

Лабораторна робота 8 ПОШУК ОБ'ЄКТІВ НА МУЛЬТИ-СПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

8.1. Мета роботи

Вивчити основні засоби та методи дистанційного зондування землі, типи та властивості електромагнітних хвиль.

Дослідити можливість пошуку рослинності та шляхів на мульти-спектральних зображеннях в системі MatLab.

8.2. Основні теоретичні відомості

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) – це спостереження і вимір енергетичних і поляризаційних характеристик власного і відбитого випромінювання елементів суші, океану і атмосфери Землі в різних діапазонах електромагнітних хвиль, що сприяють опису місцезнаходження, характеру і тимчасової мінливості природних параметрів і явищ, природних ресурсів Землі, навколишнього середовища, а також антропогенних об'єктів і утворень.

Дистанційне зондування землі дає можливість:

1. Розпізнати рисунок/шаблон, який невидимий з землі;
2. Загальний огляд місцевості;
3. Зібрати шифри з великих територій за короткий час;
4. Зібрати інформацію з високою рентабельністю;
5. Збирати інформацію з важкодоступних місць;
6. Заміни типових джерел інформації (топографічні карти).

В свою чергу, ДЗЗ застосовується у засобах зв'язку, картографії, метеорології, синоптиці, геології, гідрології, географічних науках, лісівництві, сільському господарстві, землекористуванні та землепорядженні, глобальному природоохоронному моніторингу, військовій справі, політиці тощо.

Електромагнітні випромінювання, які відбиваються або випромінюються об'єктами зазвичай є джерелами даних ДЗЗ. Пристрій, що управляє електромагнітним випромінюванням, відбитим або випромінюваним об'єктом, називається «датчик», «дистанційний датчик». Камери та сканери є прикладами таких датчиків. Конструкція, на якій датчик розташований – платформа. Літаки та супутники використовуються в якості платформи. Приклад ДЗЗ зі спеціальним обладнанням та фізичні процеси, що при цьому відбуваються (відбиття, випромінювання), представлені на рисунку 8.1.

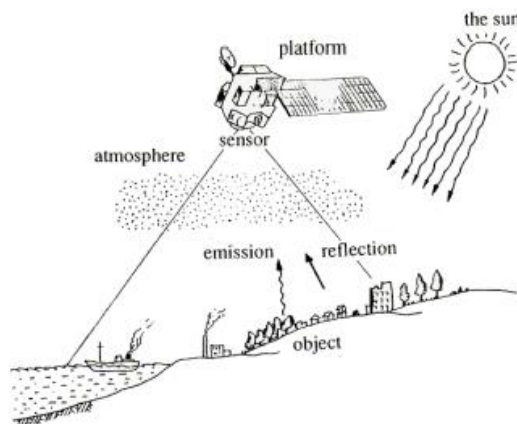


Рисунок 8.1

Кожен об'єкт має унікальні характеристики відбиття або випромінювання (рис.8.2).

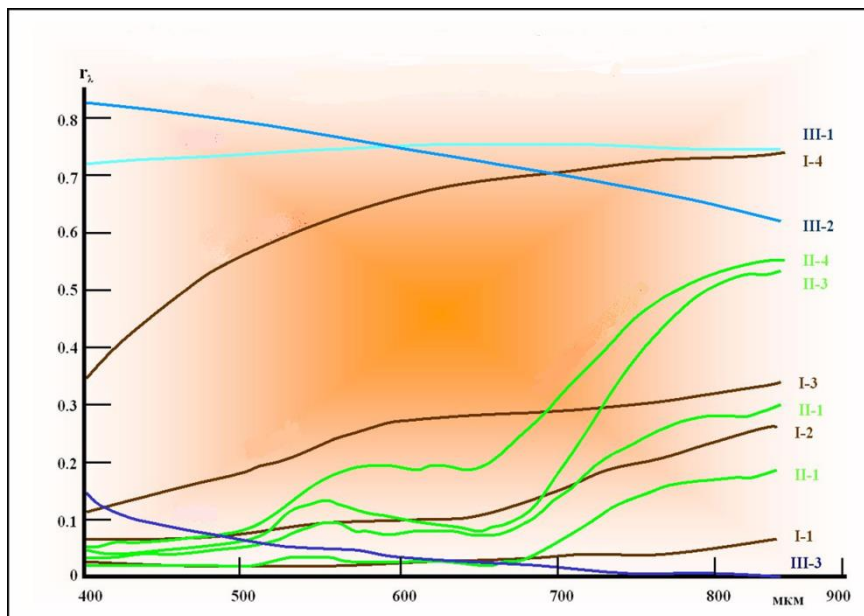


Рисунок 8.2 – Спектральна відбивна здатність природних об'єктів:

I-1, I-2 – земля, I-3 – пісок, I-4 – вапняк; II-1, II-2, II-3, II-4 – рослинність; III-1 – лід, III-2 – сніг, III-3 – вода

Найпростіше уявлення про спектр можна отримати, дивлячись на веселку або на кольорні переливи на доріжках лазерного диска. Білий світ, переломлюючись у крапельках води, утворює веселку, оскільки як він складається з безлічі променів усіх кольорів, які переломлюються по-різному: червоні – слабше всього, сині і фіолетові – найсильніше. Саме сині промені, розсіюючись, надають небу його колір. Веселка – це розкладене на кольори світло Сонця, його спектр. Астрономи досліджують спектри Сонця, зірок, планет, комет, оскільки за спектрами можна отримати багато інформації.

У самому простому випадку, спектр можна отримати наступним чином. Світло пропускають крізь вузьку щілину, за якою стоїть призма, що переломлює світло, за призмою – екран або око спостерігача. Якщо джерело світла випромінює світло всіх довжин хвиль, спектр виглядає як безперервна смуга, що плавно змінює свій колір від одного краю до іншого – від червоного кольору до фіолетового. Ця смуга – незліченна низка зображень щілини, через яку пройшло світло, по-різному відхилене призмою. Такий вид спектра називається безперервним. Лампа розжарювання має такий спектр. Якщо випарувати маленьку частинку речовини, потім нагріти, щоб цей газ світився, і отримати спектр такого світла, то буде не суцільна смуга, а набір окремих ліній (зображень щілини), які відповідають певним довжинах хвиль. Кожній речовині відповідає свій і тільки свій набір таких ліній. По їх набору можна визначити, яка речовина випромінює світло.

На цьому принципі заснований спектроскопічний хімічний аналіз. Якщо речовина, наприклад, складається з суміші газів кисню та азоту, то в спектрі цього газу будуть тільки лінії, властиві кисню і азоту. Такий вид спектру називається лінійчатим спектром випромінювання (наприклад, світло ртутної лампи). Лінії в спектрах елементів і речовин мають свої позначення, наприклад Альфа-лінія в спектрі водню. Це червона лінія, в променях відповідної довжини хвилі активно вивчає водень газопилових хмар. Холодний же газ не випромінює світло, а поглинає, причому, тільки світло тих довжин хвиль, які притаманні цьому газу, тобто саме тих, ліній яких можна було побачити в його спектрі випромінювання. Якщо між спостерігачем і джерелом, що дає неперервний спектр, помістити холодний газ, то на тлі безперервного спектру буде видно ряд темних ліній – ліній поглинання.

Так само як за спектрами випромінювання, за таким спектрами можна дізнатися про хімічний склад газу, тільки вже холодного. За інтенсивністю ліній у спектрі випромінювання та ступеня темряви ліній у спектрі поглинання можна судити про кількість тієї речовини, якій притаманні ці лінії. Всі зірки, з ряду причин, спочатку випускають безперервний спектр,

але в більш холодних зоряних атмосферах світло частково поглинається, і спектр зірок виходить у вигляді безперервного з лініями поглинання – лінійного спектра поглинання. За цими спектрами астрономи дізнаються про хімічний склад зірок. Сонячне світло, спектр якого добре вивчений, відбивається від атмосфер і поверхонь планет, зазнаючи в них часткове поглинання. По змінам в спектрі відбитого планетою світла в порівнянні з сонячним судять про хімічний склад атмосфер планет і їх поверхонь. За спектрами судять про хімічний склад хвостів і ядер комет, поверхонь тіл Сонячної системи, хмар міжзоряних пилу і газу.

Спектр дозволяє визначити і температури небесних тіл. При різних температурах потужність світлового випромінювання по-різному розподіляється по довжині спектра. Чим поверхня зірки холодніше, тим більше максимум її випромінювання зсувається до області червоного світла, і навпаки. За температурним принципом спектри зірок розділені на кілька типів - спектральних класів.

Сонце відносять до спектрального класу G2, Сіріус - до A1. Іноді класифікацію спектрів ускладнюють додаванням ще й римської цифри. Це пов'язано з непомітними на перший погляд відмінностями в інтенсивності окремих ліній у спектрах зірок з одним і тим же спектральним класом. Ці відмінності дозволяють визначити розміри зірок. Наприклад, спектри червоного гіганта і червоного карлика з однією і тією ж температурою будуть відрізнятися товщиною деяких ліній поглинання. Ефект Доплера викликає синє або червоне зміщення темних ліній в спектрі. Червоне світло відповідає великим довжинам хвиль, синє – коротким.

У разі наближення до нас об'єкта, що світиться, світлові хвилі коротшають (зірка стає більш синьою), у разі віддалення – світлові хвилі подовжуються (зірка стає більш червоною). Едвін Хаббл вивів емпіричну (дослідну) залежність швидкості видалення галактик від відстані до них. Чим далі від нас знаходиться галактика, тим більше червоний зсув в її спектрі, тим швидше вона віддаляється від нас. Вивчаючи спектри і червоне зміщення далеких галактик, астрономи дізнаються відстані до них. Для далеких зоряних систем – це майже єдиний спосіб на сьогодні. З тих же зсувів визначається швидкість зірок і спрямування їх руху – до нас або від нас. Швидкість обертання зірок теж відома нам завдяки спектрам. Діаметрально протилежні частини зірок рухаються в протилежних напрямках, що відбивається на лініях в спектрі – вони стають товще. За товщиною ліній і визначається швидкість обертання: чим товще, тим швидше.

За коливанням ліній спектру можна визначити наявність планет у зірки. Якщо лінії в спектрі роздвоюються і здійснюють періодичні коливання, це може означати, що зірка є подвійною. Якщо подвійність такий пари не помітна в телескоп, такі зірки називають спектроскопічно-подвійними. Прилади для фотографування спектрів називаються спектрографами. Їх замість окуляра використовують з телескопами. Прилади, які безпосередньо дозволяють оку бачити спектр, називаються спектроскопами. Прилади, які проводять вимірювання спектра, називають спектрометрами.

Видиме світло – лише мала частина величезного світу електромагнітних хвиль. Ці хвилі породжуються атомами всіх хімічних елементів. Електромагнітне випромінювання переноситься за допомогою фотонів – частинок, які є мінімальною кількістю випромінювання.

Фотони несуться зі швидкістю світла, ці частинки не мають маси. Фотону, як частинці, властива деяка енергія. З іншого боку, кожному фотону можна приписати довжину хвилі або частоту відповідного випромінювання. Будь-яка з трьох названих величин однозначно задає характеристику фотона – річкова хвиля. Він рухається з деякою швидкістю, а разом з нею рухаються всі зміни в рівні води: гребені і западини, відстань між якими є однаковою. Світлова хвиля, як і будь-яка електромагнітна, рухається зі швидкістю світла – 300 000 км в секунду. Разом з електромагнітною хвилею рухаються перепади напруг електричних і магнітних полів, спочатку породжених певним атомом.

Типи та властивості електромагнітних хвиль:

Їх властивості різні. Ці властивості залежать від довжини хвилі випромінювання. Довжина хвилі світла дуже мала, і звичні для нас одиниці виміру не підійдуть. Часто у

відношення до електромагнітного випромінювання використовують одиницю Ангстрем (у фізиці скорочено позначається буквою А з кружечком вгорі.). Один Ангстрем дорівнює десятимілійонній частині міліметра. Все різноманіття довжин хвиль електромагнітного випромінювання розділено на шість видів, самим звичним з яких для нас є видиме світло.

Видиме світло (оптичне)

Діапазон довжин хвиль видимого світла знаходиться між 4000 А (фіолетовий колір) і 7000 А (червоний колір). Найважливішою характеристикою видимого випромінювання є його видимість для людського ока. Саме видимі промені електромагнітного випромінювання земна атмосфера пропускає найкраще. Сонце найбільш активно випромінює в видимих променях. Самими відчутними для ока є жовто-зелені промені. Спеціальне покриття на об'єктивах фотоапаратів і відеокамер, яке помітно по бузковому блиску, якраз призначено пропускати всередину апаратури жовто-зелене світло і відображати не настільки відчутні для ока промені. Тому блиск об'єктива і здається деякою сумішшю червоного і фіолетового. Видиме світло є лише малою частинкою всього електромагнітного спектру.

Інфрачервоне випромінювання (теплове)

Відомий вчений Вільям Гершель, проводячи вимірювання енергії різних променів видимого світла, випадково виявив, що використовувані ним термометри нагріваються і за межею червоного кінця спектра. Він зробив висновок, що існують деякі промені, які продовжують спектр за червоним світлом. Ці промені він назвав інфрачервоними. Їх також називають тепловими, оскільки інфрачервоні промені випромінює будь-яке нагріте тіло, навіть якщо воно не світиться для ока. Діапазон інфрачервоних хвиль знаходиться між 7000 А і 5 000 000 А. 5000000 А - це вже півміліметра. Отже, діапазон теплових променів набагато ширше, ніж видимий спектр.

Земна атмосфера пропускає зовсім невелику частину інфрачервоного випромінювання. Воно поглинається молекулами повітря, і особливо в цьому сприяє вуглекислий газ. Цей же газ винен у тому, що тепло не настільки охоче залишає нашу планету. Світлове випромінювання нагріває поверхню, та випромінює тепло, якому назад у космос вийти не вдається. Такий ефект називають парниковим. У космосі вуглекислого газу небагато, тому теплові промені з невеликими втратами проходять крізь пилові хмари. Саме завдяки інфрачервоному випромінюванню була отримана перша фотографія центру Галактики, який закритий від Землі газопиловими хмарами.

Радіохвилі

Ще більшу довжину мають радіохвилі. Всі електромагнітне випромінювання, довжина хвилі якого більше пів міліметра, відноситься до радіохвиль і це – довгохвильовий кінець електромагнітного спектра. Радіохвилі в значній мірі без проблем проходять крізь земну атмосферу, і лише деякі з них, які називають короткими, відбиваються від іонізованого шару земної атмосфери. Завдяки цьому відображенню можливий зв'язок між радіостанціями, розташованими на протилежних точках планети. Радіохвилі несильно поглинаються середовищем, тому вивчення Всесвіту в радіодіапазоні дуже інформативно для астрономів.

Ультрафіолетове випромінювання

Випромінювання, довжина хвилі якого коротше, ніж у видимих променів фіолетового кольору, називають ультрафіолетовим. Це випромінювання, здебільшого, шкідливо для живих організмів, однак в основному, ультрафіолет не проходить крізь атмосферу Землі. Виною тому є озоновий шар, який активно поглинає небезпечні промені. Та частина ультрафіолету, яка примикає до видимих променів, доходить до поверхні і викликає у засмагу. У чорношкірих цей загар генетично вроджений, адже засмага – захисна реакція шкіри на ультрафіолет.

Ультрафіолет, щедро і в усі сторони «розкидається» Сонцем. Але Сонце найсильніше випромінює в видимих променях. Навпаки, гарячі блакитні зірки – потужне джерело ультрафіолетового випромінювання. Саме це випромінювання нагріває і іонізує випромінюючі туманності, завдяки чому їх і бачимо. Ультрафіолет легко поглинається газовим середовищем і з далеких областей Галактики і Всесвіту майже до нас не доходить, якщо на шляху променів є газопилові перепони. Ультрафіолетом вважають електромагнітні хвилі з довжиною хвилі від 100 А до 7000 А.

Рентгенівське випромінювання

Фізик Рентген відкрив ще більш короткохвильове випромінювання. Ці промені назвали на честь самого Рентгена. Володіючи хорошою проникливою здатністю, рентгенівське випромінювання знайшло застосування в медицині і кристалографії. Рентгенівські промені шкідливі живим організмам. Атмосфера Землі через їх проникливість їм не перешкода. Магнітосфера Землі затримує багато небезпечні випромінювання космосу. В астрономії рентгенівські промені найчастіше згадуються в розмовах про чорні діри, нейтронні зірки і пульсари. При акреції речовини поблизу магнітних полюсів релятивістської зірки виділяється багато енергії, яка і випромінюється в рентгенівському діапазоні. Потужні спалахи на Сонці також є джерелами рентгенівського випромінювання. Довжини хвиль променів Рентгена знаходяться між 0,1 А і 100 А.

Гамма-випромінювання

Найкоротші хвилі (менше 0,1 А) у гамма-променів. Це найнебезпечніший вид радіоактивності, найнебезпечніше електромагнітне випромінювання. Енергія фотонів гамма-променів дуже висока, і їх випромінювання відбувається при деяких процесах усередині ядер атомів. Прикладом такого процесу може бути анігіляція – взаємознищення частинки і античастинки з перетворенням їх маси в енергію. Реєстровані, час від часу, таємничі гамма-спалахи на небі поки ніяк не пояснені астрономами. Ясно, що енергія явища, що виробляє спалаху, просто грандіозна. За деякими підрахунками, на секунди, які триває такий спалах, вона випромінює більше енергії, ніж весь інший Всесвіт. Гамма-випромінювання не пропускається до Землі її магнітосферою.

Електромагнітне випромінювання прийнято ділити по частотних діапазонах (табл. 8.1). Між діапазонами немає різких переходів, вони іноді перекриваються, а межі між ними умовні. Оскільки швидкість поширення випромінювання (у вакуумі) постійна, то частота його коливань жорстко пов'язана з довжиною хвилі у вакуумі.

Таблиця 8.1 – Частотні діапазони електромагнітних випромінювань

Назва діапазону		Довжина хвилі, λ	Частоти, ν	Джерела
Радіохвилі	Наддовгі	більше 10 км	менше 30 кГц	Атмосферні та магнітосферні явища. Радіозв'язок.
	Довгі	10 км — 1 км	30 кГц — 300 кГц	
	Середні	1 км — 100 м	300 кГц — 3 МГц	
	Короткі	100 м — 10 м	3 МГц — 30 МГц	
	Ультракороткі	10 м — 1 мм	30 МГц — 300 ГГц	
Інфрачервоне випромінювання		1 мм — 780 нм	300 ГГц — 429 ТГц	Випромінювання молекул і атомів при теплових та електричних впливах.
Видиме випромінювання		780—380 нм	429 ТГц — 750 ТГц	
Ультрафіолетове		380 — 10 нм	$7,5 \cdot 10^{14}$ Гц — $3 \cdot 10^{16}$ Гц	Випромінювання атомів під впливом прискорених електронів.
Рентгеновське		10 нм — 5 пм	$3 \cdot 10^{16}$ — $6 \cdot 10^{19}$ Гц	Атомні процеси при впливі прискорених заряджених частинок.
Гама		менше 5 пм	більше $6 \cdot 10^{19}$ Гц	Ядерні і космічні процеси, радіоактивний розпад.

Отже, з вище описаного зрозуміло, що фізичною основою дистанційного зондування Землі є спектр електромагнітних хвиль, які в залежності від довжини і частоти несуть неоднакову інформацію про об'єкти земної поверхні. Відповідно до фізичних характеристик хвиль використовують різну знімальну апаратуру, яка працює як у широких, так і вузьких діапазонах електромагнітних хвиль. Знімальні системи на космічних супутниках виконують багатозональне знімання в спектральних зонах 0,4–0,5; 0,5–0,6; 0,6–0,7; 0,7–0,8; 0,8–1,1; 1,5–1,7; 2,0–2,3 мкм. Для географічних досліджень використовують як з'єднані багатозональні зображення, так і зображення по кожному окремому каналі.

В даний час існує широкий клас систем ДЗЗ, що формують зображення досліджуваної підстильної поверхні. В рамках даного класу апаратури можна виділити кілька підкласів, що розрізняються за спектральному діапазону використовуваного електромагнітного випромінювання і за типом приймача реєстрованого випромінювання, а також за методом (активний чи пасивний) зондування:

- Фотографічні і фототелевізійні системи;
- Скануючі системи видимого і інфрачервоного діапазону (телевізійні оптико-механічні та оптико-електронні, скануючі радіометри та багатоспектральні сканери);
- Телевізійні оптичні системи;
- Радіолокаційні системи бічного огляду (РЛСБО);
- Скануючі СВЧ-радіометри.

Принципи ДЗЗ:

1. По визначенню ДЗЗ передбачається використання середовища, яке має інформацію об'єкта до датчику.
2. Зазвичай, електромагнітне випромінювання використовується в якості такого середовища.
3. В пасивних ДЗЗ, використовуються випромінювання від стороннього джерела.
4. В активних ДЗЗ, система сама є джерелом випромінювання.

8.3. Підготовка до роботи

Вивчити основні засоби та методи дистанційного зондування землі, типи та властивості електромагнітних хвиль.

Виконати попередній аналіз початкових даних індивідуального завдання (табл. 8.2) і розробити програму для виконання завдання. Згідно варіанту визначити необхідність імпортування шарів відповідно заданому об'єкту, враховуючи спектральну відбивну здатність природних об'єктів. При складанні програми рекомендується використовувати додатки 1 і 2. Зображення знаходиться в пакеті Image Processing Toolbox: рослинність визначити для 'paris.lan', шляхи визначити для 'tokyo.lan'.

Таблиця 8.2

№ варіанту	Об'єкт
1	рослинність
2	шляхи
3	рослинність
4	шляхи
5	рослинність
6	шляхи
7	рослинність
8	шляхи
9	рослинність
10	шляхи
11	рослинність
12	шляхи
13	рослинність

14	шляхи
15	рослинність
16	шляхи
17	рослинність
18	шляхи
19	рослинність
20	шляхи

8.4. Виконання роботи

1. Завантажити в оперативну пам'ять початкове мульти-спектральне відеозображення, задане викладачем.
2. Імпортувати мультиспектральні шари з файлу зображення. Це реалізує поліпшення мультиспектральних складових за допомогою декореляційного розтягування.
3. Зформувати інфрачервоне зображення. Таке формування необхідно для одержання деяких індивідуальних властивостей об'єктів.
4. Обчислити ознаки рослинності (шляхів) на основі проведення арифметичних операцій з MATLAB-масивом.
5. Виконати локалізацію рослинності (шляхів) – порогову обробку зображень: використовується порогова обробка ndvi-зображення для ідентифікації об'єктів на зображенні по можливим значенням пік селів, що їх представляють.

Примітки: Мультиспектральні зображення знаходяться в Matlab. Для програми до роботи, достатньо написати назву зображення.

Також можна провести дослідження з зображеннями 'mississippi.lan', 'rio.lan', 'montana.lan', 'littlecoriver.lan'.

8.5. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Завдання згідно свого варіанту.
3. Програма для виконання пошуку рослинності (шляхів) на мульти-спектральних зображеннях.
4. Результати роботи на основі використання програми з п. 3.
5. Висновки по роботі.

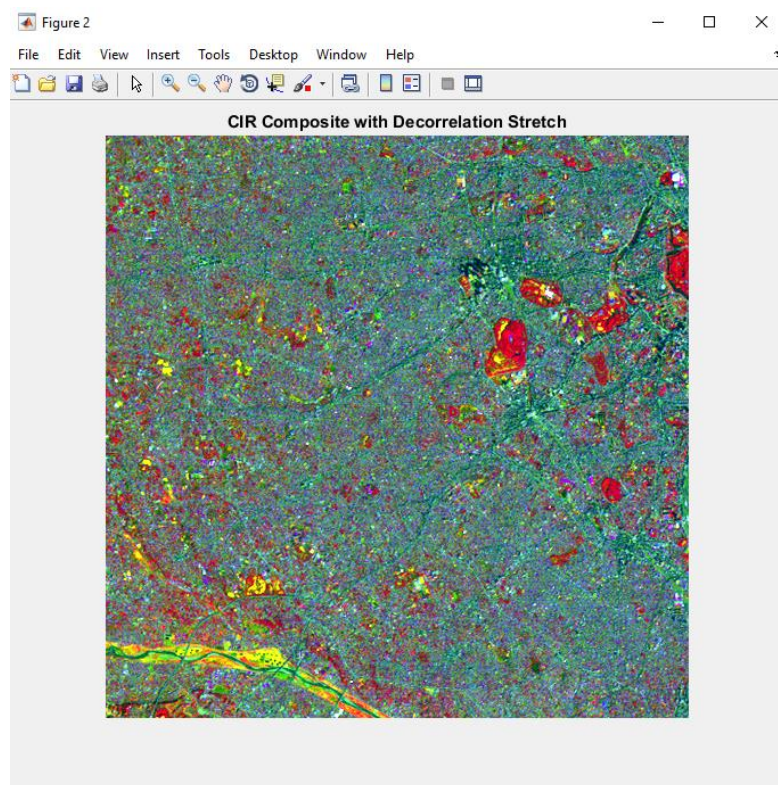
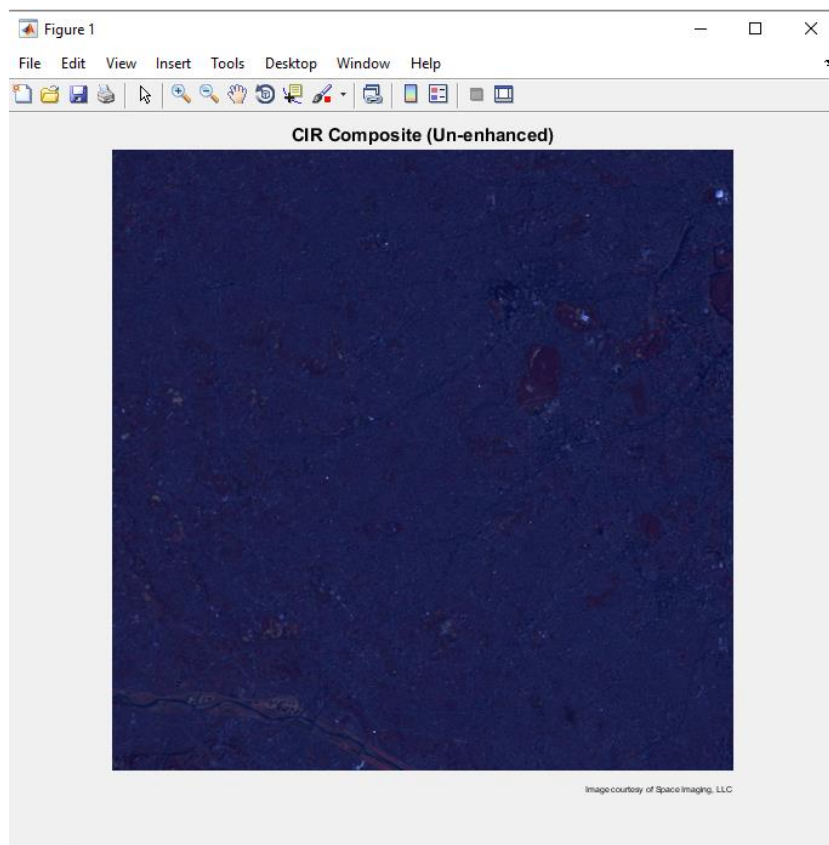
8.6. Контрольні запитання

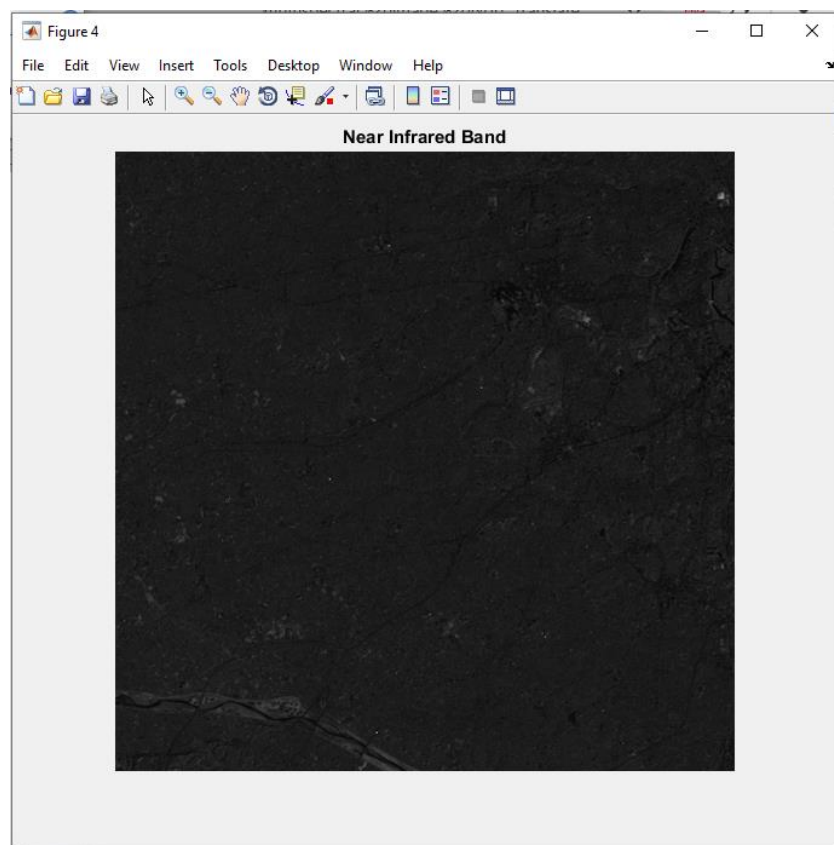
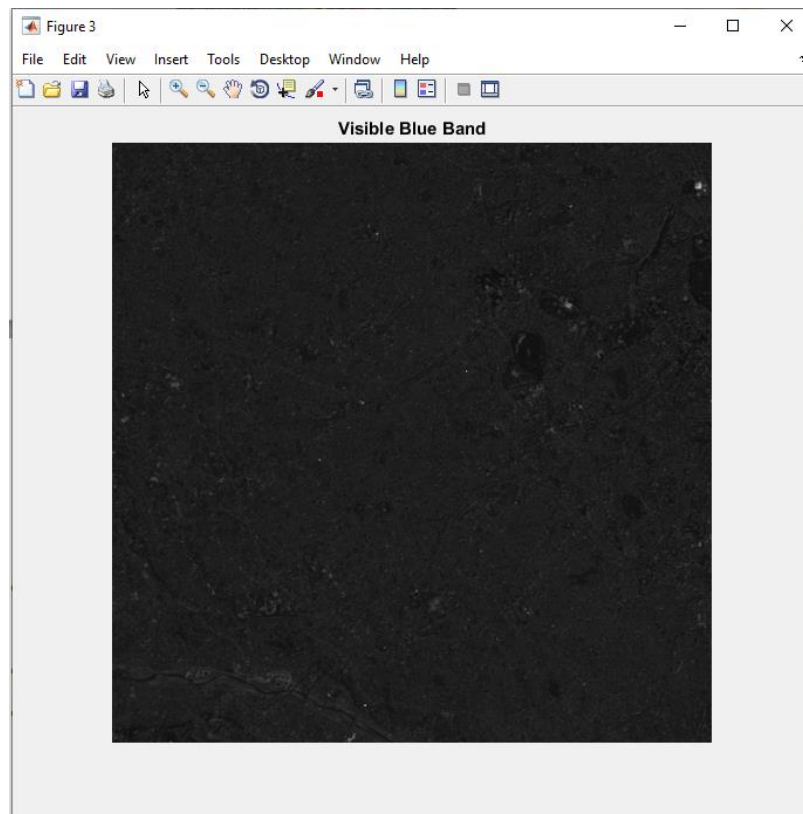
1. Що таке ДЗЗ?
2. Для чого необхідно ДЗЗ?
3. Що таке мульти-спектральне зображення?
4. Що таке спектральна відбивна здатність природних об'єктів?
5. Назвіть типи та властивості електромагнітних хвиль?
6. Назвіть основні частотні діапазони електромагнітних випромінювань?

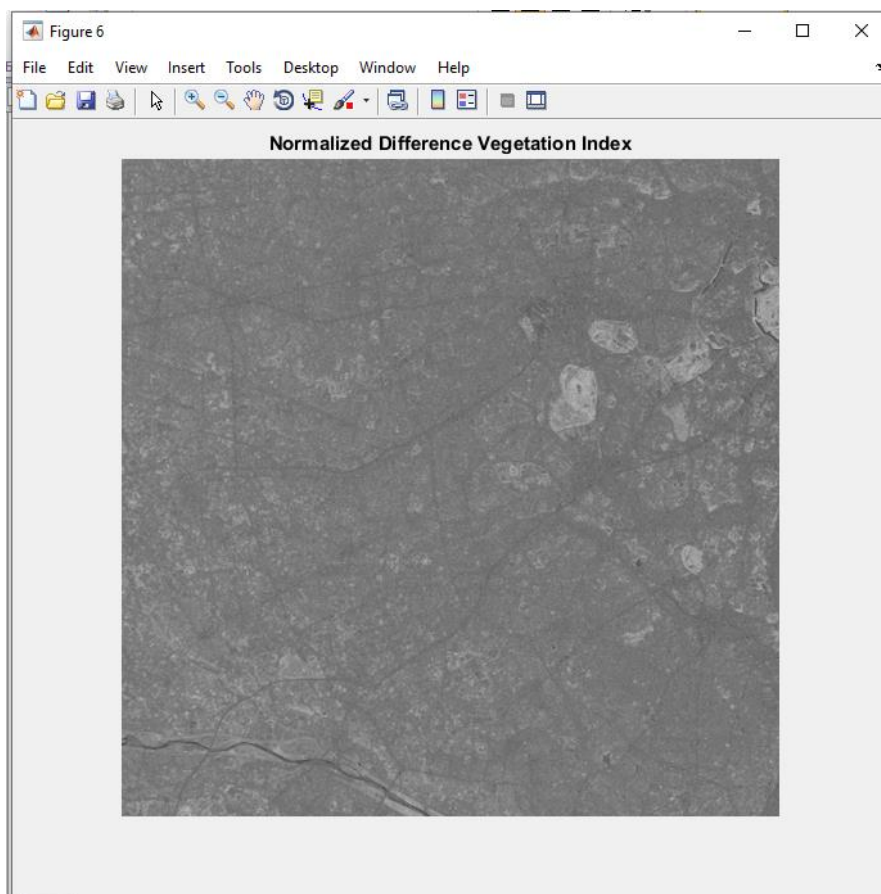
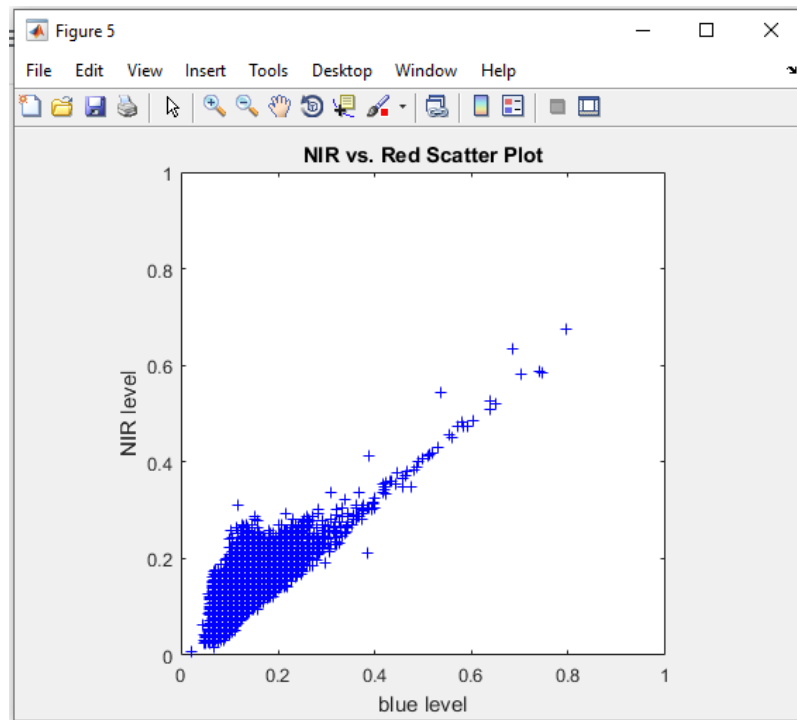
Визначте шляхи (дороги та річки) на багатоспектральному зображенні. Використовуйте мультиспектральне зображення tokyo.lan.

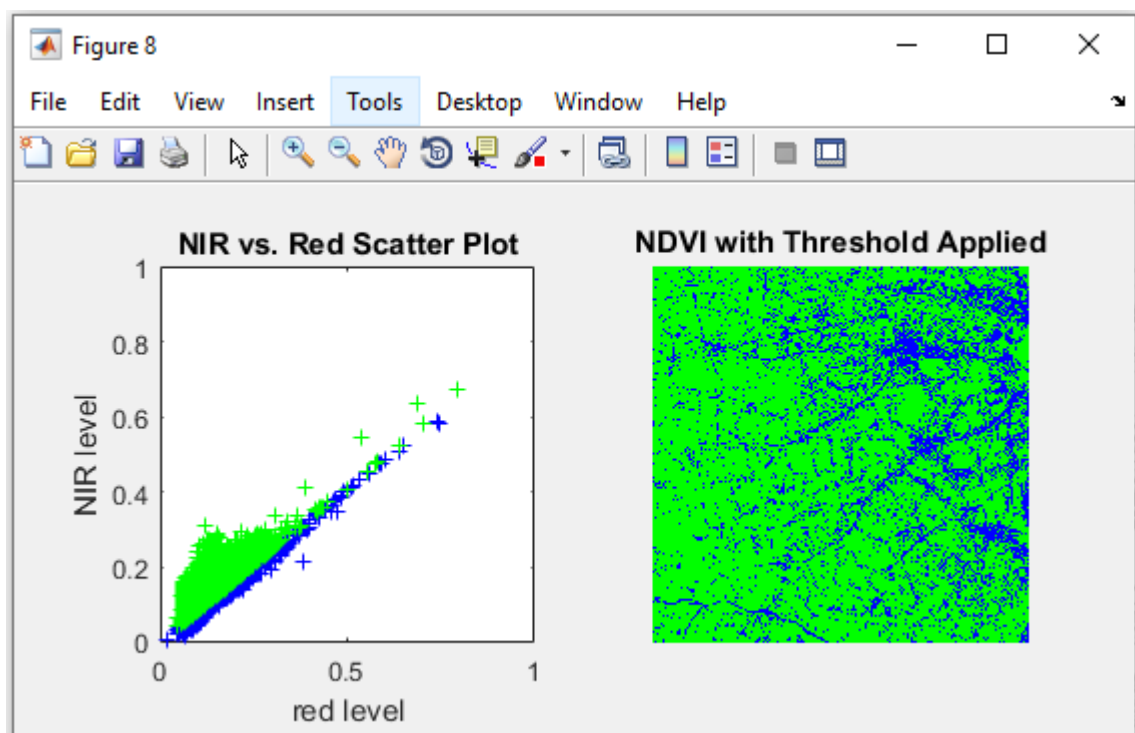
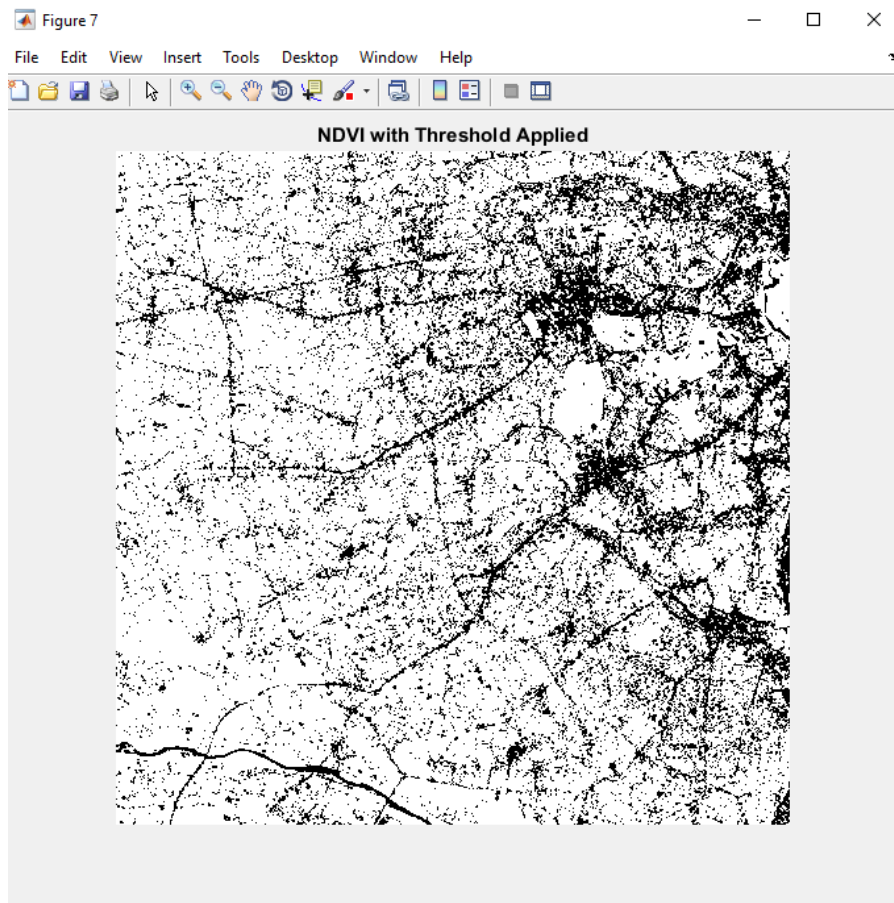
```
CIR = multibandread('tokyo.lan', [512, 512, 7], 'uint8=>uint8',...
    128, 'bil', 'ieee-le', {'Band', 'Direct', [4 3 1]});
figure, imshow(CIR)
title('CIR Composite (Un-enhanced)')
text(size(CIR,2), size(CIR,1) + 15,...
    'Image courtesy of Space Imaging, LLC',...
    'FontSize', 5, 'HorizontalAlignment', 'right')
decorrCIR = decorrstretch(CIR, 'Tol', 0.01);
figure, imshow(decorrCIR)
title('CIR Composite with Decorrelation Stretch')
NIR = im2single(CIR(:,:,1));
blue= im2single(CIR(:,:,2));
figure, imshow(blue)
title('Visible Blue Band')
figure
imshow(NIR)
title('Near Infrared Band')
figure, plot(blue, NIR, '+b')
set(gca, 'XLim', [0 1], 'XTick', 0:0.2:1,...
    'YLim', [0 1], 'YTick', 0:0.2:1);
axis square
xlabel('blue level')
ylabel('NIR level')
title('NIR vs. Red Scatter Plot')
ndvi = (NIR - blue) ./ (NIR + blue);
figure, imshow(ndvi, 'DisplayRange', [-1 1])
title('Normalized Difference Vegetation Index')
threshold = -0.1;
q = (ndvi > threshold);
figure, imshow(q)
title('NDVI with Threshold Applied')
% Creating an image with a characteristic ratio 12.
h = figure;
p = get(h, 'Position');
set(h, 'Position', [p(1,1:3), p(3)/2])
subplot(1,2,1)
% Creating a scattering schedule.
plot(blue, NIR, '+b')
hold on
plot(blue(q(:)), NIR(q(:)), 'g+')
set(gca, 'XLim', [0 1], 'YLim', [0 1])
axis square
xlabel('red level')
ylabel('NIR level')
title('NIR vs. Red Scatter Plot')
% NDVI image display.
subplot(1,2,2)
imshow(q)
set(h, 'Colormap', [0 0 1; 0 1 0])
title('NDVI with Threshold Applied')
```


Результати роботи програми









Визначте, об'єкти що випромінюють тепло (зелені насадження та техніка, кораблі) на багатоспектральному зображенні. Використовуйте мультиспектральне зображення paris.lan

```
CIR = multibandread('paris.lan', [512, 512, 7], 'uint8=>uint8', ...
    128, 'bil', 'ieee-le', {'Band', 'Direct', [4 3 2]});
figure, imshow(CIR)
title('CIR Composite (Un-enhanced)')
text(size(CIR,2), size(CIR,1) + 15, ...
    'Image courtesy of Space Imaging, LLC', ...
    'FontSize', 5, 'HorizontalAlignment', 'right')
decorrCIR = decorrstretch(CIR, 'Tol', 0.01);
figure, imshow(decorrCIR)
title('CIR Composite with Decorrelation Stretch')
NIR = im2single(CIR(:,:,1));
red = im2single(CIR(:,:,2));
figure, imshow(red)
title('Visible Red Band')
figure
imshow(NIR)
title('Near Infrared Band')
figure, plot(red, NIR, '+r')
set(gca, 'XLim', [0 1], 'XTick', 0:0.2:1, ...
    'YLim', [0 1], 'YTick', 0:0.2:1);
axis square
xlabel('red level')
ylabel('NIR level')
title('NIR vs. Red Scatter Plot')
ndvi = (NIR - red) ./ (NIR + red);
figure, imshow(ndvi, 'DisplayRange', [-1 1])
title('Normalized Difference Vegetation Index')
threshold = 0.1;
q = (ndvi > threshold);
figure, imshow(q)
title('NDVI with Threshold Applied')
% Creating an image with a characteristic ratio 12.
h = figure;
p = get(h, 'Position');
set(h, 'Position', [p(1,1:3), p(3)/2])
subplot(1,2,1)
% Creating a scattering schedule.
plot(red, NIR, '+r')
hold on
plot(red(q(:)), NIR(q(:)), 'g+')
set(gca, 'XLim', [0 1], 'YLim', [0 1])
axis square
xlabel('red level')
ylabel('NIR level')
title('NIR vs. Red Scatter Plot')
% NDVI image display.
subplot(1,2,2)
imshow(q)
set(h, 'Colormap', [0 1 0; 1 0 0])
title('NDVI with Threshold Applied')
```


Результати роботи програми

