполяції значень для розташування, в яких не проводилися вимірювання. Згодом такі інструменти та методи розвинулися і тепер надають не тільки інтерпольовані значення, але і міри невизначеності для таких значень. Вимірювання невизначеності важливо для обґрунтованого прийняття рішень, оскільки вона надає відомості про можливі значення (результати) для всіх місць розташування, а не тільки для одного проінтерпольованого значення. Геостатистичний аналіз також пройшов шлях від одновимірного до багатовимірного і сьогодні пропонує механізми, що

враховують допоміжні набори даних, які доповнюють основні змінні, дозволяючи створювати більш точні моделі інтерполяції та невизначеності. Геостатистика використовується при таких роботах:

- у гірничодобувній галузі на різних етапах проєкту: спочатку вона дозволяє кількісно оцінити обсяг мінеральних ресурсів та визначити економічну рентабельність проєкту, а потім у міру надходження оновлених даних геостатистика дозволяє на регулярній основі приймати рішення про те, яка порода повинна надходити на збагачувальну фабрику, а яка є відходами;

- у науках про навколишнє середовище – для оцінки рівня забруднення та дозволяє визначити чи є таке забруднення загрозою для екології або здоров'я людини та чи потребує воно усунення наслідків;

- відносно недавнє застосування в ґрунтознавстві пов'язано з картуванням рівнів поживних речовин в ґрунті (азот, фосфор, калій) та інших показників (включаючи електропровідність) з метою вивчення їх зв'язку з урожаєм та розрахунком точних обсягів добрив для різних ділянок поля;

- у метеорології – для прогнозування температур, опадів та пов'язаних явищ (наприклад, кислотних дощів);

- нещодавно в галузі охорони здоров'я, наприклад, для передбачення рівнів забруднення навколишнього середовища і їх зв'язку з частотою ракових захворювань.

У всіх цих прикладах загальною є наявність деякого цікавого явища, яке присутнє в досліджуваному ландшафті (наприклад, рівень забруднення ґрунту, води, повітря або наявність золота чи іншого металу в породі). Масштабні дослідження вкрай затратні та вимагають багато часу, тому явище досліджують на підставі зразків, узятих у різних місцях. За допомогою методів геостатистики складаються прогнози (оцінюються пов'язані заходи невизначеності інтерполяції). В ArcGIS додаток «Geostatistical Analyst» надає набір інструментів, що дозволяють створювати моделі, які використовують просторові координати, такі моделі можуть бути застосовані в широкому ряді сценаріїв, зазвичай, вони

використовуються для інтерполяції значень позаопорних місцях розташування та вимірювання невизначеності цієї інтерполяції.

Перший крок, як і в будь-якому дослідженні, – це ретельне вивчення даних.

Цей процес починається з картографування набору даних з використанням класифікації та колірної схеми, що дозволяють ясно відобразити важливі характеристики, які може містити набір даних, наприклад:

- сильне зростання значень з півночі на південь;

- поєднання високих та низьких значень поза певного порядку (це може означати, що дані були відібрані в масштабі, що не відображає просторову кореляцію);

- більш щільно відібрані зони (преференційна вибірка), що може призвести до вирішення використовувати ваги декластеризації в аналізі даних;

Другий крок – це побудова геостатистичної моделі. Цей процес може включати кілька кроків у залежності від цілей вивчення (типів інформації, яку вірогідно надає модель) та від характеристик набору даних, які вважалися досить важливими для включення. На цьому кроці інформація, що зібрана під час ретельного дослідження набору даних, та первинні знання про явище, визначають рівень складності моделі та ступінь точності інтерпольованих значень і заходів невизначеності. Побудова моделі може включати:

- попередню обробку даних для видалення просторових трендів, які моделюються окремо і додаються назад на фінальному етапі процесу інтерполяції;

- перетворення даних для більшої відповідності гаусовому розподілу (потрібно для декількох методів та заключних даних моделі);

- декластеризацію набору даних для компенсації преференційної вибірки.

Велику кількість інформації можна отримати ретельно досліджуючи набір даних, однак, важливо включити будь-які відомості, які можуть бути про явище спочатку. Розробник не може покладатися тільки на набір даних, щоб показати всі важливі характеристики. Характеристики, що не відобразяться, можуть бути включені в модель шляхом налаштування значень параметрів для відображення

очікуваного результату. Дуже важливо, щоб модель була реалістичною, наскільки це можливо, для точного подання інтерпольованих значень та пов'язаних з ними невизначеностей як характеристики реального явища. Крім попередньої обробки даних, у наборі даних може бути необхідно змодельовати просторову структуру (просторову кореляцію). Деякі методи, наприклад, кригінг, вимагають ретельного моделювання з використанням функцій варіограми або ковариації, тоді як інші методи, такі як метод зворотних зважених відстаней, спираються тільки на передбачуваний ступінь просторової структури, інформацію про яку проєктувальник повинен надати на основі попередніх даних про явище. Підсумковим компонентом моделі є пошук стратегії.

Стратегія визначає, як багато точок даних буде використовуватися для обчислення значення для неопорного розташування. Також можна задати їх просторову конфігурацію (положення відносно один одного та неопорного розташування). Обидва фактори впливають на інтерпольоване значення та пов'язану з ним невизначеність. Для багатьох методів задається еліпс пошуку поряд з кількістю секторів еліпсу та кількістю точок, взятих з кожного сектору для побудови прогнозу. Після того як модель повністю задана, вона буде використана разом з набором даних для створення інтерпольованих значень для всіх неопорних розташувань, що знаходяться в області інтересу. Підсумком, зазвичай, є створення карти, яка б показала значення змодельованої змінної. Підсумок випадних значень може бути досліджено на цьому кроці, оскільки ці значення, можливо, змінять значення параметру моделі, і, таким чином, зміниться інтерполяція карти. Залежно від методу інтерполяції, також можна використовувати схожу модель для обчислення міри невизначеності інтерпольованих значень. Не всі моделі мають цю можливість тому важливо спочатку задати чи необхідне вимірювання невизначеності, це, у свою чергу, визначить, яка з моделей є пріоритетною.

7.3 Роль геоінформаційних систем у територіальному плануванні

Оскільки використовуються всі типи моделювання, результат моделювання необхідно перевірити, тобто переконатися, що інтерпольовані значення та пов'язані з ними міри невизначеності є значущими та відповідають очікуванням. Після побудови відповідної моделі, її налаштування та перевірки результату, отримані результати можуть бути використані в аналізі ризиків та прийняття рішень. Модуль ArcGIS Geostatistical Analyst надає можливість моделювання поверхні з використанням детермінованого та геостатистичного методів.

Надані інструменти повністю інтегровані в середовище геоінформаційного моделювання та дозволяють фахівцям створювати моделі інтерполяції та оцінювати їх якість до використання в подальшому аналізі. Поверхні можуть надалі використовуватися в моделях («ModelBuilder» та «Python»), відображатися та аналізуватися за допомогою інших додаткових модулів «ArcGIS», таких як «ArcGIS Spatial Analyst» та «ArcGIS 3D Analyst». Майстер операцій геостатистики («Geostatistical Wizard») – це динамічний набір сторінок, які розроблені з метою провести процес побудови моделі інтерполяції та оцінки її якості. Вибір, зроблений на сторінці, визначає доступні параметри на наступних сторінках та способи взаємодії з даними для побудови відповідної моделі. Майстер веде від точки вибору методу інтерполяції до перегляду підсумкової статистики, що дозволяє оцінити очікувану якість моделі. Під час побудови моделі інтерполяції майстер дозволяє вносити зміни в значення параметрів, пропонує оптимальні значення та дозволяє рухатися вперед або повертатися назад для оцінки результатів перехресної перевірки, щоб визначити чи задовольняє поточна модель вимогам, чи необхідно змінити значення параметрів. Така гнучкість, у доповненні до перегляду динамічних даних та поверхонь, робить майстер повнофункціональним середовищем для побудови моделей інтерполяції. Майстер «Geostatistical Wizard» надає доступ до кількох методів інтерполяції, які поділяються на два типи: детерміновані та геостатистичні. Необхідно чітко розуміти задачі вивчення та способи прогнозування значень, а також володіти іншою супутньою інформацією для прийняття більш обґрунтованих рішень під час вибору методу.

ТЕМА 8 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ

План

8.1 Досвід застосування даних дистанційного зондування для моніторингових завдань.

8.2 Управління територіями на підставі даних дистанційного зондування.

8.3 Прикладні аспекти використання даних дистанційного зондування для моніторингу територій.

8.1 Досвід застосування даних дистанційного зондування для моніторингових завдань

Довгострокова стратегія охорони та збереження природи, розроблена за ініціативою вчених всього світу та підтримана в організації об'єднаних націй, потребує рішучого переходу від пасивної реєстрації нищівних наслідків численних екологічних порушень та частих катастроф до їхнього своєчасного попередження та запобігання. Прийнята міжнародна програма (на рівні Міністерства з надзвичайних ситуацій України) спільних дій, яка передбачає створення системи надійного та широкомасштабного моніторингу навколишнього природного середовища. Моніторинг має забезпечувати систематичне та оперативне слідкування (спостереження) за станом природного середовища з метою його контролю та управління правильним використанням усіх його складових. Оцінка стану та прогноз зміни навколишнього природного середовища мають досить важливе значення для виявлення загрози порушення екологічної рівноваги в природі, а також велике сільськогосподарське значення. Моніторинг має здійснюватися на трьох ієрархічних рівнях:

- регіональному;
- детальному;
- локальному.

Регіональний моніторинг повинен охоплювати цілі економічні райони та надавати загальне уявлення про характер, масштаби, інтенсивності різних геологічних процесів, збитки які вони наносять сільськогосподарським об'єктам та природному середовищу, ефективність захисних заходів, що використовуються. У залежності від ступеню освоєння території та інших факторів регіональний моніторинг може здійснюватись у широкому діапазоні масштабів від 1:100 000 до 1:500 000. Детальний та локальний моніторинг – повинен давати більш повне уявлення про розвиток екологічних процесів у межах окремих інженерних комплексів та споруд або їхніх комплексів. Під час регіонального моніторингу за базові доцільно використовувати аерокосмічні методи, доповнюючи їх невеликою кількістю наземних досліджень. Під час детального та локального моніторингів основні дані будуть отримані наземними дослідженнями, а аерокосмічні методи стануть їхнім істотним доповненням. Провідна роль у реалізації аерокосмічного моніторингу має належати знімкам, що виконуються в оптичному діапазоні спектру через їхній максимум корисної інформації. Одним із важливих факторів стійкого розвитку України є ряд взаємозалежних задач щодо використання природних ресурсів, захищеності від масштабних загроз техногенного та природного характеру, охорони навколишнього середовища. Прийняття обґрунтованих рішень для забезпечення сталого розвитку держави не можливе без аналізу існуючої ситуації, спостереження, моделювання та прогнозування стану довкілля. На сучасному етапі ринкових трансформацій однією із важливих передумов сталого розвитку України є організація моніторингу забруднень та джерел забруднення, визначення рівнів забруднення усіх складових елементів та ресурсів природного середовища, виявлення найнебезпечніших для здоров'я людини місць, організація системного моніторингу за трансформацією ландшафтів, зміною стану наземних та водних екосистем під впливом антропогенних навантажень, прогноз динаміки впливів та навантажень на біосферу, а також оцінка негативних наслідків, що виникають при цьому. Так звана «цифрова революція», яка вже давно відбулась у розвинутих країнах світу дала змогу, завдяки використанню

комп'ютерних і аерокосмічних технологій, відстежувати з найретельнішою точністю просторові дані.

Світова практика свідчить про те, що найефективнішим засобом інформаційного забезпечення у разі вирішення даних проблем є аерокосмічні системи дистанційного зондування Землі. Дистанційні методи зондування земної поверхні дають змогу одночасно охоплювати великі за площею території, забезпечити оперативність та визначення великої кількості параметрів земної поверхні та рослинності, здійснювати моніторинг, значно зменшуючи при цьому кількість складних та трудомістких хімічних аналізів, що спрощує і знижує собівартість досліджень. Оксфордським університетом підтверджено, що використання аерокосмічного знімання та комп'ютерних технологій дає можливість знизити вартість моніторингу до 90 %. На сьогоднішній день орбіти супутників спроектовані таким чином, що є можливість постійного спостереження за станом земної поверхні, тобто можна оперативно та чітко відслідковувати зміни, що відбуваються у довкіллі (забруднення, пожежі, погіршення стану рослинності, пилові бурі, техногенні катастрофи). Слід зазначити, що вартість такої інформації постійно знижується. Американські фермери вже достатньо тривалий час за відносно невисоку плату постійно стежать за станом своїх полів, щоб своєчасно та вибірково вносити дорогі добрива. Що стосується геоінформаційних систем, то вони вже набули широкого розповсюдження для різних галузей сільського господарства. Використовують можливості геоінформаційних систем для роботи з картографічними матеріалами (карти, плани, космічні знімки, цифрові моделі рельєфу), базами геоінформаційних даних, їх поєднання, аналізу, візуалізації, моделювання та оформлення і подання просторової інформації у вигляді цифрових карт, діаграм, тривимірних моделей місцевості для задач екологічного моніторингу [5]. Ефективність дослідження характеристик земної поверхні та процесів, що відбуваються на ній, за результатами дистанційного зондування Землі найчастіше може бути досягнута тільки під час сумісної обробки даних, одержаних у різний час, різними знімальними системами, з різних аерокосмічних

апаратів та у різних діапазонах. Оперативне отримання даних у системі моніторингу можливе лише за умов функціонування космічних апаратів на стаціонарній орбіті чи при використанні угруповань космічних апаратів. Залежно від розміру об'єктів спостереження та задач, що вирішуються, може бути достатнім використання апаратури дистанційного зондування Землі.

8.2 Управління територіями на підставі даних дистанційного зондування

Пріоритетним напрямком розвитку засобів дистанційного зондування Землі, відповідно до Національної космічної програми України, для задоволення потреб користувачів є створення постійно діючої системи аерокосмічного моніторингу, основою якої можуть стати багатопозиційні системи, що дозволять суттєво підвищити оперативність отримання даних, інформативність космічних знімків та шумозахищеність системи для вирішення задач безпеки та оборони країни, а також інформації, необхідної для господарської діяльності, у тому числі розв'язання наукових завдань щодо оцінювання та прогнозування майбутнього стану довкілля. Ведуться роботи щодо програми «Високоєфективні технології оцінювання параметрів природних середовищ земної поверхні з аерокосмічних носіїв» у рамках координаційного плану «Наукові основи створення аерокосмічних технологій».

Дистанційне зондування Землі забезпечує можливість оперативного збору даних у глобальному масштабі з високим просторовим та часовим розділенням, що і визначає значні інформаційні можливості аерокосмічних систем, можливість їх господарського, природо-екологічного, наукового та військового застосування, а також потенційну економічну ефективність. Аерокосмічні знімки надають найточнішу та реальну інформацію про ситуації, які сталися.

Застосовуючи аерокосмічні знімки, вирішують такі основні завдання:

- оцінка еколого-санітарного стану об'єктів, виявлення джерел забруднення, контроль за динамікою розповсюдження;
- інвентаризація змін, визначення інтенсивності та масштабів процесів, реєстрація змін;

– визначення динаміки (як сезонної так і річної) і контроль коливань змін.

Використовуючи шляхи об'єднання класифікованих зображень за різні періоди, створюють карти, які вміщують зміни за цей період часу, карти екологічного забруднення, зон небезпеки, карти прогнозованого стану довкілля. Аерокосмічний моніторинг для оцінювання та прогнозування майбутнього стану довкілля є масштабною багатофункціональною програмою екологічного управління. У сучасних умовах ефективне вирішення перелічених задач неможливе без застосування інформаційних технологій. Використання передових засобів автоматизованого збору, обробки та подання інформації забезпечує якісно вищий рівень наукових досліджень внаслідок співставлення різноманітної інформації та комплексного підходу до вивчення природних явищ.

Інформаційне забезпечення наукових досліджень є визначальним чинником їх ефективності, актуальності результатів, узгодження зусиль різних наукових груп. Інформація, що отримана з метеосупутників, дозволяє складати оперативні екологічні карти хмарового, льодового та снігового покривів, виявляти зародження ураганів та визначати напрямок і швидкість їх розповсюдження, розрізняти тип та етапи розвитку погодних умов, виявляти струменеві потоки в атмосфері, місцеві метеорологічні явища (шквали, грозову активність), досліджувати тепловий баланс Землі, визначати температуру хмарового покриву, поверхні суходолу та океану. У зв'язку із специфікою вимог до метеоспостережень для глобального прогнозування та регіонального аналізу припускаються дві системи метеорологічних спостережень з використанням супутників:

- із централізованою обробкою даних (глобальне прогнозування);
- із автономним використанням даних (регіональна оцінка та прогноз).

Найдоцільнішими вважають системи, що складаються з чотирьох та шести метеосупутників, що обертаються на полярних кругових орбітах висотою від 600 до 2 000 км від усередненої земної поверхні, розташовані так, щоб супутники одночасно знаходилися приблизно на одній широті. Метеорологічні супутники SMS (США) призначені для зйомки хмарового покриву в денний та нічний часи

із стаціонарної орбіти, а також для ретрансляції метеорологічної інформації, вони передають космічні знімки хмарового покриву кожні 30 хвилин.

Проникнення людини в космос – природний і логічний крок, необхідність в цьому обумовлена двома основними причинами:

- отримання нових підходів та можливостей наукового дослідження і пізнання світу;

- пошук нових джерел для задоволення енергетичних потреб всього людства на планеті Земля, а отже, і вирішення однієї із глобальних екологічних проблем ресурсозберігання та природокористування.

Сучасний стан розвитку дистанційних досліджень дає змогу встановлювати певний перелік показників, необхідних для моделювання прогнозу врожайності в різні фази вегетації. Раціональне поєднання даних, одержаних дистанційними засобами спостереження, та даних наземних метеорологічних і агробіологічних спостережень дає змогу підвищити рівень інформаційного забезпечення прогнозування стану та врожайності сільськогосподарських культур.

Космічна сканерна зйомка здійснюється за допомогою супутників, що не повертаються, кожний з яких функціонує протягом декількох років та передає зареєстровану інформацію на Землю по радіоканалам. З метою успішного здійснення космічної сканерної зйомки необхідно створити систему моніторингу, до якої входять:

- природо-ресурсні штучні супутники Землі;

- наземний командно-вимірювальний комплекс;

- канали зв'язку; – центри приймання та обробки інформації;

- підсистема збору замовлень, каталогізації та розсилання знімків користувачам;

- геостаціонарні штучні супутники Землі, що приймають інформацію від природо-ресурсних штучних супутників Землі та направляють її на Землю. Природо-ресурсна система здійснює періодичний глобальний огляд поверхні Землі, а використання її даних має міжнародний характер. Космічна сканерна

зйомка можлива при сонячному освітленні. Для багатьох цілей комплексного моніторингу, тобто для контролю за повеннями, утворенням та сходженням лавин та селевих потоків, виверженнями вулканів, землетрусами, аварійним забрудненням морів та внутрішніх вод, зростанням та захворюванням посівів, а також для прийняття оптимальних рішень, пов'язаних з подібними явищами, необхідна високооперативна зйомка. Виникає необхідність переходу від природо-ресурсних систем до багатоцільових систем дистанційного зондування та моніторингу поверхні Землі, які б забезпечували як глобальний огляд, так і зйомку окремих ділянок місцевості в необхідний момент та з необхідною частотою. Ділянками, що реєструються, можуть бути:

- місто, що постраждало від землетрусу або іншого стихійного лиха;
- діючий вулкан;
- лісова пожежа;
- нафтові плями в морі;
- динаміка великої будівлі, греблі, кар'єру (під час аварійних ситуацій).

Характерний розмір подібних «гарячих ділянок» – декілька десятків кілометрів, а їх реєстрація часто необхідна лише протягом декількох діб активного розвитку процесу.

Системи моніторингу мають базуватися на можливості зйомки з нахилом, коли реєстрація заданих ділянок, що розташовані на різній відстані від траси, досягається нахилом осі датчика на різні кути поперек траси.

Дякуючи цьому, один супутник може знімати будь-які ділянки через добу, а два супутники – цілодобово. Під системами моніторингу слід розуміти космічні системи, що призначені для частої (навіть щодобової) зйомки численних заданих ділянок земної поверхні розмірами від 60 км до 200 км, супутники обладнані камерами з розрізненням порядку від 10 м до 20 м, що допускають як вертикальну сканерну зйомку, так і космічну сканерну зйомку з нахилом. Для України характерні значна густота населення та досить висока концентрація промислового та сільськогосподарського виробництва, тому варто здійснювати оперативний контроль екологічного стану екосистем, навантаження на які у

деяких регіонах перевищує екологічно допустимі межі, це ускладнюється негативним впливом на природу наслідків аварії на Чорнобильській атомній електростанції, а також загрозою проникнення токсикантів із системи вода у підземні води, які забезпечують водопостачання значної частини населених пунктів країни. Для вирішення актуальних задач раціонального природокористування необхідно створити сучасні засоби для отримання оперативної інформації про стан геосистем України. Найбільш ефективними методами оперативного контролю геоecологічного стану є аерокосмічні методи зондування Землі в різних спектральних діапазонах. Сучасний рівень розвитку засобів дистанційного зондування Землі дозволяє отримати дані про параметри суші та води з необхідними просторовими елементами розрізнення та періодичністю поновлення інформації. Досвід експлуатації природо-ресурсних штучних супутників Землі показав перспективність та ефективність застосування методів дистанційного зондування Землі. Як свідчить практика, найкращі результати досягаються за умови комплексного, синхронного проведення космічних та наземних досліджень, коли результати наземних вимірювань екстраполюються на картосхеми, одержані на основі космічних знімків. Геоecологічне дешифрування матеріалів сучасних багатозональних космічних зйомок та їх інтерпретація з геолого-картографічними даними на урбанізовані території з небезпечними геологічними процесами дозволяють оцінити та прогнозувати розвиток цих процесів. Створені цифрові шари об'єктів екологічного моніторингу дозволяють порівнювати та співставляти дані про характеристики екологічного стану, отримані у результаті вимірювань або спостережень.

Дані заносяться у відповідні поля атрибутивної таблиці та можуть використовуватись для автоматизованого опрацювання. Можна виділити такі джерела отримання даних за способом збору та наповнення атрибутивних таблиць геоінформаційних систем:

- пошук та впорядкування наявних даних;

– накопичення даних під час виконання незалежних досліджень, у цьому разі важливо наперед узгодити формат подання даних (особливо для таких характеристик, опис яких недостатньо формалізований);

– автоматизований збір даних з використанням серверних функцій, під час такого способу накопичення та архівування інформації необхідно розробляти спеціальне програмне забезпечення для перетворення даних у формат, прийнятний для використання в геоінформаційних системах.

Вибір формату подання даних є важливим у системах, що інтегрують різномірну інформацію з різних джерел. У перших двох випадках доцільно використовувати прикладні програми загального призначення з пакету MS Office: Access для формування персональних баз даних та Excel для створення електронних таблиць. Дані цих форматів можна легко включити в атрибутивні таблиці відповідних шарів геоінформаційних систем, наприклад, з подальшим їх розпізнаванням у системі «ArcGIS». Найбільші обсяги неперервного відбору даних за достатньою надійністю забезпечують технології автоматизованої реєстрації даних. Наприклад, супутниковий знімок Європи, який поновлюється щогодини, розміщено у мережі «Internet». Зображення періодично одержують за програмою, яку запускає системна служба сервера «Cron», за цими знімками відслідковують динаміку переміщення повітряних мас, що необхідно, наприклад, для вивчення процесів перенесення забруднень, дослідження та прогнозування шляхів та періоду міграції птахів. У автоматичному режимі одержують також результати вимірювання характеристик стану ґрунту. Дані у текстовому форматі передаються щогодини на визначений FTP-сервер за протоколом GPRS, використовуючи послуги оператора мобільного зв'язку. Важливим аспектом забезпечення сталого розвитку нашої держави є моніторинг довкілля, який повинен бути підтриманий на державному рівні, такий моніторинг дасть змогу мати актуальну інформацію про стан навколишнього середовища України, оперативно реагувати на його зміну та прогнозувати його стан на майбутнє.

Реалізація такого моніторингу потребує організації відповідної структури із забезпеченням її потрібним просторовим інформаційним матеріалом, програмним забезпеченням та висококваліфікованими фахівцями. Наведені результати свідчать про наявність ряду особливостей, характерних для аерокосмічного моніторингу як системи оцінювання та прогнозування майбутнього стану довкілля. Ці особливості, як правило, зумовлені необхідністю відображення різнорідних екологічних чинників, для кожного з яких існують специфічні методи реєстрації, відбору, класифікації та подання даних. Слід зазначити, що топографічну основу необхідно створювати на основі декількох джерел (топографічні, космознімки, плани земельних ділянок, польові дослідження), які містять взаємно доповнювальні дані про об'єкти екологічного моніторингу. Для узгодження розташування об'єктів на місцевості за допомогою незалежного GPS-приймача слід проводити вимірювання положення характерних точок (перетин доріг, мости), які легко розпізнаються на растрових зображеннях. Такий підхід дозволяє найповніше відобразити особливості досліджуваної території, а також виявити неточності в наявних даних. Важливим джерелом інформації про стан екосистем є дані дистанційного зондування Землі. Результати класифікацій космознімків територій за допомогою таких програм як «ENVI», «ERDAS» «IMAGINE» використовують для уточнення геометричних параметрів ряду об'єктів екологічного моніторингу. Важливою ланкою є цифрові карти, доповнені атрибутивними даними з таксаційними описами кварталів. Структурування описових даних та прив'язка їх до об'єктів геоінформаційних систем дозволяє розв'язувати ряд практичних господарських та екологічних задач. Під моделлю розуміють будь-який образ (зображення, опис, схема, креслення, графік, план, карта) якого-небудь об'єкта, процесу або явища.

Моделювання – це дослідження об'єктів пізнання на їх моделях. Моделювання передбачає побудову та вивчення моделей реально існуючих предметів, явищ та об'єктів для визначення або поліпшення їх характеристик. Математична модель – це модель об'єкта, процесу або явища, що є математичною закономірністю, за допомогою якої описані основні характеристики

модельованого об'єкта, процесу або явища. Під картографічним моделюванням слід розуміти створення, аналіз та перетворення карт та їх систем як моделей об'єктів, явищ та процесів з метою отримання систематизованих та нових знань про реальний світ.

Загальні принципи моделювання та можливості карт, як моделей, дають змогу визначити специфічні принципи картографічного моделювання.

Саліщев К. О. визначив три основні принципи:

- принцип математичної формалізації забезпечує перехід від сферичної поверхні земної кулі до площини шляхом особливих картографічних проєкцій;
- принцип картографічної символізації, що базується на використанні систем умовних знаків;
- принцип картографічної генералізації, що знаходить застосування у відборі головного, суттєвого та його цілеспрямованого узагальнення відповідно до призначення, тематики та масштабу карти.

Берлянт О. М. додав до цих трьох ще принципи системності та історизму. Математико-картографічне моделювання використовує властивості математичних та картографічних моделей у процесі аналізу-синтезу складної просторово-часової інформації. Картографічна компонента продовжує та розвиває математичну модель. Картографічне подання математичних розрахунків дає змогу візуалізувати їх результати у вигляді, оптимальному для дослідження, позбавляє помилок та прорахунків, дає уявлення про точність математичного моделювання та його географічну вірогідність. Сполучене використання картографічних та математичних моделей збагатило ці види моделювання. Математичні поняття були модифіковані стосовно географо-картографічних понять та термінів, а математичний апарат був перетворений з урахуванням просторових властивостей карти. Математико-картографічне моделювання сформувалося на базі засобів та прийомів подання математичних моделей у картографічних знакових системах. Розвиток кількісних методів у науках про Землю показав, що головне обмеження багатьох математичних моделей пов'язане з їх недостатньою просторовою диференційованістю. Будь-

який показник або рівняння, які одержані для деякої території (ареалу, району), ще не дають уявлення про зміни цього показника чи рівняння від одного місця до іншого в межах даної області або району, проте, саме в цьому полягає сутність просторового аналізу об'єкта. Як зазначав Арманд Д. Л., важливо не лише одержати математичну модель, а й навчитися її картографічно подавати, відображаючи зміни математичних залежностей між об'єктами від одного місця до іншого, прив'язуючи їх до елементарних одиниць територіального поділу.

8.3 Прикладні аспекти використання даних дистанційного зондування для моніторингу територій

У математико-картографічному моделюванні з конструюванням порівняно простих моделей (ізолійних карт, картограм, картодіаграм) застосовують більш складні, які потребують багатьох перетворень математичних залежностей у картографічну форму та навпаки. Таким чином, математико-картографічне моделювання – це побудова та аналіз математичних моделей за даними, знятими з карт, а також створення нових похідних карт на основі математичних моделей. Для математико-картографічного моделювання характерно системне поєднання математичних та картографічних моделей, при якому утворюються:

– ланцюжки: «карта – математична модель – нова карта – нова математична модель і т. д.»;

– цикли та «дерева» перетворень – деревовидні комбінації, при яких на основі однієї математичної моделі створюється серія карт однієї тематики.

Отже, моделювання – це циклічний процес. Знання про досліджуваний об'єкт розширюються та уточнюються, а вихідна модель поступово вдосконалюється. Недоліки, що виявлені після першого циклу моделювання, зумовлені малим знанням об'єкта або помилками у побудові моделі, це можна виправити в наступних циклах. Математико-картографічне моделювання дозволяє розраховувати значення будь-якого показника або явища на всій досліджуваній території на основі дискретно-розподілених даних. З цією метою використовуються різні методи геостатистичного аналізу, в основі якого лежить

інтерполяція, екстраполяція, апроксимація даних та різні способи картографічного зображення, які засновані на класифікації даних.

Моделювання дозволяє на основі різних факторів здійснювати комплексну оцінку території для її придатності під певні поставлені завдання, проводити районування, ранжування та кластеризацію. Моделювання на основі різночасових даних дозволяє нам оцінити динаміку розвитку будь-якого явища та дати якісний прогноз.

Виокремлюють три різновиди моделей:

- математичні моделі, що будуються без врахування просторового координування явищ, результати реалізації яких не підлягають картографуванню;
- моделі, в яких результати картографують, але просторовий аспект не враховується на етапі реалізації математичних алгоритмів;
- моделі, в яких без врахування просторового положення явища неможливо реалізувати математичні розрахунки.

Соціоекосистема – це складна екосистема, що динамічно розвивається, складена з природних об'єктів, людського соціуму та об'єктів господарської діяльності людини. Основними питаннями, що розв'язуються під час моделювання соціоекосистем, є прогнозування та оптимізація природокористування, тобто охорона та використання ресурсів (біологічних, мінеральних, земельних, водяних, повітряних, енергетичних).

Саме цю задачу дозволяє вирішити математико-картографічне моделювання соціоекосистем. Теоретичні передумови виникнення методів математико-картографічного моделювання пов'язані з розвитком таких наук:

- кібернетика – загальна теорія керування, зв'язку та переробки інформації в кібернетичних системах різної природи, тобто в системах, що складаються з великої кількості взаємозалежних елементів, здатних сприймати, запам'ятовувати та переробляти інформацію, обмінюватися нею (електронно-обчислювальні машини, людський мозок, людський соціум);
- інформатика – загальна теорія структури та властивостей наукової інформації, а також організації збору, збереження, пошуку, переробки, перетворення, передачі та використання такої інформації;

– системологія – загальна теорія систем, до задач якої входить розробка математичного апарату опису систем (сукупностей взаємозалежних елементів) та встановлення ізоморфізму (аналогії) законів у різних галузях знань.

У рамках теорії систем математичний об'єкт, адекватний природній системі, це система пов'язаних між собою блоків диференціальних або інтегрально-диференціальних рівнянь, що описують динаміку окремих елементів, зв'язаних потоками інформації. Технічні передумови методів математико-картографічного моделювання. Через складність математичного апарату математико-картографічного моделювання, технічними передумовами його створення є наявність потужної комп'ютерної техніки та інформаційних систем, що дозволяють вирішувати найскладніші проблеми, які виникають при моделюванні соціоекосистем. Методологічні передумови розвитку методів математикокартографічного моделювання. На базі кібернетики, інформатики та загальної теорії систем виникло системне моделювання, зокрема, системне моделювання соціоекосистем, яке, у свою чергу, побудоване на основі системного підходу та системного аналізу.

Системний підхід – це розгляд складних, але цілісних за своєю суттю об'єктів як систем (тобто сукупностей взаємодіючих елементів), спрямований на виявлення та вивчення типів зв'язків між елементами системи та зведення їх у єдину теоретичну картину. Системний підхід базується на основному положенні загальної теорії систем, відповідно до якого будь-який достатньо складний об'єкт із великою кількістю внутрішніх зв'язків прагне структуруватися, тобто розділитися на підсистеми, що порівняно слабо взаємодіють одна з одною. Системний підхід реалізується шляхом застосування системного аналізу (сукупності методологічних засобів системного моделювання з метою прийняття рішень стосовно складних проблем соціального, політичного, екологічного характеру). Системний аналіз спирається на ряд математичних дисциплін та сучасних методів управління, його основна процедура полягає у побудові узагальненої моделі, що відображує структуру та динаміку взаємозв'язків у реальному об'єкті моделювання. Системний підхід та системний аналіз є

методологічними передумовами розвитку методів математико-картографічного моделювання.

Сучасна система моніторингу – це складний багатокомпонентний комплекс. У даний час окремі системи екологічного моніторингу об'єднують в єдину екологічну інформаційну систему. Інформаційні передумови методів математико-картографічного моделювання.

Метод математико-картографічного моделювання, незважаючи на наявність усіх передумов, неможливий без створення відповідної інформаційної бази – системи даних про значення контрольованих параметрів, прив'язаних до місцевості та часу, що одержують за допомогою стаціонарних, постійно діючих контрольних пунктів та виїзних (польових) лабораторій, які здійснюють періодичні та одноразові вимірювання, а також шляхом дистанційного зондування поверхні Землі за допомогою аерокосмічних апаратів. Поява дистанційного зондування поверхні Землі за допомогою аерокосмічних апаратів послужила поштовхом до розвитку методів математико-картографічного моделювання у таких науках, як географія та картографія, надалі ці методи були з успіхом застосовані в соціоекології. Спочатку моделі, що будувалися методами математико-картографічного моделювання, були двовимірними, однак, з розвитком комп'ютерної техніки з'явилися тривимірні математико-картографічні моделі.

Етапи математико-картографічного моделювання:

1. Створення концептуальної моделі. Ця модель відображає головні моменти, що повинні бути основою майбутньої моделі відповідно до мети дослідження. Вона визначає склад вхідних параметрів та обмежень, що вводяться в імітаційну модель.

2. Розробка пакету прикладних програм. Пакет прикладних програм для моделювання на електронно-обчислювальній машині створюється на основі концептуальної моделі.

3. Ретроспективний аналіз даних вимірювань. Проводиться ретроспективний аналіз даних комплексного вивчення території, матеріалів її дистанційного зондування аеродинамічними апаратами. На підставі такого

аналізу будуються синтетичні картографічні моделі, тобто пакети тематичних карт території. За допомогою спеціальних значків, градації кольору або штрихування, системи горизонталей ці карти відображують стан та просторовий розподіл досліджуваних систем. Застосовують такий типовий масштаб карт: – 1 : 200 000 для області; – 1 : 50 000 для району; – 1 : 5 000 для міста.

4. Формування бази даних. Інформація, яка подана у вигляді карт, кодується та переноситься в пам'ять електронно-обчислювальної машини у вигляді відповідної бази даних.

5. Створення машинних карт. Використовуючи пакет прикладних програм, експертна група створює машинні карти, з якими можна працювати у діалоговому режимі відповідно до можливостей програмного забезпечення.

Дані карти відбивають результати моделювання, вони можуть виводитися на екран монітора в заданий момент або у необхідній послідовності, трансформуватися в організаційно-господарські карти. Змінюючи вихідні параметри та імітуючи напрямок господарської діяльності, можна у реальному часі спостерігати можливі результати такої діяльності. Таким чином, шляхом підбору варіантів можливого використання можна оптимізувати природокористування у досліджуваній системі. Отже, можна створити єдиний інформаційний простір з єдиною нормативно-методичною базою, необхідною для проведення еколого-економічних експертиз, для оцінки та прогнозу стану території та здоров'я населення.

Завдання соціоекологічного моделювання:

- виявлення структури соціоекосистеми, особливостей функціонування структурних елементів та їх взаємозв'язків;
- визначення основних параметрів стійкості соціоекосистеми, а також оптимального стану соціоекологічних досліджень;
- визначення ступеня наближення (близькості) стану соціоекосистеми до критичної межі, що віддаляє гомеостаз від стану незворотного розпаду;
- прогноз розвитку соціоекосистеми при різних варіантах та стратегіях розвитку антропогенного втручання і антропогенної діяльності;

– визначення оптимальної функціональної структури досліджуваної соціоекосистеми (зокрема, оптимальне зонування території) та оптимального режиму природокористування;

– керівництво гармонійним розвитком соціоекосистеми.

Одна з головних властивостей соціоекосистеми – її прив'язаність до території. Звідси випливає потреба створення картографічних моделей, а тим більше математико-картографічних моделей, що відбивають просторово-часову мінливість соціоекосистеми. Соціоекосистему неможливо цілком формалізувати, тому комп'ютерне моделювання це найбільш реалістичне моделювання, оскільки воно допускає особисту участь людини в моделі, що працює в діалоговому режимі з електронно-обчислювальною машиною, та забезпечує її здатність довільно втручатися у хід розвитку моделі. У системі верхні інформаційні потоки несуть контрольну та зведену інформацію, локальні оцінки та прогнози, а нижчі – розпорядження, нормативно-методичне забезпечення управлінських рішень, глобальні оцінки та прогнози. Дані підсистеми забезпечують вирішення задач оцінки, аналізу та прогнозу і на цій основі підтримку прийняття рішень природоохоронних служб та адміністрацій. Таким чином, екоінформаційні системи повинні бути орієнтовані на комплексне використання результатів екологічного моніторингу, забезпечуючи перетворення первинних результатів вимірювань в форму, придатну для підтримки прийняття рішень, що сприяють сталому розвитку окремих регіонів та планети в цілому. У міру переходу від первинних результатів екологічного моніторингу до знань про стан навколишнього середовища, змінюються методи роботи з інформацією. У такій системі можна виділити рівні, орієнтовані на вирішення різних задач екологічного моніторингу та відрізняються за методами роботи з екологічною інформацією.

ТЕМА 9 ПРАКТИКА ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ, УПРАВЛІННЯ ТА МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РОЗВИТКУ

План

9.1 Застосування геоінформаційних технологій для вирішення питань управління земельно-майновими комплексами.

9.2 Геоінформаційні системи моніторингу використання земель.

9.3 Практика застосування геоінформаційних технологій для дослідницьких завдань.

9.1 Застосування геоінформаційних технологій для вирішення питань управління земельно-майновими комплексами

З точки зору інформаційних задач управління якістю навколишнього середовища основні проблеми полягають у такому:

– відсутній або ускладнений прогноз стану середовища міста залежно від дій суб'єктів та стану об'єктів управління;

– результати оцінки або прогнозу не доходять до тих, кому вони призначені або подані у тому вигляді, в якому адресат їх не сприймає.

Неефективна робота традиційних систем отримання, обробки та передачі інформації призводить до порушень у системах прийняття рішень та дій, що управляють. Ситуацію не можна виправити ні законодавчими, ні адміністративними заходами на етапі прийняття рішень без підвищення ефективності роботи міської інформаційної інфраструктури управління якістю навколишнього середовища. Щоб успішно управляти територією та раціонально розпоряджатися її ресурсами, потрібно добре уявляти собі узагальнені характеристики її стану та мати можливість оперативно та у наочній формі отримувати необхідні для прийняття рішень детальні відомості про об'єкти управління. Ця проблема вирішується таким чином. Створюють розподілену

інформаційну систему, в якій ієрархічна побудова відображає реальну адміністративну підлеглисть екологічних організацій, регламентує контроль та управляючий вплив.

Інформаційно-аналітична система екологічних служб міста – це розподілена інформаційна система, призначена для забезпечення засобами телекомунікації та математичного моделювання задач організації контролю, аналізу та прогнозу стану навколишнього середовища, а також на цій основі забезпечення задач управління якістю середовища.

Система багаторівнева та будується за ієрархічним принципом відповідно до реальної адміністративної та відомчої підпорядкованості екологічних організацій.

Елементи системи – це автоматизовані робочі місця екологів: на промислових підприємствах, в екологічних службах, в організації охорони здоров'я, в адміністрації міста та району. Кожне автоматизоване робоче місце еколога, з одного боку, повинне обслуговувати інтереси свого власника, з іншого боку, містити в собі властивості та функції, що відповідають корпоративним потребам відомчих, адміністративних та функціональних підсистем, до яких воно належить.

9.2 Геоінформаційні системи моніторингу використання земель

Необхідність обміну інформацією та передачі управлінських впливів об'єднує автоматизовані робочі місця екологів у цілісну загальноміську систему. Розподілена інформаційна система, в яку входять як природоохоронні, так і природокористувальні організації, дозволяє створити функціональні (предметні) інформаційно-аналітичні, експертні та прогностичні підсистеми:

- екологічного моніторингу повітряного та водного басейнів;
- моніторингу здоров'я жителів;
- прогностичні, довідкові та експертні підсистеми.

Підсистеми організуються за рахунок горизонтальних та перехресних або міжвідомчих зв'язків, а також дозволяють використовувати експертний та

модельно-прогностичний потенціал екологічних служб та науки. Об'єкти реального світу, які розглядає геоінформатика, відрізняються просторовими, часовими та тематичними характеристиками [9]. Просторові характеристики визначають положення об'єкта у визначеній системі координат, основна вимога до таких даних – точність.

Часові характеристики фіксують час дослідження об'єкта та суттєві зміни властивостей об'єкта із часом, основна вимога до таких даних – актуальність, що означає можливість їх використання для обробки.

Тематичні характеристики описують різні властивості об'єкта, у тому числі економічні, статистичні, технічні та інші властивості, основна вимога до таких даних – повнота. Для подання просторових об'єктів у геоінформаційних системах використовують просторові та атрибутивні типи даних.

Просторові дані – відомості, що характеризують місце розташування об'єктів у просторі відносно один одного та їх геометрію. Просторові об'єкти подають за допомогою таких графічних об'єктів: точка, лінія, полігон, поверхня. Опис об'єктів здійснюється шляхом показу координат об'єктів та їх складових.

Точкові об'єкти – це такі об'єкти, кожний з яких розташований тільки в одній точці простору, яка представлена парою координат X , Y . Залежно від масштабу картографування, такими об'єктами можуть бути дерево, будинок.

Лінійні об'єкти, подані як одномірні, що мають один параметр – довжину. Ширина об'єкта не зазначається у такому масштабі, наприклад, річка, межа та огорожа, горизонталь рельєфу.

Полігони – це об'єкти, що подані набором планових координат (X, Y) або набором об'єктів на зразок лінії, що являє собою замкнений контур [7]. Такими об'єктами можуть бути певні території, міста або цілі континенти.

Поверхні – це об'єкти, подані координатами X, Y, Z , де Z – значення висоти. Відновлення поверхонь здійснюється за допомогою використання математичних алгоритмів (інтерполяції та апроксимації). Додаткові непросторові дані про об'єкти утворюють набір атрибутів.

Атрибутивні дані – це якісні або кількісні характеристики просторових об'єктів, що виражаються, як правило, у буквено-цифровому вигляді. Прикладами таких даних є: географічні назви, видовий склад рослинності, характеристики ґрунтів, адреса будинків.

9.3 Практика застосування геоінформаційних технологій для дослідницьких завдань

Різні види картографічних матеріалів у вигляді електронних та цифрових карт широко використовуються при оперативному управлінні промисловістю, транспортом, сільським господарством, аналізі соціальних ресурсів, плануванні використання матеріальних та природних ресурсів, пошуку корисних копалин, моніторингу екологічної обстановки, прийнятті рішень у надзвичайних ситуаціях [8]. Засоби картографічного забезпечення дають можливість одержувати нові знання про Землю, місцевість, характеристики її елементів та об'єктів.

Цифрові карти створюють шляхом цифрування картографічних джерел, фотограмметричної обробки даних дистанційного зондування, цифрової реєстрації даних польових знімків. Цифрові карти є основою для виготовлення паперових, комп'ютерних, електронних карт, що входять до складу картографічних баз даних, є одним із найважливіших елементів інформаційного забезпечення геоінформаційних систем та можуть бути результатом їх функціонування.

Електронна карта – це картографічний матеріал, що є цифровими даними, у тому числі цифрові карти чи шари даних геоінформаційних систем.

Векторизація – переведення растрового зображення у векторне. Для більшості традиційних карт процес створення по них цифрової карти є інтерпретацією вихідного матеріалу, оскільки традиційні карти створювались без урахування того, що їх будуть цифрувати і, взагалі, використовувати в середовищі геоінформаційних систем [9]. Інтерпретація виникає у випадках цифрування об'єктів, які зафіксовані умовними позначками об'єктів, на які накладені зверху

умовні знаки чи підписи полігональних об'єктів, межі яких чітко не вказані на вихідній карті (квартали, які лежать на річці, дорога, яка пролягла через край озера). Під час збільшення масштабу вихідної карти число ситуацій, які потребують такої інтерпретації, має тенденцію до зменшення, але розробка таких ситуацій передбачає значні витрати. Вимоги до електронних та цифрових карт, які використовуються в геоінформаційних системах, впливають із переліку задач, що необхідно вирішити. Картографічний спосіб передачі інформації про місцевість має забезпечувати не тільки вивчення території країни та її регіонів, а і виконання розрахунків, моделювання ситуацій. Картографічні проекції, які використовуються під час створення карт, мають забезпечувати суцільне картографування окремих регіонів, а також максимально можливої для відображення на площині частини земної поверхні з мінімальними спотвореннями кутів, ліній та площ.

Масштабний ряд карт має забезпечувати відображення місцевості з деталізацією та точністю, необхідною для вирішення задач усіх користувачів.

Повнота інформації. Зміст карт має бути повним, достовірним, сучасним, точним та забезпечувати вирішення задач в інтересах багатьох користувачів. Повнота змісту карт означає, що на них мають бути зображені всі типові риси, характерні елементи та об'єкти місцевості.

Карти великого масштабу повинні містити всі елементи, об'єкти, підписи, що є на картах більш малого масштабу.

Вірогідність (правильність даних, зображених на карті у певний час) та сучасність (сучасний стан відображених об'єктів) карти означають, що зміст карти має відповідати стану місцевості на момент використання. Вимога точності карти (ступінь відповідності місцеположення об'єктів на карті їх місцеположенню у дійсності) полягає в тому, що зображені на ній об'єкти повинні зберігати точність свого місцеположення, геометричної подібності та розмірів відповідно до масштабу карти та її призначення.

Наочність. Ефективність передачі змісту карти, її читання та візуальна оцінка інформації про місцевість залежить від використаної системи засобів умовних знаків.

Основні вимоги, які висувуються до умовних знаків, такі:

- передача максимального обсягу інформації про зображені на картах об'єкти та явища мінімальною кількістю умовних знаків;
- досягнення найбільшої точності та вірогідності, наочності картографічного зображення та легкості його запам'ятовування;
- забезпечення автоматизованого зчитування, обробки та відтворення картографічного зображення.

Важливим засобом підвищення наочності картографічного зображення є кольорове оформлення, яке повинне сприяти максимальному розпізнаванню різних об'єктів на карті. Для створення електронних тематичних карт за допомогою геоінформаційних систем важливо вибрати відповідні способи картографічного зображення [8]. Класичні картографічні способи зображення відтворюються у геоінформаційних системах певними зображувальними засобами: діапазонами значень, стовпчиковими діаграмами, круговими діаграмами, градуйованими символами, точками, індивідуальними значеннями, поверхнями. За допомогою геоінформаційних систем можна створити тематичну карту за групою умов, що перекриваються, декількома засобами відображення, поданням різних тем різними стилями (полігон, лінійний, точковий об'єкт), будь-якою кількістю тематичних змінних.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про Загальнодержавну (Національну) космічну програму України на 2003–2007 роки [Електрон. ресурс] : Закон України від 01.01.2003 № 203-IV. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/203-15#Text>, вільний (дата звернення: 18.07.2023). – Назва з екрана.
2. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2017. – 237 с.
3. Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем / В. Д. Шипулін ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 312 с.
4. Методические указания к работе в обучающей системе “Представление ArcView GIS” / Под ред. В. Д. Шипулина. – Харьков: ХДАМГ, 2002. – 96 с.
5. Шипулін В. Д. Планування і управління ГІС-проектами : навч. посіб. / В. Д. Шипулін, Е. І. Кучеренко ; Харків. нац. акад. міськ. госп-ва ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНАМГ, 2009. – 158 с.
6. Frye C. A Product Driven Approach to Designing a Multi-Purpose MultiScale GIS Base Map Database that Supports High Quality Mapping / C. Frye // Proceedings of AutoCarto 2006. – Vancouver. – 17 p.
7. Oosterom P. van, 5D Data Modelling: Full Integration of 2D/3D Space, Time and Scale Dimension / P. van Oosterom, Stoter J. // Proceedings of GIScience. – Zurich, 2010. – 15 p.
8. Brewer C. A. Framing Guidelines for Multi-Scale Map Design Using Databases at Multiple Resolutions / C. A. Brewer, B. P. Buttenfield // Cartography and Geographic Information Science. – 2007. – № 34 (1). – P. 3–15.
9. Козаченко Т. І. Інтеграція функцій картографічного моделювання і ГІС-аналізу в геоінформаційних системах при суспільно-географічних дослідженнях / Т. І. Козаченко // Укр. геогр. журн. – 2004. – № 3. – С. 99–108.

Електронне навчальне видання

НЕСТЕРЕНКО Сергій Григорович,
АФАНАСЬЄВ Олександр Валерійович,
МИРОНЕНКО Марія Леонідівна

**СУЧАСНІ ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ В ДОСЛІДЖЕННІ ТЕРИТОРІЙ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності
193 – Геодезія та землеустрій)*

Відповідальний за випуск *С. Г. Нестеренко*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *О. В. Афанасьєв*

План 2023, поз. 182Л

Підп. до друку 20.07.2023. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 7,4.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.