

Зміст та основні принципи тематичної обробки даних аерокосмічних спостережень

Джерело:

Космічні системи дистанційного зондування землі подвійного призначення. / І.Д. Варламов, В.В. Зуйко, А.М. Козуб, Д.П. Пашков: Навчальний посібник. К.: НУОУ, 2015. – 204 с

2. Завдання та загальні принципи організації візуального дешифрування знімків.

Космічні зображення поверхні Землі чи інших планет Сонячної системи відносяться до складних зображень, з якими стикається людина, за умовами їх спостереження, параметрами реєстрації, номенклатури і складності задач, пов'язаних з їх обробкою в різних галузях народного господарства. Вирішення задач обробки космічних зображень здійснюється реалізацією певних методів.

Задачі обробки зображень складні і різноманітні. Деякі з них пов'язані з поліпшенням візуальної якості зображень, коли змінюється лише напівтоновий зміст останніх (задачі фільтрації перешкод, нелінійного перетворення яскравісної шкали, підкреслення контурів, компенсації розмивів, нанесення службової інформації і т.п.). Інші відносяться до геометричних перетворень космічних зображень, у ході яких міняється тільки координатний опис зображень (задачі компенсації погіршеностей, викликаних кривизною Землі, атмосферною ре- фракцією, оптичною дисторсією, деформацією магнітної плівки чи фотоплівки і т.п., а також задачі трансформування зображень, тобто перетворення зображень з похилих у горизонтальні чи одержання їх картографічних проєкцій). Усе це задачі попередньої обробки космічних зображень, хоча багато з них можуть мати і велике самостійне значення. Така обробка припускає в картографії виконання стереовимірів по знімках, що перекриваються, порівняння фото-зображень однієї і тієї ж місцевості, що відносяться до різних періодів часу, з метою відновлення карт, детального розпізнавання об'єктів штучного і природного походження, отриманих на знімках (топографічне дешифрування), і т.д.; у геоботаніці і ґрунтознавстві – упізнання складу, фенологічного розвитку і стану рослинності, оцінка складу і вологості ґрунтів, визначення структури землекористування (тематичне дешифрування) і т.п.; у гідрології – карто-графування річкової й озерної мережі, а також сніжного і льодового покриву, виявлення характеру плину і руслової діяльності рік у період між зйомками, термальну, мінералогічну і промислову характеристику вод, вивчення складу рік і озер під час повені, виявлення лавинної чи селевої небезпеки, тайфунів і т.п. Для рішення багатьох задач топографічного і тематичного дешифрування необхідне використання спектрометричних методів дистанційного зондування Землі.

Успіхи в галузях радіоелектроніки, авіаційної та космічної техніки дозволили значним чином підвищити якість першого аспекту космічного спостереження – безпосередньо процесу спостереження. Разом із цим з'явилися нові проблеми в іншому напрямку – оцінюванні стану об'єктів спостереження. Основною проблемою є невідповідність відомих методів і методик обробки аерокосмічних знімків, орієнтованих насамперед на використання фотома-теріалів та характеристик і специфічних властивостей нових засобів отримання, зберігання і представлення даних на основі цифрових технологій. Розв'язання цієї проблеми є метою багатьох фірм-розробників інструментальних прог-рамно-технічних засобів, призначених для обробки космічних знімків.

Сукупність відомих на сьогоднішній день засобів автоматизованої обробки зображень можна умовно поділити на дві категорії. До першої відносяться вузькоспеціалізовані, а до другої – універсальні програмно-технічні комплекси (ПТК).

Універсальні ПТК будуються, як правило, на основі геоінформаційних технологій з використанням найбільш сучасних, передових методів обробки інформації. Але, разом з цим, внаслідок занадто широких можливостей, які перекривають і суміжні галузі – картографію, геодезію, геологію, екологію та інше, – визначення та ефективне використання ПТК є досить складним. Крім того, зважаючи на високу ціну цих засобів, актуальним є питання вибору конфігурації ПТК, оптимальної з точки зору співвідношення ціни та якості.

Вузькоспеціалізовані ПТК призначені для максимально повної реалізації методів обробки аерокосмічних знімків, специфічних для конкретної тематичної галузі. Їх перевагами є легкість освоєння та використання, невисока вартість. Але, разом з цим, за допомогою вузькоспеціалізованих ПТК важко розв'язувати нетипові задачі обробки аерокосмічних знімків. Крім цього, вузькоспеціалізовані ПТК найчастіше не відносяться до розширюваних про-грамних систем і їх подальше вдосконалення та модернізація, з метою розширення функціональних можливостей, є досить проблематичним.

Апаратура та програмні засоби наземного інформаційного комплексу космічної системи спостереження повинні забезпечувати такі операції обробки інформації: радіоприйом, демодуляцію, декодування, декомутацію, реєстрацію, нормалізацію та тематичну обробку.

Прийом інформації полягає у просторовому та спектральному виділенні радіосигналів, які містять спеціальну інформацію та випромінюються бортовим радіопередавачем космічного апарата спостереження, наземними радіотехнічними засобами космічної системи.

Демодуляція полягає в перетворенні прийнятого радіосигналу на проміжній частоті з інформацією, що закодована у ньому методом кодово-імпульсної модуляції (КІМ) у послідовність відеоімпульсів, які поступають на апаратуру (програмно-технічні засоби) декодування.

Інформація надходить порціями – інформаційними кадрами. Кожен інформаційний кадр (ІК) містить службові та інформаційні слова, що несуть зображення, та їх паспорти. Задача апаратури декодування – на підставі контрольних сум, що містяться у службових словах (СС), виявити збої у прийнятій інформації та, по можливості, їх усунути на основі надмірного завадостійкого кодування інформаційного кадру. У випадку нормального відтворення ІК підлягає декодуванню для зняття засекреченого кодування. Після розсекречування інформаційний кадр перетворюється у апаратурі декомутації, де проходить розділення службових та інформаційних слів (ІС). Інформаційні слова поділяються на слова описання інформації (паспорти) та слова, що несуть зображення від різноманітних датчиків, каналів та смуг огляду. Апаратура декомутації розподіляє вхідний потік інформаційних слів на роздільні потоки для наступної обробки. Вона повинна здійснювати такі операції з потоком вхідної інформації: селекція та вибір спектральних каналів; вибір смуги огляду; суміщення інформації датчиків різного діапазону. При цьому кожному зображенню у паспорті додаються результати декодування і декомутації.

Вся інформація з виходу прийомно-демодулюючої системи надходить під час сеансу зв'язку на систему реєстрації та конвертування, основу якої складає високошвидкісна апаратура запису. У процесі запису здійснюється додаткове кодування, а при зчитуванні – декодування. В процесі запису та зчитування повідомлень необхідно виконати і ряд інших перетворень: зміна форми подання, розміщення по каналах та носіях і т. д.

Система **реєстрації** забезпечує:

1. Проміжну реєстрацію даних з виходу прийомно-демодулюючої системи на реєстраторах з високою щільністю запису.
2. Формування заголовків вхідної інформації.
3. Поканальне уведення у робочі станції конвертування.

Станції **конвертування** виконують:

1. Уточнення параметрів орбіт космічних апаратів по даних НАКУ.
2. Визначення параметрів характеристичних рівнянь первинних вимірювальних перетворювачів при зчитуванні та оцифровці відеоінформації з носія.
3. Формування паспортів знімків.
4. Автоматичне формування кадрів заданого формату з врахуванням характеристики апаратури конкретного космічного апарата.
5. Перезапис інформації на стандартні носії.
6. Передачу законвертованих кадрів на станції нормалізації.

Конвертування можна суміщати з **оперативним переглядом** інформації сеансу зв'язку з космічним апаратом. Оперативний перегляд здійснюється з метою вибірки кадрів недоцільних для подальшої обробки (із-за поганої видимості або із-за збоїв). Оперативний перегляд дозволяє запобігти подальшій обробці кадрів, які не містять корисної інформації.

Станції **нормалізації** виконують такі операції:

1. Геометричне корегування отриманих зображень.
2. Просторова прив'язка та картографічне трансформування знімків за паспортними даними.
3. Фотограмметрична обробка стереопар знімків.
4. Радіометричне корегування даних з урахуванням викривляючого впливу атмосфери.
5. Усунення імпульсних завад та збоїв.
6. Оформлення кадрів необхідними атрибутами (контрольна напівтонова шкала, мітки і т.п.).
7. Складення анотацій до даних.
8. Реєстрація нормалізованих даних на стандартних носіях.

Систематичні викривлення знімків корегуються за калібрувальними даними, що отримані при наземних випробуваннях знімальної апаратури або по даних, що виміряні у процесі зйомок на борту космічного апарата. Нерегулярні радіометричні викривлення приблизно виправляються на основі статистичних оцінок однорідності сигналів у сусідніх рядках сканування. Нерегулярні гео-метричні викривлення (у тому числі ті, які викликані рухами КА в процесі зйомок) оцінюються і виправляються з використанням траєкторних вимірів положення, орієнтації та швидкості польоту КА під час зйомки і по так званих опорних точках місцевості. Як опорні точки місцевості вибираються природні та штучні об'єкти земної поверхні, які легко виявляються на знімках та мапах місцевості, та для яких точно відомі геодезичні координати: перехрестя доріг, дамби, аеродроми, окремо стоячі будівлі і т. п.

Внаслідок нормалізації одиночних знімків створюються повністю чи частково виправлені (нормалізовані) знімки, які приведені до визначених картографічних проєкцій (ортознімків) та геодезичних координат земної поверхні.

Внаслідок корекції стереопар отримуються горизонтальні стереопари, приведені до геодезичних координат, що дозволяє сумістити відтворену по стереопарі цифрову модель рельєфу (ЦМР) місцевості з відповідною ланкою земної поверхні.

Знімки супроводжуються текстовими анотаціями про платформу-носії, зйомочну апаратуру, час та умови зйомки і т.д.

При повній корекції виправляються геометричні та радіометричні викривлення, при частковій тільки радіометричні викривлення та готуються дані необхідні для наступної геометричної корекції. Як правило реалізують декілька рівнів нормалізації від найпростішого радіометричного коригування, до якості ортознімку з тим, щоб замовник який вирішує конкретну задачу, міг вибрати рівень найбільш прийнятний по вартості, часу та точності подання даних.

На виході системи нормалізації відхилення фактичного положення кожного елемента кадру від його теоретичного положення не повинно перевищувати 0,5 кроку елемента. Радіометричні викривлення повинні коригуватися до кінцевої похибки не більше 0,5% від максимальної яскравості зображення.

Нормалізовані знімки направляються на **тематичну обробку**. В межах тематичної обробки можуть бути проведені такі операції:

1. Точна прив'язка та геометричне корегування і трансформування проєкцій, тобто: виконання підготовчих операцій (при цьому повинні бути отримані рівняння картографічного трансформування);

точна прив'язка зображень до опорних точок на місцевості та підвищення точності розташування елементів кадру;

обробка трансформованих з точністю просторової прив'язки зображень в задану картографічну проєкцію.

2. Точна радіометричне корегування, а саме:

підвищення абсолютної радіометричної точності зображення шляхом врахування даних калібрування спектральних каналів;

зменшення погрешностей в яскравості елементів зображення, що виникають із-за низької прозорості атмосфери (димки).

3. Покращення сприйняття зображень, тобто:

операції з покращення зображень (локальне контрастування, підкреслювання контурів, кольоросинтезування в псевдокольорах або не-справжніх кольорах, лінійна й нелінійна комбінація спектральних каналів, виділення ланок однорідної інтенсивності або кольору і т. п.);

перетворення зображень з метою підвищення ефективності їх візуального сприйняття (підкреслювання дрібних деталей, вирівнювання гістограм напівтонів).

4. Дешифрування (розпізнавання та класифікацію об'єктів) зображень.

Дешифрування здійснюється в декілька етапів. Спочатку проводиться перше термінове дешифрування знімків одразу після конвертування з наданням інформації 1 категорії. Після цього можуть бути проведені решта операцій. Потім знімки знову передаються на дешифрування для повторного детального аналізу з видачею інформації 2-ї, а може бути, і 3-ї категорії. При цьому час дешифрування збільшується приблизно на 20 і 40% відповідно, але й обсяг інформації зростає в 2–3 рази.

Для зручності вивчення методики процес дешифрування можна розділити на наступні етапи:

вивчення умов одержання зображення і підготовка матеріалів до дешифрування;

пошук складних об'єктів і визначення їх елементів, прив'язка до топографічної карти й орієнтування об'єктів;

визначення координат об'єктів;

упізнання простих об'єктів, оцінка й узагальнення його результатів;

визначення кількісних характеристик об'єктів;

оформлення результатів обробки у вигляді фрагментів чорно-білих та синтезованих у кольорі, графічних та текстових документів.

Перші три-чотири етапи дешифрування звичайно різко різняться між собою і виконуються послідовно, у процесі роботи можуть частково чи цілком вклинюватися в попередні, виконуватися в комплексі, складаючи єдиний склад-ний процес.

Для забезпечення обробки інформації апаратура і програмні засоби НІК виконують такі підготовчі операції:

- підготовку картографічної інформації у вигляді цифрових карт місцевості;
- підготовку інформаційної бази апріорної та тематичної обробки даних;
- швидкий пошук та вилучення з пам'яті зображень при повторному звертанні;
- контроль розподілу даних, захист від несанкціонованого доступу;
- компактне зберігання деяких категорій результуючих зображень.

Проаналізувавши потік операцій обробки можна згрупувати їх наступним чином:

1. **Прийом, демодуляція, декомутація, декодування, реєстрація** виконуються під час сеансу зв'язку з космічним апаратом спостереження.

2. **Оперативний перегляд та конвертування** виконуються одразу після сеансу зв'язку і являють собою **попередню** обробку зареєстрованої в сеансі інформації.

3. Етап **нормалізації** проходять усі придатні для обробки знімки. Звичайно усі одержані в сеансі знімки мають подібні викривлення тому часто техно-логічний потік нормалізації розробляється для всіх знімків сеансу однаковий.

4. **Тематична обробка** включає в себе точні прив'язку, геометричне корегування і трансформування проєкцій, точне радіометричне корегування, та покращення сприйняття знімків, дешифрування з метою вилучення цільової (тематичної) інформації та оформлення звітних документів. Обов'язково тема-тична обробка містить тільки дешифрування та оформлення звітних документів. Решта операцій проводять за потребою відповідно до цільового завдання.

Якщо тематичній обробці підлягає велика кількість знімків та потрібно провести для них однаково переддешифрувальну підготовку, то із тематичної обробки іноді виділяють етап валової обробки, який містить в собі всі операції переддешифрувальної підготовки знімків: точну прив'язку, точні геометричне корегування і трансформування проєкцій, точне радіометричне корегування та покращення сприйняття знімків.

До недавнього часу обробка космічних знімків проводилась за допомогою спеціальних приладів з участю людини-оператора. Але такий метод обробки потребує, поперше, значного часу на отримання інформації зі знімку, а по-друге, якість отриманої інформації залежить від якостей людини-оператора. Досвід використання матеріалів космічної зйомки останніх років показав, що для оперативного отримання інформації про місцевість обробка зображень повинна проводитися автоматично на ЕОМ за допомогою певних програмних засобів. Тому в нинішній час основним напрямком в обробці космічних знімків є максимальна її автоматизація.

Автоматичні методи обробки стереозображень. По зображеннях, що отримані з КА, складають цифрові карти місцевості. Для цього широко використовують методи стереознімання. Документи з оперативною ін форма-цією про місцевість можуть ефективно виготовлятися тільки при наявності цифрових даних про її. При цьому необхідно створювати автоматичні системи обробки отриманої інформації про місцевість, упроваджувати малогабаритну та надійну електронно-обчислювальну техніку. Саме автоматична обробка інфор-мації надає можливість в мінімальні строки отримувати необхідну інформацію в потрібному вигляді.

При автоматичній обробці стереозображень головною задачею є суміщення зображень стереопари з метою отримання значення паралакса для кожної точки одного із знімків. Одним із основних методів такої обробки є метод стереокореляції, при якому визначення точок на стереознімках, що відпо-відають одній і тій точці на місцевості, проводиться по максимуму функції взаємної кореляції ділянок на першому і другому знімках.

Для отримання координатної інформації про об'єкти, що відображені на космічному знімку, останні спочатку нормалізують, тобто, усувають перспективні та геометричні викривлення, приводять до одного масштабу та однієї проекції. Ці процедури можуть проводитися або по даних зовнішнього та внутрішнього орієнтування, або по реперних точках. У першому випадку точність проведення нормалізації знімків буде гірше, ніж у другому, тому що точність визначення координат реперних точок краща, ніж елементів зовнішнього орієнтування знімків. Крім того, в деяких випадках при відсутності даних про елементи зовнішнього орієнтування, а також про реперні точки для виконання процесу нормалізації необхідно спочатку знайти реперні точки на першому та другому знімках стереопари, точність визначення яких буде визначати точність проведення нормалізації і, в кінцевому рахунку, точність визначення координат об'єктів.

Застосування тривимірних моделей місцевості при обробці. Використання тривимірних моделей для дешифрування об'єктів значно спрощує роботу дешифрувальника, тому що маючи просторову модель легше виявити її ознаки ніж при використанні плоских зображень. Одним із способів отримання тривимірних зображень є стереофотозйомка. При стереозніманні вибраний об'єкт знімають з різних ракурсів та за рахунок різниці паралаксів відновлюють тривимірну модель знятого об'єкта за відомими формулами [28]. При використанні стереопари не завжди є можливість побудувати тривимірну модель, так як на лівому знімку стереопари можуть бути видимі частини об'єкта які відсутні на правому та навпаки. Для усунення цих недоліків можна використати інформацію з різних стереопар шляхом об'єднання даних. При використанні стереопар для побудови тривимірної моделі використовують точковий опис поверхонь. Теоретично при безмежному збільшенні кількості точок така модель забезпечує безперервну форму описання. Відомі системи, які автоматично розпізнають відповідні точки на знімках стереопари та відомими математичними методами відновлюють тривимірні координати об'єкту. Розглянутий підхід на практиці застосовують доволі рідко, що пов'язано з трудомістким процесом зняття даних про об'єкт, великими обчислювальними затратами та значним об'ємом вихідних даних для опису об'єкта. Для отримання тривимірної моделі при стереозніманні можна використати таку модель де об'єкт описується як сукупність плоских дифузно відбиваючих поверхонь, які визначаються за допомогою трійок характерних точок. Характерні точки складають в цілому "каркас" об'єкта.

Для покращення результатів дешифрування можливо використовувати модельний знімок для довільно заданої проекції (довільно заданих параметрів орієнтування). Такий модельний знімок може бути використаний для покращення ідентифікації точок об'єкта на реальному знімку.

Крім того модельний знімок може бути використаний для визначення можливості спостереження окремих характерних точок об'єкта.

Отримання та оброблення спектрональних та багатозональних знімків. Слабкі і сильні сторони космічної зйомки завжди враховувалися при проведенні

маскувальних заходів. Щоб сховати від космічного спостереження склад та побудову об'єкта, або створити неправильне уявлення про його, широко застосовується цілий комплекс засобів маскування (маскувальні покриття і сітки, дими й аерозолі, макети та імітаційна техніка). Наприклад, щоб зробити менш помітними аеродроми, на них імітуються дороги, посіви, під тло місцевості офарблюються злітно-посадочна смуга, доріжки і різні аеродромні споруди. Літаки на аеродромах і посадкових площадках розташовуються розосереджено. Вони камуфлюються під тло місцевості, ховаються під кронами дерев, покриваються спеціальними маскувальними сітками. Військові об'єкти, бойова техніка й особовий склад розміщуються в замаскованих укриттях. При правильному використанні засобів маскування обсяг інформації як чорно-білого, так і кольорового знімка виявляється недостатнім. Застосування панхроматичної зйомки принципово не може забезпечити достовірного виявлення всіх елементів ландшафту.

При панхроматичній зйомці фотоприймач є чутливим до всіх променів видимої зони спектра, тобто як би вимірюється відносна яскравість об'єктів у широкому діапазоні довжин хвиль (0,4 - 0,8 мкм). При цьому об'єкти, що мають однакову інтегральну яскравість, але різну кольоровість, наприклад, із синім чи з червоним відтінком, нерозрізнені [39, 40].

Для розкриття замаскованих об'єктів розроблені нові види космічної зйомки – спектральнозональні і багатозональні. Вони полягають у проведенні зйомки одночасно в декількох зонах спектра, у результаті виходить якісно нова, в порівнянні зі звичайною панхроматичною зйомкою, інформація.

При зйомці в областях спектра, що відповідають чутливості зорових рецепторів людського ока – синього, зеленого і червоного, виходить кольорове зображення об'єкта в природних кольорах. По цьому принципу побудована вся звичайна кольорова фотографія, що є аналогом триколірного людського зору і по своїх інформаційних характеристиках приблизно йому відповідає. Однак різке збільшення яскравості живих рослин в інфрачервоних променях оптичного спектра стало приводом до появи спектральнозональних методів зйомки, при яких один із фотоприймачів датчика зображення сприймає інфрачервоне випромінювання. Практика показала, що в більшості випадків спектральнозональна зйомка для дешифрування ефективніше звичайної кольорової. Спектральнозональна зйомка – це зйомка земної поверхні одночасно в різних спектральних зонах.

Зйомка земної поверхні в чотирьох і більшій кількості спектральних зон називається **багатозональною зйомкою**.

При спектральнозональній зйомці одержуване багатобарвне зображення є зображенням не в реальних, а в умовних кольорах. Передача кольору зображень в окремих спектральних ділянках повинна лише забезпечувати **максимум колірної контрасту**, а правильність її може бути порушена.

Традиційний вибір зон спектральної чутливості для багатозональної зйомки полягає у визначенні яскравісних (β_λ – спектральний коефіцієнт яскравості) і контрастних (K_λ – спектральний коефіцієнт контрасту) розходжень для різних довжин хвиль. Проведений [31, 75] аналіз показує, співвідношення яскравості листяних насаджень у літній період, трав'яних покривів з густою рослинністю і зеленою маскувальною сіткою міняється для різних довжин хвиль. Рослинність відрізняється підвищенням яскравості в зеленій області (0,55 мкм) і різким її збільшенням в області довжин хвиль більше 0,7 мкм. При цьому контраст може змінювати знак на протилежний. При зйомці в широкій області спектра ці

розходження усереднюються і згладжуються. Зони проти-лежних контрастів повинні бути реалізовані в різних каналах (при адитивному способі багатозональної зйомки). Таким чином, можна досить ефективно вибрати оптимальні характеристики для окремих конкретних задач при заданих спектральних яскравостях об'єктів і тла.

Для спектральної зйомки сучасними оптико-електронними засобами використовується адитивний спосіб. Він припускає одночасну зйомку в декількох зонах спектра. Поділ зон спектра здійснюється або застосуванням звичайного дисперсійного фільтра (для фіксації на широкодіапазонних фото-приймачах одного датчика), або застосуванням фотоприймачів з вузькими зонами спектральної чутливості в різних датчиках. Синтез кольорового і кольорокодованого зображень здійснюється з застосуванням ЕОМ на автома-тизованих робочих місцях обробки. Такий спосіб одержання кольорового зображення був названий адитивним через операцію додавання зображень, одержуваних у різних зонах спектра.

Після спектральної зйомки на два приймачі (один чуттєвий до видимої області спектра, а інший – до інфрачервоної), і наступного кольоро-синтезованого сполучення виходить кольоророздільне зображення. Зображення видимого діапазону подається в градаціях яскравості одного кольору (наприклад синього), а зображення інфрачервоного діапазону в градаціях іншо-го кольору, найбільш кольороконтрастного до першого (наприклад жовтого).

Така зйомка дуже інформативна для розпізнавання технічних об'єктів (техніки, будівель і ін.), пофарбованих у маскувальний колір, на тлі природного фарбування місцевості. У видимій області спектра маскувальне фарбування і фарбування місцевості мають приблизно однакові спектральні характеристики яскравості. У ближній інфрачервоній області штучні об'єкти, якщо їх температура вище, мають значно більше власне випромінювання, чим природні, і виглядають на їх тлі контрастно.

При спектральному фотографуванні зображення місцевості виходить у незвичних для ока контрастах. Змінюються форми об'єктів, прийняті за дешифрувальні ознаки. Щоб спектральної зйомка була більш ефективною, необхідно знати спектральні коефіцієнти яскравості всіх цікавих елементів місцевості, штучних об'єктів і об'єктів спостереження.

Одночасна зйомка в різних і досить вузьких спектральних діапазонах дозволяє збільшити інформативність знімків і вірогідність їх дешифрування. Така зйомка дозволяє виявляти фізико-хімічні і структурні властивості об'єктів.

У загальному випадку багатозональний знімок одержують у результаті зйомки одним багатооб'єктивним приладом чи комплектом синхронізованих датчиків з різними комбінаціями фотоприймачів і світлофільтрів, що дають зональні зображення в різних спектральних інтервалах.

При багатозональній зйомці одержують серію знімків, неідентичних по розподілу оптичних щільностей, що пов'язано з розходженнями у відбивній здатності об'єктів зйомки в різних зонах спектра.

Об'єкти спостереження мають різні спектри відображення. Якщо усю видиму область електромагнітного випромінювання розбити на декілька зон і через світлофільтри, що пропускають тільки визначену частину усього види-мого спектра, приймати випромінювання від будь-якого об'єкта, то інтенсивність і форма прийнятих сигналів виявляться різними. Маючи зображення земної поверхні в цьому діапазоні, можна по вимірах інтенсивності випромінювання від різних об'єктів визначити їх тип. Якщо взяти ще один діапазон хвиль і в ньому виміряти інтенсивність випромінювання від тих же

об'єктів, тоді випромінювальні і відбивні характеристики об'єктів, різних за своїми фізичними і біологічними властивостями, проявляться сильніше, різкіше і дозволять виявити наявні в них відмінності. Наприклад, рілля і посіви різних культур, зняті з космічних апаратів у декількох зонах спектра, зобразяться по-різному, виявившись на знімках зовсім різного кольору, відтінку і щільності. Так, у діапазонах (0,4-0,44 мкм), (0,62-0,66 мкм) виявилось можливим розрізнити такі категорії посівів, як жито, кукурудза, соя, люцерна й оголений ґрунт.

Виходячи з практичних розумінь найбільш доцільне створення трьох, чотирьох, і шестидіапазонних багатозональних датчиків. Для правильної фото-метричної обробки знімків у кожен кадр вставляється сенситометричний клин, що є еталоном яскравості зображень різних природних утворень. Геометрична корекція і точна взаємна прив'язка знімків на етапі нормалізації дозволяє одержати повністю ідентичні зображення у всіх каналах. Геометрична точність зображення, суворя паралельність оптичних осей всіх об'єктивів і можливість точного суміщення знімків, виконаних у різних спектральних каналах, дозволяє одержувати високоякісні кольоросинтезовані зображення.

Для обробки багатозональних знімків у сучасних системах застосовується спеціальне програмне забезпечення, що дозволяє суміщати цифрові образи декількох зображень (звичайно двох - чотирьох) з розфарбуванням кожного в різні кольори. У результаті виходить суміщене зображення в натуральних чи умовних кольорах, що може бути використане для візуального дешифрування.

Багатозональні знімки повинні відрізнятися високою фотограмметричною, спектральною і фотометричною якістю і забезпечувати можливість проведення всебічного аналізу відбитих об'єктів. Різноманіття об'єктів спостереження, що повинні розкриватися за матеріалами багатозональної зйомки, вимагає, щоб отримані в різних зонах спектра знімки відображали досить малі відмінності в абсолютних і відносних спектральних яскравостях відбитих об'єктів. Ці відмінності дозволяють визначити по знімках вид, стан, хімічний склад і інші особливості відбитих об'єктів. Саме можливість встановлення однозначної відповідності між природними і штучними об'єктами місцевості і їх спектральним випромінюванням відкрила широкі перспективи подальшого удосконалювання зйомки, автоматизації обробки одержуваних багатозональних знімків. Перехід до багатозональних знімків від зйомки в широкому діапазоні видимої області спектра приводить до істотного ускладнення знімальної апаратури. Багатозональний датчик практично повинний бути сполученням декількох синхронно працюючих датчиків.

Підвищення інформативності одержуваних знімків здійснюється шляхом підвищення розрізняювальної здатності системи об'єктив-фотоприймач, саме тому при створенні багатозональних датчиків важливо вирішити проблему підвищення розрізняювальної здатності одержаних знімків.

Багато вимог, висунутих до багатозональної апаратури, призначеної для космічної зйомки, є дуже суперечливими. Зйомка у вузьких зонах спектра вимагає використання фотоприймачів з високою чутливістю, однак це зажадає або збільшення площі елементарного фотоприймача, або зменшення товщини світлочутливого шару, або використання накопичення енергії за рахунок переносу зарядів у матричних фотоприймачах. Збільшення площі чутливого елемента погіршує розрізняювальну здатність одержуваних знімків. Зменшення товщини світлочутливого шару пов'язане з технологічними труднощами. Використання накопичення перенесенням висуває підвищені вимоги до точності синхронізації перенесення зарядів і руху КА. Помилки цієї синхронізації погіршують розрізняювальну здатність знімків.

Однією з вимог, висунутих до датчиків, є велика ширина смуги зйомки. У той же час, аналіз багатозональних знімків не дозволяє мати великі кути огляду, тому що зі збільшенням останніх значно змінюється освітленість по полю знімка, що утрудняє ідентифікацію об'єктів за спектральною ознакою.

Таким чином, сучасні методи обробки зображень спрямовані на найбільш-у автоматизацію з ціллю найменшого втручання оператора в процес обробки.

З моменту появи супутників з дослідження земної поверхні спостерігається процес стандартизації режимів роботи знімальної апаратури національних космічних систем, рівнів обробки зображень і форматів їх видачі. Деякі формати стали всесвітньо відомими й одержали статус міжнародних стандартів. Так, в усьому світі добре відомі формати ART і HRPT видачі інформації від американських метеорологічних супутників серії NOAA, що стали, по суті, міжнародними стандартами.

У Російському аерокосмічному агентстві стандартизовані основні принципи передачі даних з космічних комплексів природно-ресурсного моніторингу на малі станції прийому інформації, що будуть в обов'язковому порядку реалізовуватися на всіх майбутніх російських космічних апаратах природно-ресурсного призначення. При цьому за основу узятий стандарт передачі даних у потоці 1R з КА "Ресурс-01" №4: фіксована центральна частота 8192 МГц, інформаційна частота – 15,36 Мбіт/с, спосіб модуляції – відносна фазова модуляція (ВФМ), щільність потужності випромінювання бортового радіо-комплексу на землі як мінімум у радіусі 1000 км від точки установки наземної станції, відповідно до параметрів КА "Ресурс-01" №4, поляризація – кругова права.

Виробникам бортової апаратури, засобів прийому даних, а також організаціям, що планують придбання відповідних засобів, Російське авіакосмічне агентство пропонує орієнтуватися на параметри, реалізовані на КА "Метеор-3М", "Океан-О", "Ресурс-01" №5 тощо, а також малих супутниках природно-ресурсного призначення.

Прийомні станції України відповідають стандартам передачі інформації від метеорологічних супутників серії NOAA, "Метеор" і від російських природно-ресурсних супутників серії "Ресурс-01".

Відповідно до рекомендацій Комітету по супутниковому спостереженню Землі CEOS [48], повний опис розповсюджуваних продуктів ДЗЗ повинен включати:

- визначення рівня обробки;
- ідентифікацію обробного центра;
- інструмент за допомогою якого отримані дані;
- фізичний носій (середовище), на якому доступні дані і відповідні стандарти;
- використовуваний формат даних;
- процедури калібрування і валідації;
- інтерфейс із зовнішніми користувачами.

При цьому під термінами **калібрування** і **валідація** розуміється:

- калібрування – процес, що кількісно визначає відгук системи на відомий і контрольований вхідний сигнал;
- валідація – процес, що визначає якість даних на виході системи з використанням незалежних засобів.

Рекомендовані Комітетом по супутниковому спостереженню Землі CEOS [48] стандартні рівні обробки визначаються в такий спосіб:

Сирі дані (Row Data) – дані у своєму первісному упакуванні, прийняті із супутника.

Рівень 0 – неопрацьовані дані з прив'язкою до бортового часу, супро-воджувані доступною допоміжною інформацією (наприклад, ефемериди, стан апаратури й ін.).

Рівень 1a – розпаковані дані рівня 0 із прив'язкою до бортового часу, супроводжувані всією необхідною інформацією для наступної обробки.

Рівень 1b – радіометрично відкоректовані і відкалібровані дані з найбільш повним досягнутим розрізненням.

Рівень 2 – відновлені характеристики навколишнього середовища (наприклад, висота хвиль, вологість ґрунту, швидкість вітру) з тим же розрізненням і рівнем прив'язки, що і рівень 1.

Рівень 3 – дані чи відновлені характеристики навколишнього середовища, перераховані до заданої системи координат і/чи до заданого моменту часу. Таке перерахування може передбачати опосередкування, зшивку зображень тощо.

Рівень 4 – вихідна модель чи результат з використанням даних нижчих рівнів.

На даний час в Україні, також як і в Російській Федерації, склався загальний погляд на технологію обробки даних дистанційних вимірів як на процес, що складається з двох видів обробки: **міжгалузевий і тематичний**.

Первинна обробка даних, що полягає у приведенні їх до деякого стандартного виду, загального для усіх чи ряду груп споживачів, одержала назву **міжгалузевої**.

Цифрові масиви первинно оброблених даних забезпечують їх наступну вторинну обробку у споживачів, що відрізняється від первинної цільовою галузевою спрямованістю. Цей вторинний вид обробки, що проводиться вже без залучення додаткової телеметричної інформації про функціонування космічного апарата і бортової вимірювальної апаратури й одержав назву **тематичної обробки**.

Первинна обробка даних включає наступні операції:

група А:

- корекція викривлень, що виникають у бортовій дослідницькій апаратурі;
- радіометрична (фотометрична) корекція зображень;
- геометрична корекція зображень;
- просторова прив'язка і трансформування зображень у задану картографічну проекцію;
- анотування даних;
- формування цифрових масивів у структурі, що забезпечує можливість фотографічної і магнітної реєстрації зображень.

група Б:

- формування узагальнених файлів даних по декількох приладах;
- спільна обробка даних різних каналів декількох приладів з метою одержання полів вимірюваних фізичних характеристик з підвищеними точностями;
- радіаційна корекція даних (облік спотворювального впливу атмосфери).

Операції групи А носять, як правило, обов'язковий характер і складають типовий обсяг первинної обробки даних, іменованій **нормалізацією**. При цьому досягається достатній для рішення багатьох задач рівень радіометричної і геометричної точності даних.

Операції групи Б можуть виконуватися за заявками споживачів, що висувають підвищені точнісні вимоги до дистанційних даних.

У підсумку первинної обробки даних повинні бути отримані і представлені в стандартизованій формі дані про яскравісні характеристики ділянок земної поверхні в різних зонах електромагнітного спектра, що характеризують відбивні (розсіювальні) і випромінювальні властивості різних ділянок земної поверхні. Ці характеристики ще не визначають приналежність тієї чи іншої ділянки земної поверхні до будь-якого класу природних утворень, а дані про фізичні і геометричні, а тим більше, наприклад, про

біометричні параметри, містяться лише в непрямому виді. Усі ці дані можуть бути отримані тільки після тематичної обробки й інтерпретаційного аналізу з урахуванням вимог інформації від конкретних її споживачів.

На нульовій стадії (рівні) обробки виконується корекція викривлень, що виникають у бортовій дослідницькій апаратурі, забезпечується фільтрація імпульсних перешкод і збійних рядків, а також відновлення загублених рядків.

Перша стадія додатково забезпечує радіометричну (фотометричну) корекцію (облік даних калібрування і тарування дослідницької апаратури та каналу передачі даних з метою лінеаризації їх амплітудних характеристик і підвищення точності вимірів щодо бортового еталонного джерела).

На другій стадії виконується геометрична корекція (компенсація погрішностей, внесених обертанням Землі, нерівномірністю руху променів сканування по земній поверхні, відхиленням висоти і швидкості руху КА, та інструментальних погрішностей з метою зниження їх впливу і забезпечення заданих точностей вимірів).

На третій стадії виконується географічна прив'язка інформації. У залежності від необхідної точності, вона проводиться або по траєкторних вимірах (точність дорівнює 20-30 км), або методом поліноміальної апроксимації по опорних точках з використанням географічних чи картографічних даних або цифрової моделі місцевості (точність порівнянна з розмірами елемента розрізнення вимірювальної апаратури на поверхні Землі).

Основні рівні обробки даних ДЗЗ, прийняті в Україні й у Російській Федерації, мають аналоги у всіх системах обробки діючих закордонних космічних апаратів ДЗЗ. В даний час спостерігається тенденція до визначення рівнів обробки космічних знімків у загальному вигляді, наприклад:

корегований – радіометрична корекція;

геокорегований – геометрична корекція;

геокодований – просторова прив'язка і трансформування зображення в задану картографічну проекцію без використання наземних контрольних точок;

геокодований по місцевості – просторова прив'язка і трансформування зображення в задану картографічну проекцію з використанням наземних контрольних точок.

Це спрощує сприйняття позначень рівнів обробки і сприяє уведенню свого роду міжнародних визначень основних рівнів обробки.

Вихідною продукцією системи є цифрові знімки поверхні Землі, які пройшли нормалізацію і оснащені анотаційною інформацією та підлягають тривалому збереженню у базі даних цифрових знімків.

Під **цифровим знімком** вважається упорядкована множина дискретних сигналів, що несуть інформацію про просторовий розподіл світлової енергії, яка падає на чуттєвий шар фотоприйомного пристрою, і що дозволяє відтворити (візуалізувати) двовимірне зображення об'єкта зйомки.

Вихідна продукція спостереження Землі видається споживачам у вигляді файлів, переданих по інформаційних мережах, записів на магнітних носіях, лазерних дисках і т.п.

3. Основні завдання тематичної обробки даних дистанційного зондування Землі, методи та сучасні програмні засоби їх вирішення

Характеристика програмних засобів оброблення зображень космічного спостереження

На сьогоднішній день основним повно функціональним програмно-технічним засобом для обробки аерокосмічної інформації, який використовується в багатьох національних операторів аерокосмічної інформації є програмно-технічний комплекс ПТК «Радуга».

Даний програмно-технічний комплекс (ПТК) призначений для обробки аерокосмічної інформації, інтерактивного дешифрування видової інформації та вирішення тематичних задач за даним дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Склад ПТК-Д «Радуга»:

Технічні засоби:

- 1 серверне робоче місце;
- 3 робочих місця оператора;
- кольоровий лазерний принтер формату А3;
- чорно -білий лазерний принтер формату А3;
- плоттер формату А1;
- сканер формату А3;

Програмні засоби:

- операційна система - Windows XP Professional Russian;
 - пакет офісних програм MS Office Small Business Edition 2003 Russian;
 - програмне забезпечення (ПЗ) антивірусного захисту інформації – Антивірус Касперського;
 - програмний виріб ПВ«Обробка зображення високої роздільної здатності»;
 - програмне забезпечення ENVI;
 - графічний пакет Corel DRAW Graphics Suite 12.
- ПВ «Обробка зображення високої роздільної здатності» призначений для обробки нормалізованих даних ДЗЗ в інтерактивному режимі з метою підвищення їх якості та достовірності дешифрування.

Основними функціями даного програмного виробу є:

- оцінка та корекція міжканальних зсувів;
- компенсація змазу зображення;
- пошук просторово-часових змін;
- згладжування залишку;
- каталог результатів обробки;
- інверсія зображення ;
- реверсія зображення;
- розрахунок індексу вегетації;
- виділення та векторизація контурів;
- підвищення чіткості зображення;
- оцінка хмарності;

ПК «Географічна прив'язка».

ПВ розроблений на мові програмування IDL у вигляді програмних компонентів, які інтегрується в ПЗ візуалізації і обробки зображення ENVI.

Програмні засоби оброблення зображень космічного спостереження Системи автоматизованої обробки даних дистанційного зондування складаються з тих же основних підсистем, що й географічні інформаційні системи - введення, зберігання, обробка й подання результатів. Це сприяло їхній програмно-технологічній інтеграції з ГІС, у силу чого для роботи з аерокосмічною інформацією в якості програмного забезпечення використовують сучасні програмні растрові й інтегровані ГІС - пакети. Різні типи ГІС-пакетів надають користувачам різні можливості по обробці знімків, забезпечені закладеними в них програмними засобами аналізу й інтерфейсу.

Як правило, ці засоби включають деякий обов'язковий стандартний набір, по більшій частині інтерактивних, процедур попередньої корекції, трансформування й класифікації знімків з візуальним контролем їхнього виконання на екрані монітора в комплексі з іншими

ГІС-технологіями. Всі розширення або модифікації цього набору призначені для рішення завдань різних рівнів складності при всебічному використанні даних дистанційного зондування. До ГІС - пакетів зі стандартними можливостями відносяться Idrisi, MultySpec, серед повнофункціональних ГІС - пакетів виділяються ERDAS IMAGINE, ENVI, ArcGIS, TNTmips, ER Mapper, ILWIS, GRASS. З точки зору можливостей цифрової обробки знімків ці пакети відрізняються в основному набором засобів операторського інтерфейсу і їхньою зручністю.

ERDAS IMAGINE (ERDAS-Laika Inc.). ГІС-пакет ERDAS IMAGINE лідирує серед використовуваних у світі програмних засобів обробки зображень. Він побудований по модульно-ієрархічному принципі, що дозволяє користувачеві придбати тільки необхідні модулі. Він складається із трьох базових наборів програм: IMAGINE Essentials, IMAGINE Advantage і IMAGINE Professional (для починаючих, підготовлених і професійних користувачів), кожний з яких містить у собі й розширює функціональні можливості попереднього набору. Ця структура програмного забезпечення базується на загальній архітектурі й має той самий інтерфейс користувача і функціональні можливості на різних комп'ютерних платформах.

Програмне забезпечення сполучить у собі функції растрової й векторної ГІС і системи обробки аэрокосмічних знімків.

Конфігурація IMAGINE Essentials пропонує базові засоби для візуалізації, інтерактивної корекції й кластеризації (Isodata) зображень і створення з їхнім використанням тематичних карт.

IMAGINE Advantage містить у собі всі функціональні можливості Essentials. Advantage призначений у першу чергу для тих користувачів, хто займається більше глибоким використанням даних дистанційного зондування й працює з ними регулярно. Являючи собою середній рівень конфігурації базового комплексу програмного забезпечення, IMAGINE Advantage збільшує функціональні можливості Essentials за рахунок блоку розширених функцій обробки зображення, функцій аналізу растрової ГІС із можливостями моделювання, засобів побудови поверхонь, а також ортотрансформування.

IMAGINE Professional має всі функціональні можливості Essentials і Advantage, а також додатковими можливостями по використанню алгоритмів класифікації для тематичного дешифрування й базових засобів роботи з радіолокаційними знімками.

Розширені можливості по застосуванню класифікації включають:

можливість використання автоматизованих алгоритмів класифікації многозональних зображень для виділення майданних об'єктів при побудові тематичних карт; при цьому можуть використовуватися класифікації по обумовленій користувачем системі еталонів (класифікація по типу дискримінантного аналізу), класифікації без введення еталонів (автоматичні, по типу кластерного аналізу), а також гібридні (їхнього сполучення);

різноманітні засоби оцінки якості, як системи еталонів (навчальних вибірок), так і отриманої тематичної карти;

різні способи створення системи еталонів: ручне оцифрування контурів еталонних ділянок на знімку, автоматичне виділення на знімку областей із заданим ступенем внутрішньої неоднорідності, а також еталонних ділянок, що задаються майданними об'єктами на векторній карті у форматі ARC/INFO;

оцінку ступені надійності і якості проведеної класифікації.

ENVI - програмна система® (the ENvironment for Visualizing Images - *середовище візуалізації зображень*) - забезпечує всебічну візуалізацію даних і аналіз зображень будь-якого розміру й будь-якого типу.

ENVI написаний мовою IDL® (Interactive Data Language - інтерактивна мова даних), ще являє собою мову структурного програмування, і забезпечує інтегровану обробку зображень.

Однією з основних переваг ENVI є його унікальний підхід до відображення процесу обробки, у якому комбінуються файлові й багатоканальні методи з інтерактивними функціями. Коли відкритий файл введення даних, каналні субфайли, що входять до його

складу, зберігаються в списку, де до них можна звертатися з використанням всіх функцій системи. Якщо відкрито багато файлів, спектральні зображення різних типів можуть оброблятися як група. Група вікон змінюваного розміру на екрані дисплея ENVI складається з основного вікна зображення, вікна масштабування, і вікна прокручування.

ENVI забезпечує користувачів багатьма унікальними можливостями інтерактивного аналізу, які доступні усередині цих вікон. Широкі можливості ENVI дозволяють простими способами проводити порівняння різноканальних зображень. Програма забезпечує зв'язане просторове/спектральне профілювання многоканальних і гіперспектральних даних у реальному часі та надає користувачам різні способи перегляду багатомірних даних. ENVI має інтерактивні інструментальні засоби для перегляду й аналізу атрибутів векторних зображень і ГІС.

Зручний візуальний інтерфейс ENVI доповнюється великою бібліотекою алгоритмів обробки. ENVI включає всі основні функції обробки зображень у рамках графічного інтерфейсу користувача.

Ці функції включають перетворення даних, фільтрацію, класифікацію, реєстрацію й геометричну корекцію, інструменти спектрального аналізу, і засоби роботи з радіолокаційними зображеннями. ENVI не накладає обмежень на кількість спектральних діапазонів, які можуть бути оброблені, так що можуть використовуватися багатоспектральні або гіперспектральні масиви даних.

Функціональні можливості ENVI.

ENVI підтримує всебічну діалогову обробку великих багатоканальних масивів даних, екранних зображень, спектральних діаграм і бібліотек, зацікавлених ділянок зображення їх забезпеченням гнучких можливостей відображення та з географічною прив'язкою при перегляді зображення.

ENVI реалізує наступні основні групи функцій роботи із зображеннями:

базові технологічні операції роботи із зображеннями (введення-виведення, редагування, обчислення й перегляду статистики, тощо.);

функції корекції геометричних і радіометричних спотворень відомих супутникових систем;

загальні технології покращення зображень;

технології спектрального (гіперспектрального) аналізу даних;

функції інтерактивного дешифрування й класифікації;

технології просторової прив'язки, зшивання зображень;

обробку даних у радіодіапазоні;

функції векторного відображення й топографічного аналізу даних;

забезпечення великого набору картографічних проєкцій;

функції підготовки тематичних карт;

підтримка великого числа растрових і векторних форматів даних.

ArcGIS(ESRI) - сімейство програмних продуктів, що складають цілком укомплектовану, відразу готову до роботи ГІС, засновану на загальноприйнятих галузевих стандартах. Ця інтегрована система призначена для створення, об'єднання і структурування, керування й аналізу географічних даних - тобто будь-якої інформації про просторове розташування об'єктів, явищ чи подій.

Система легко масштабується і набувається відповідно до вимог користувачів будь-якого рівня як новачків, що застосовують стандартні функції так і розробників додатків, що засновані на підтримці галузевих стандартів можливості взаємодії з іншими інформаційними технологіями дозволяють сформуванню системи, оптимізовану під розроблені проєкти.

Незважаючи на загальну тенденцію до уніфікації, лінійка пропонованих ESRI програмних продуктів досить довга. Але розібратися в ній не складно, якщо розкласти їх по тріадах:

три інтегрованих кореневих додатки: ArcMap, ArcCatalog і ArcToolbox.

три настільних (ArcGIS Desktop) програмних продукти: ArcView, ArcEditor і ArcInfo, що мають однакову структуру й інтерфейс, але розрізняються по своїй функціональності. Для виконання більш глибокого аналізу даних до них можна підключити загальні додаткові модулі: ArcGIS Spatial Analyst, ArcGIS 3D Analyst, ArcGIS Geostatistical Analyst та ін.

два серверних додатки: ArcSDE, що забезпечують ефективне керування просторовими даними, і ArcIMS (разом з вьюером ArcExplorer) - унікальне рішення, призначене для надання ГІС функцій і обміну ГІС даними через Інтернет, а також ArcReader - безкоштовна програма для використання додатків для перегляду і роздруківки карт.

Модулі розширення:

ArcGIS Spatial Analyst - забезпечує широкий набір функцій просторового моделювання й аналізу, що дозволяють створювати растрові дані, будувати до них запити, вести картографування й аналіз на їхній основі. ArcGIS Spatial Analyst дозволяє також виконувати спільний аналіз векторних і растрових даних. Використовуючи даний модуль, можна одержувати інформацію про ваші дані, виявляти просторові взаємозв'язки, знаходити придатні місця розташування, обчислювати вартість переміщення з однієї точки місцевості в іншу.

ArcGIS 3D Analyst - дозволяє ефектно відображати й ефективно аналізувати поверхні. Використовуючи 3D Analyst, можна розглядати поверхні з різних точок зору, будувати запити до поверхонь, визначати області видимості з різних точок спостереження і створювати реалістичні тривимірні зображення шляхом "накладення" растрових і векторних даних на поверхню. Ядром модуля 3D Analyst є додаток ArcScene. ArcScene забезпечує інтерфейс для перегляду шарів тривимірних даних, для побудови й аналізу поверхонь. 3D Analyst також включає ряд ГІС інструментів для тривимірного моделювання, таких як обчислення обсягу між поверхнями, видимості по лінії погляду, моделювання місцевості.

ArcGIS Geostatistical Analyst - дозволяє будувати безперервні поверхні на основі вимірів, проведених в окремих точках простору. Цей модуль дозволяє інтерполювати значення методом кригинга з високим ступенем вірогідності та включає інструменти для статистичної оцінки помилок, визначення граничних значень і ймовірнісного моделювання.

ArcGIS Schematics - являє собою ефективне рішення для автоматизованого створення схематичного і геосхематичного представлення об'єктів бази геоданих ArcGIS від ESRI і є додатковим модулем настільних продуктів ArcGIS.

ArcPress - призначений для виводу карт на друк. Це програмний растеризатор, що створює файли стандартних графічних обмінних форматів, а також файли керування на вбудованих мовах пристроїв даних, складні умовні позначки і великі растрові зображення, що з погляду витрат найчастіше дуже складно надрукувати на звичайних принтерах. Роль ArcPress у середовищі ГІС полягає в побудові високоякісних картографічних зображень, швидко сприйманих принтером без необхідності використання додаткової убудованої пам'яті чи додаткового апаратного забезпечення.

ArcGIS Publisher - забезпечує перетворення документів карт у форматі MXD, що дозволяє публікувати файли карт (у форматі PMF) і обмінюватися ними через локальні і глобальні мережі. Файли публікацій карт (PMF) містять інструкції про місце розташування і способах відображення шарів даних (символи, параметри відображення, масштабні залежності і т.д.), включаючи підключення до бази геоданих, до Internet та шарів географічної мережі. Друкуємі файли карт можна переглядати за допомогою вьюера ArcReader.

TNTmips (Microimages, Inc.). ГІС-пакет TNTmips має всі стандартні можливості обробки аерокосмічних знімків. Крім цього, пакет дозволяє поєднувати растрові, векторні, ГІС, CAD або TIN дані й бази даних у єдиному вікні. Пакет побудований на єдиному й

однаковому для всіх обчислювальних платформ форматі даних, що входять у проект. Бази даних, створені в TNTmips або вже існуючі, можуть бути об'єднані із графічними об'єктами й використовуватися для керування параметрами відображення індивідуальних значень осередків растра, векторних або САД об'єктів. TNTmips підтримує будь-які географічні проекції, які можуть зустрітися при роботі з даними, отриманими з різних джерел. В TNTmips передбачений збір, обробка й наочне подання статистичної інформації, що ставиться до всіх типів об'єктів, що входять у проект. Будуються гістограми, розраховуються площі, обчислюються середні значення й різні кореляційні функції. Можлива автоматична векторизація при скануванні карт.

ER Mapper (Earth Resource Mapping Ltd.) ER Mapper - пакет програм, розроблений австралійською компанією Earth Resource Mapping, що є одним з лідерів на ринку обробки даних дистанційного зондування. У пакеті ER Mapper використовується концепція алгоритмів, що дозволяють обробляти растрові зображення разом з векторними даними з ГІС і табличними даними з реляційних баз даних. Застосування динамічних зв'язків з ГІС і СУБД дозволяє оперативно використовувати всі дані про об'єкт, незалежно від форми й формату їхнього зберігання. Пакет ER Mapper має інструмент складання й редагування анотацій до растрових, векторних і крапкових об'єктів. Картографічні засоби, включені в пакет, забезпечують вивід зображень на широкий спектр поліграфічних пристроїв. ER Mapper поставляється у вигляді єдиного комплексу, що виключає необхідність придбання додаткових модулів. Застосування апарата "динамічних зв'язків" дозволяє поєднувати растрові зображення з векторними й табличними даними MAPINFO. Передбачено двосторонній зв'язок з даними ARC/INFO, допускається не тільки читання файлів ARC/INFO, але й коректування із середовища ER Mapper.

IDRISI (університет Кларка, США) розробляється з 1987 р. і названа на честь арабського географа й картографа XI століття Ідрісі. Пакет програм розроблений для навчання ГІС - технологіям. Цей - растровий ГІС - пакет з усіма стандартними можливостями автоматизованої обробки зображень, нетопологічним векторним поданням і обмеженими можливостями аналізу векторних даних. Дані зображень зберігаються у форматі ASCII, двійкових і упакованому двійковому форматах; кожний файл супроводжується файлом опису. Пакет містить близько 100 програмних модулів, що представляють три основні групи:

основні модулі, що включають базові утиліти введення, зберігання, керування й виводу растрових зображень;

тематичні модулі, що забезпечують основними засобами аналізу растрових відеоданих (географічний аналіз, статистичний аналіз та обробка зображень), включають оверлейні операції, а також попиксельні арифметичні операції із зображеннями, елементи обробки цифрових моделей рельєфу, вимірювальні операції (площа, відстань, найкоротший шлях і т.п.), векторно-растрові й растрово-векторні перетворення (включаючи векторизацію полігонів) і візуалізацію векторних даних, математично-статистичні функції (регресійний, кореляційний, автокореляційний аналіз, полігони Тіссена), часовий аналіз і оцінку критеріїв, програми контрольованої й неконтрольованої класифікації й побудова 3-х мірних моделей, операції фільтрації;

периферійні модулі, що містять утиліти конверсії між IDRISI і іншими програмами й форматами зберігання даних.

ILWIS (Integrated Land and Water Information System, ITC) розробляється Міжнародним інститутом аерокосмічних зйомок і наук про Землю (ITC), Нідерланди, з 1988 р. і призначена в першу чергу для навчання на міжнародних курсах ITC. Це інтегрована растрово-векторна система. ILWIS може використовуватися для створення, управління, аналізу й відображення просторових (географічних) даних.

Система включає можливості ГІС і обробки зображень, працює з табличними даними й атрибутами, використовує векторні дані, отримані через дигитайзер; ефективно виконує конвертування даних вектор \Leftrightarrow растр, тим самим забезпечуючи деякі топологічні функції картографічних пакетів; здійснює програмне конвертування даних у багато стандартних

форматів і з них, дозволяє виконувати екранне проектування на графічному моніторі без проміжних записів в пам'ять. Система має зручний операторський інтерфейс.

MultiSpec (Purdue Research Foundation. MultiSpec - програмний пакет, спеціально призначений для інтерактивного аналізу многозональних зображень земної поверхні, одержуваних різними знімальними системами. У пакеті є цільний і логічно обгрунтований набір алгоритмів для:

імпорту й візуалізації зображень різних форматів;

яскравості корекції зображень із побудовою гістограм і трансформування в задану систему координат;

визначення найбільш інформативних дешифрувальних ознак;

виконання двох основних типів комп'ютерної класифікації знімків: з навчанням і без навчання; алгоритм швидкого виділення кластерів - придатний для швидкого, однокрокового поділу многозонального знімка на просторово однорідні області; ітераційний алгоритм ISODATA - використовується для більш точної, багатокрокової кластеризації; методи мінімальної відстані, лінійного дискримінантного аналізу (Фішера), максимальної правдоподібності й два способи спектрально-просторової класифікації об'єктів по гіперспектральних знімках. Пакет поширюється безкоштовно в інформаційній мережі Інтернет.

1.

7.4. Основи дешифрування зображень космічного спостереження

7.4.1. Загальна характеристика процесу обробки матеріалів космічної зйомки

Взагалі дешифрування – це процес розпізнавання на матеріалах зйомки об'єктів земної поверхні за їх зображеннями. Військовим дешифруванням називається процес виявлення та розпізнавання топографічних елементів місцевості і розташованих на ній об'єктів по їх зображеннях на аерокосмічних знімках, а також визначення їх кількісних та якісних характеристик. Військове дешифрування матеріалів космічної зйомки має складний психофізіологічний характер і включає декілька рівнів розумової активності, та логічні рішення різної складності [48]. Військове дешифрування в основному об'єктне. Об'єк-тами дешифрування є штучні утворення, рідше – природні.

Специфічність дешифрування матеріалів космічної зйомки викликається способами і методами отримання зображення і формами його подання. Отримання зображень базується на здатності апаратури бортового спеціального комплексу космічного апарата фіксувати властивості об'єктів поглинати, відбивати і випромінювати електромагнітну енергію відповідно до їх форми, матеріалу та ін.

Основною особливістю процесу дешифрування матеріалів космічної зйомки з використанням спеціальних програмно-технічних засобів є той факт, що матеріали зйомки подаються у цифровій формі і візуалізуються у растровому вигляді на графічних засобах відображення. Вхідна інформація може отримуватись каналами зв'язку (з пункту прийому спеціальної інформації), з оптичних носіїв інформації або шляхом сканування фотографічного зображення. Дешифрування є складовою тематичної обробки зображень. Загальна схема проведення тематичної обробки представлена на рис. 7.1.



Рис.7.1. Загальна схема проведення тематичної обробки зображень

Попередня обробка полягає у приведенні зображення до вигляду необхідного для подальшої обробки (дешифрування).

Фотограмметрична обробка зображення полягає у проведенні просторових визначень та тривимірної візуалізації сцени.

Тематичне дешифрування полягає у вилученні необхідної інформації, що міститься на зображенні з використанням широкого кола можливостей системи програмного забезпечення (СПЗ). Воно може проводитись “ручними” методами, автоматизовано (інтерактивний режим) і в автоматичному режимі.

Зміст операцій попередньої обробки залежить від ступеню первинної обробки матеріалів зйомки. Попередня обробка матеріалів, отриманих каналами зв'язку з центра прийому і обробки спеціальної інформації, буде полягати у проведенні корекції яскравості (покращанні якості зображення), оскільки з пункту прийому мають надходити знімки, над якими вже проведені операції нормалізації, а саме – геометрична і радіометрична корекція. У разі обробки матеріалів зйомки, які отримані від фірм-розповсюджувачів матеріалів ДЗЗ (з космічних апаратів “Ikonos”, “Spot”, “Landsat” та ін.) каналами зв'язку (мережа Інтернет), на оптичних носіях інформації, кількість операцій попередньої обробки може збільшуватись. Причиною є той факт, що вартість нормалізованих знімків досить висока. Тому функціональні можливості програмно-технічних засобів щодо проведення попередньої обробки зображень повинні містити засоби геометричної і радіометричної корекції. Ряд спеціалізованих програмних продуктів (ERDAS, ENVI, та ін.) мають такі можливості. При проведенні попередньої обробки вказані програмні засоби дозволяють автоматизовано виконувати ряд операцій з метою компенсації викривлень і спотворень, що викликані особливостями конкретного сенсора. Вони враховують специфічні особливості сенсорів КА (до їх складу входять математичні моделі сенсорів ряду космічних апаратів ДЗЗ, що враховують їх специфічні особливості). Іноді залишається невідомим засіб отримання зображення і його тактико-технічні характеристики. У цьому випадку попередня обробка ускладнюється.

При роботі з фотографічними зображеннями попередньо необхідно трансформувати їх у цифрову форму за допомогою сканера. У цьому разі може проводитись ряд заходів щодо покращення якості зображення, перетворення контрасту, тобто ряд функцій попередньої обробки проводиться вже на етапі сканування. Подальша попередня обробка буде залежати від наявності відомостей про тип фотографічного пристрою і умов проведення зйомки.

Специфіка дешифрування матеріалів космічної зйомки (МКЗ) поданих у цифровому вигляді призводить до змін технології процесу дешифрування. Це викликається насамперед тим фактом, що в процесі підготовки до дешифрування і при його проведенні широко застосовуються спеціалізовані програмні засоби. Послідовність операцій обробки матеріалів космічної зйомки з використанням СПЗ представлена на рис.7.2.

Попередня обробка включає три складові: радіометричну корекцію, геометричну корекцію і корекцію яскравості.

Радіометрична корекція. Корекція радіометричних спотворень полягає у компенсації впливу спотворень і завад викликаних апаратними особливостями оптико-

електронних сканерів, бортової апаратури обробки, кодування і ущільнення, радіолінії, наземної апаратури (пристроїв) прийому і реєстрації. Вона дозволяє корегувати нерівномірність світлопередачі у фокальній площині об'єктива, нерівномірність чутливості елементів ПЗЗ-матриць, компенсувати вплив нерівномірності перенесення заряду датчиків ПЗЗ.

Проведення точної радіометричної корекції дозволяє:

підвищити радіометричну точність зображення, шляхом врахування даних комбінування спектральних каналів;

зменшити погрішність яскравостей елементів зображення, що викли-каються недостатньою прозорістю атмосфери.

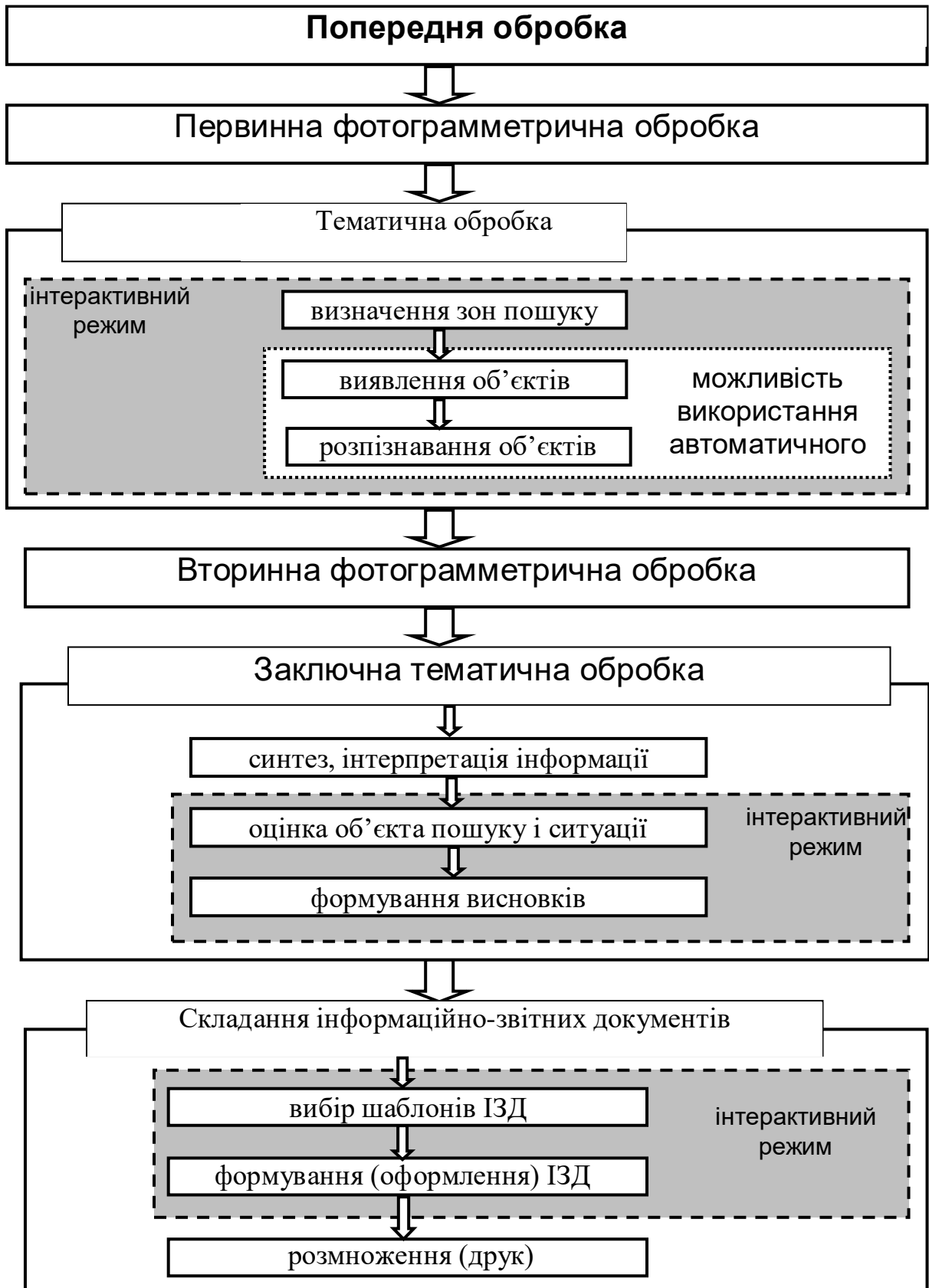
Геометрична корекція. Проведення геометричної корекції викликається необхідністю усувати геометричні викривлення, що викликані умовами зйомки: коливанням висоти космічного апарата, кривизною земної поверхні, пано-рамним ефектом і обертанням Землі.

Геометрична корекція має дві компоненти: орторектифікацію і транс-формування.

Орторектифікація проводиться з метою усунення шумів, викликаних геометрією зйомки і рельєфом місцевості та приведення зображення до заданої картографічної проекції. Трансформування зображень здійснюється для геомет-ричних перетворень самого знімка (перерахунок значень пікселів на нову сітку растра) і прив'язки його до реальних географічних координат. Трансформу-вання дає можливість отримати зображення, яке не має геометричних вик-ривлень у порівнянні з конкретною картою [48].

Корекція яскравості забезпечує підвищення яскравості і контрасту зображення. Нормалізація яскравості дає змогу приводити матеріали космічної зйомки (МКЗ) до вигляду, звичного для людського ока, з метою покращення сприйняття зображень (узгодження з динамічним діапазоном зору) дешиф-рувальником.

Підвищення якості зображення проводиться шляхом підсилення інформаційних ознак зображень об'єктів.



Об'єктами космічного спостереження можуть бути всі утворення розташовані на земній поверхні, як природного так і штучного походження. Відповідно їх зображення можуть виступати як об'єкти дешифрування. Велика кількість об'єктів, що представляють інтерес при вирішенні задач тематичної обробки МКЗ, призводить до виникнення проблеми їх умовного поділу. Об'єкти розташовані на поверхні Землі можна класифікувати за різними принципами (основами):

за співвідношенням і абсолютним значенням лінійних розмірів: протяжні (лінійні), площинні: малорозмірні (компактні), середні, великі;

за ступенем рухомості: стаціонарні, малорухомі, рухомі;

за положенням відносно земної (водної) поверхні: наземні (надводні), напівпідземні, підземні;

за ступенем маскування: незамасковані, частково замасковані, замасковані.

Об'єкти, що спостерігаються на земній поверхні підлягають також тематичній класифікації, наприклад: топографічні об'єкти, промислові об'єкти, військові об'єкти та ін.

Об'єкти великих, за площею, розмірів є комплексними [48].

Для вирішення задач дешифрування МКЗ найбільш пристосованою й випробуваною є система класифікації в основу якої покладена ієрархічна структура, яка передбачає поетапний перехід від загального до часткового на основі визначення характерних особливостей об'єкта. Ця класифікація визначає поділ об'єктів дешифрування на прості і складні на етапі виявлення та розпізнавання, а також їх розподіл за ступенем важливості і специфічними особливостями на етапі інтерпретації та узагальнення.

Простими об'єктами називаються окремі природні або штучні утворення, що знаходяться на земній або водній поверхні і виконують одну визначену функцію (танк, корабель, будинок, дерево, т. ін.) [48].

Складними об'єктами називаються природні або штучні комплекси, що займають значну за розмірами площу, виконують конкретні функції і складаються із сукупності однакових або різних простих об'єктів, що знаходяться у визначеному взаємозв'язку (аеродром, зосередження військ, порт, ділянка місцевості і т. ін.).

Об'єктами дешифрування виступають, як правило, складні об'єкти. Тому що в силу ряду причин (низька роздільна здатність, перспективні викривлення, маскування та ін.) ряд зображень буває неможливо віднести ні до одного з відомих простих об'єктів. Для того, щоб не втратити інформацію, необхідно оперувати більш загальними поняттями, ніж поняття окремого об'єкта – поняттями груп простих об'єктів.

Повнота інформації про складний об'єкт, ступінь розкриття його суті, стану та характеру діяльності залежить від повноти інформації про прості об'єкти, з яких він складається. Тому основою класифікації є призначення, основні характеристики і розпізнавальні ознаки простих об'єктів.

Ознаки, що покладені в основу класифікації, полегшують операцію класифікації об'єктів, виступаючи, в даному випадку, як визначники для розпізнавання зображень і пошуку довідкових даних в інформаційній базі.

Такими визначниками є (табл. 7.1):

для виду: загальне призначення, середовище пересування (перебування), конфігурація, співвідношення габаритних розмірів;

для класу: загальне бойове (виробниче) призначення, форма і розміри, характер розміщення основних деталей;

для підкласу: бойові якості, тактичне (виробниче) призначення, маса, потужність (вантажопідйомність), форма, розміри, розміщення основних деталей;

для типу: точні розміри, форма, розміри і точне положення деталей, конструкція (проект).

Тип – первинна категорія класифікації, визначає простий об’єкт, що має одному йому властиві форму, розміри і положення деталей, тактико-технічні дані і найменування (наприклад, ЗРК “С-300”, бойова машина піхоти “Бредлі” та ін.). З класифікацією до типу пов’язана найбільш повна їх характеристика. Кожен тип розпізнається за індивідуальними ознаками, якими є не стільки форма об’єкта в цілому, скільки форма, розміщення і розміри окремих деталей (наприклад, винищувачі, мають приблизно однакову форму і розміри, але відрізняються формою і довжиною носової частини, формою горизонтального оперення, формою, розмірами і розміщенням кабіни льотчика, повітро-забірників та ін.).

Підклас – категорія класифікації, що об’єднує типи з близькими тактико-технічними даними, габаритними розмірами, масою, вантажопідйомністю і потужністю (наприклад, надвеликі, великі, середні, транспортні літаки та ін.). Класифікація об’єктів до підкласів дає не таку повну інформацію про них, тому що ця категорія об’єднує визначену групу типів. Основними ознаками підкласу є границі габаритних розмірів і теплового випромінювання, середня відбиваюча поверхня, форма, розміри і розміщення основних деталей.

Клас – категорія, що об’єднує однорідні підкласи (у деяких випадках типи) з однаковим бойовим (виробничим) призначенням (наприклад, інженерна

Таблиця 7.1. Ознаки класифікації об’єктів дешифрування

Категорія, класифікація	Ознаки (основи) класифікації	
	Функціональні	Видові
Вид	загальне призначення; відношення до виду ЗС або виробництва; середовище пересування (місцеположення), сфера бойового використання;	конфігурація; відношення габаритних розмірів; межі теплового випромінювання, потужності відбитого радіосигналу;
Клас	загальне (однакове) бойове (виробниче) призначення;	форма; межі габаритних розмірів; наявність і розміщення великих (основних) деталей; межі теплового випромінювання, потужності відбитого радіосигналу;
Підклас	загальні бойові властивості і близькі ТТХ; загальне фактичне (виробниче) призначення;	потужність і вантажопідйомність; форма, габарити, розміщення основних деталей; межі габаритних розмірів; межі теплового випромінювання, потужності відбитого радіосигналу;
Тип	конкретні ТТХ; індивідуальне (виробниче) призначення; закономірні зв’язки, що встановились, визначене місцеположення у системі об’єктів.	конкретна форма; точні розміри; форма, розміри і точне розміщення всіх деталей; конструкція (проект).

техніка, артилерійські системи та ін.). Класифікація до класу дає ще менш точну (повну) інформацію про об'єкт, тому що ця категорія об'єднує ще більшу групу об'єктів, чим підклас. Ознаками класів є більш широкі, ніж у підкласів межі габаритних розмірів, теплового випромінювання, відбиваючої поверхні, а також наявність і розміщення визначених деталей (наприклад, кількість артилерійських установок на кораблі, форма фюзеляжу у літака і т. ін.).

Вид – категорія класифікації, що об'єднує споріднені класи, які відносяться зазвичай до одного виду збройних сил або виробництва та об'єднані сферою бойового використання (приклад: військова авіаційна техніка, бойові кораблі та ін.). Класифікація зображень до виду дає найбільш загальну інформацію про об'єкти з найменшим ступенем детальності. Ознаками видів є: конфігурація, відношення розмірів, межі теплового випромінювання і відбиваючої поверхні (приклад: для авіаційної техніки характерна стрілоподібна або хрестоподібна форма об'єкта) [48].

Класифікація об'єктів дозволяє визначити належність до того чи іншого виду збройних сил, галузі промисловості, країни, проводити швидкий пошук описів об'єктів, їх характерних особливостей в інформаційній базі, а у разі виявлення на зображенні та визначення конфігурації, габаритних розмірів та інше, віднести до одного з видів (класів, підкласів, типів) і виразити суть точним поняттям, що у повній мірі його характеризує і відображає дійсний стан, здійснити розпізнавання і, як наслідок, провести дешифрування зображення.

Класифікація об'єктів забезпечує:

систематизацію великої кількості різноманітних об'єктів;

систематизацію пошуку об'єкта в інформаційній базі, що значно полегшить орієнтування оператора-дешифрувальника у великій кількості простих об'єктів при виконанні тематичних завдань;

стандартизацію простих об'єктів, що дасть змогу підвищити ефективність процесу обробки інформації.

Чотири рівні детальності інформації про прості об'єкти відповідають вимогам, що висуваються до інформації при вирішенні практичних завдань дешифрування. Ознаки (основи), які покладено в основу класифікації, полегшують операцію класифікації об'єктів при дешифруванні, є визначальними для розпізнавання зображень [48].

Важливою особливістю, притаманною всім об'єктам є їх властивість у певній мірі випромінювати, відбивати, поглинати і розсіювати електромагнітну енергію. Існуючі системи класифікації об'єктів побудовані перш за все на оптичних властивостях об'єктів, що спостерігаються. Тобто на властивостях об'єктів певним чином відбивати падаючу на них енергію видимого діапазону електромагнітного спектра, завдяки чому передається конфігурація, форма і деталі об'єкта.

При вирішенні практичних задач дешифрування доводиться мати справу із зображенням реальних об'єктів, представлених у вигляді знімків, растра та інше, тобто також мати справу з оптичними особливостями, але не самих об'єктів, а їх зображень. Виявлення на зображенні об'єкта і віднесення його до того чи іншого виду (класу, підкласу, типу) можливе завдяки різниці в оптичних щільностях і за яскравістю зображень розміщених поруч об'єктів, або об'єкта і фону. Мірилом цієї різниці служить контраст K , який визначається відношенням яскравостей.

Для порівняння яскравостей L_1 і L_2 двох суміжних елементів використовують поняття деталі яскравості Δ , яка визначається

$$\Delta = \lg \frac{L_1}{L_2} = \lg \frac{\beta_1}{\beta_2}. \quad (7.1)$$

Аналіз розподілення деталей яскравості показує, що найбільш часто зустрічаються незначні значення ($\Delta \leq 0,1$) деталі яскравості [31].

За відношенням яскравостей зображень об'єкти поділяються на [47]:

- малоконтрастні;
- контрастні;
- висококонтрастні.

Оскільки майже всі об'єкти у певній мірі мають як власне, так і відбите випромінювання, а сучасні технічні засоби дозволяють фіксувати енергетичні відмінності об'єктів у різних діапазонах спектра, з'являється можливість додати до функціональних і видових основ класифікації спектральну основу. Це основа, яка буде характеризувати особливості об'єктів у різних діапазонах спектра.

При одночасній зйомці в декількох різних зонах електромагнітного спектра такою розпізнавальною ознакою є розподіл яскравості або випро-мінюючої здатності (для зони теплового випромінювання) об'єктів у цих зонах. Чим вужче зони спектру і чим більша кількість їх використовується, тим більш тонка спектральна структура поля яскравості (або випромінюючої здатності), що спостерігається, реєструється багатозональною оптико-електронною сис-темою. Дані ознаки можуть використовуватися при комплексному дешифру-ванні, що дає змогу підвищити достовірність і ефективність дешифрування. Особливо у разі застосування маскувальних засобів і хибних об'єктів.

При комплексній обробці різних видів зображень сумуються їх корисні властивості, за рахунок чого підвищується повнота, детальність й достовірність ідентифікації об'єктів. Комплексна обробка дозволяє більш точно й повно встановити стан і характер об'єктів, виявити хибні об'єкти, визначити можливий характер діяльності.

Досвід показує [48], що при проведенні дешифрування на етапі класифікації до підкласу й типу доволі часто необхідно звертатись до еталонних зображень об'єктів. Дешифрувальні ознаки зображень об'єктів поділяються на видові та функціональні. Видові, в свою чергу, поділяються на прямі, непрямі та комплексні. Для правильного дешифрування космічних зображень необхідна допоміжна та апріорна інформація.

Досвід дешифрування [48] показує, що оптимальний склад допоміжної інформації (для простих об'єктів) повинен включати:

- для виду:**
- місцеположення;
- граничні розміри і співвідношення сторін;
- характерні узагальнені деталі (конструкції);
- характерні розподіли яскравості внаслідок конструктивних особливостей;

- для класу:**
- характерні деталі, конструкція;
- взаємне розташування деталей;
- межі габаритних розмірів;

- для підкласу:**
- межі габаритних розмірів;
- форма (загальна і деталей);
- розміри деталей;
- потужність інфрачервоного випромінювання в працюючому стані;

ефективна відбиваюча поверхня;

для типу:

індивідуальні особливості форми, розмірів, кількості і взаємного розташування деталей.

Апріорна інформація є складовою допоміжною і має включати прямі, непрямі та комплексні ознаки. До апріорної інформації можна віднести:

1. Примітиви:

еталонні зображення;

дешифрувальні ключі або картки-еталони;

характерні деталі об'єктів визначеного типу.

2. Описи простих об'єктів:

зображення типового об'єкта;

характерні ознаки та їх опис;

тактико-технічні характеристики;

особливості застосування та функціонування.

3. Описи складних об'єктів:

зображення визначеного типового об'єкта (схематичне та перспективне);

характерні ознаки та їх опис;

зображення характерних простих ознак та їх опис;

тактико-технічні характеристики;

особливості функціонування.

Збільшення кількості інформативних ознак призводить до підвищення достовірності розпізнавання. Однак, цей процес призводить також до появи збитковості й до зниження оперативності дешифрування.

Визначення оптимальної кількості інформації повинне здійснюватись з врахуванням наступних факторів: по-перше, довідкова інформація повинна підвищувати ефективність роботи дешифрувальника (насамперед достовірність та оперативність); по-друге, необхідно враховувати можливості апаратури (за обсягом виводу інформації на засоби відображення); по-третє, слід враховувати вплив на оперативність ергономічних показників. Склад інформації повинен змінюватись в залежності від рівня класифікації. В цей склад мають бути включені мінімально необхідні, але характерні дані.

При дешифруванні оператор повинен мати можливість крім основної, характерної інформації в інтерактивному режимі викликати додаткову інформацію. При цьому додаткова інформація має корелювати з етапом класифікації, на якому знаходиться оператор-дешифрувальник.

Організація запитів до бази даних повинна здійснюватись з врахуванням можливої суперечності запитів оператора (наприклад: дешифрувальник відніс об'єкт до одного підкласу, а дешифровані деталі, що запитуються для визначення типу, притаманні лише другому підкласу).

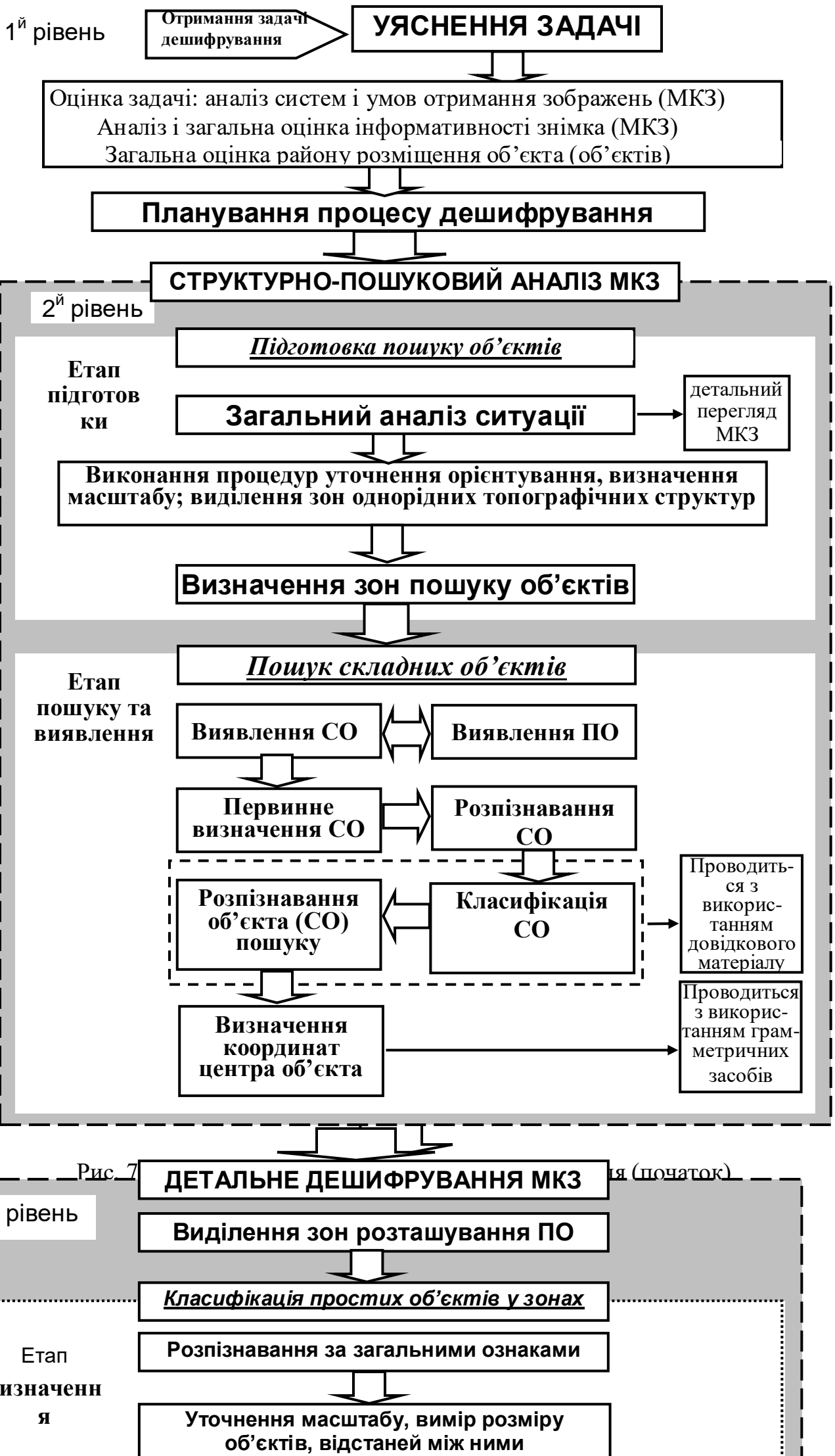
Використання спеціалізованих програмно-технічних засобів дешифрування дає можливість виявляти і класифікувати об'єкти за ознаками, що характеризуються не тільки оптичними особливостями зображень.

Структурна модель процесу дешифрування

Процес військового дешифрування складається з декількох рівнів і етапів, що ведуть дешифрувальника від виявлення до розпізнавання і класифікації об'єктів, а потім до їх загальної оцінки, визначення сутності складного об'єкта і формування інформації про

нього. У залежності від властивостей зображень, характеру місцевості і розташованих на ній об'єктів, кваліфікації дешифрувальника та інших факторів, рівні й етапи дешифрування можуть чітко розділятися чи непомітно переходити з одного в інший. Так чи інакше усі вони обумовлені прямими і зворотними зв'язками між собою, і утворюють кілька локальних систем.

У загальному вигляді структура процесу військового дешифрування може бути представлена чотирма рівнями (рис. 7.3):



введення у дешифрувальну обстановку;
структурний аналіз і пошук інформації;
детальний аналіз зображення;
загальна оцінка інформації.

Перший рівень. На першому рівні відбувається своєрідна психологічна підготовка дешифрувальника, з'ясовується які види інформації підлягають обробці, уточнюються задачі і формується модель їх рішення.

Для першого рівня характерні наступні етапи:

1. визначення (уточнення) основних завдань на дешифрування:

загальна задача розвідки;

необхідна повнота і детальність інформації;

види інформаційно-звітних документів, строки їх представлення;

2. уточнення і урахування факторів, що визначають умови зйомки і властивості знімків:

геофізичні умови зйомки;

фізико-географічні особливості поверхні;

стан КА і бортового спеціального комплексу;

ступінь обробки матеріалів зйомки;

первинне визначення району пошуку об'єкта (об'єктів);
вибір прийомів, методів дешифрування;
загальне планування процесу дешифрування.

Другий рівень. На другому рівні здійснюється пошук і виявлення заданих об'єктів. У залежності від ситуації, характеру місцевості й особливостей об'єкта пошук походить від часткового і простого до загального і складного, чи навпаки. З усієї кількості зображених об'єктів на цьому рівні вибираються потрібні чи задані. Визначення об'єкта може відбуватися одномоментно (симультанно) чи шляхом тривалого перебору ряду ознак і образів. Звичайно тут застосовуються загальні групові і комплексні розпізнавальні ознаки. На цьому рівні відбуваються пошукові і розпізнавальні операції евристичного характеру і застосовується ймовірно-модальна логіка типу: у цьому районі велика ймовірність розташування якогось об'єкта.

Характерними рисами другого рівня є загальний аналіз ситуації і пошук складних об'єктів. На цьому рівні може відбуватись пошук та виявлення:

складного об'єкта (декількох складних об'єктів у межах кадру);
зон можливого розташування простих об'єктів всередині складного;
пошук необхідних заданих простих об'єктів.

Третій рівень. На третьому рівні проводиться детальний аналіз зображення: розпізнавання й інтерпретація простих і складних об'єктів.

При дешифруванні одномоментно виявляються і розпізнаються тільки відкриті прості об'єкти. Замасковані об'єкти й елементи складних об'єктів, стан і характер їх діяльності визначаються в результаті складної розумової роботи з залученням узагальнень, аналізу зображень і синтезу отриманої інформації. Велику роль при цьому відіграє інтуїція.

На цьому рівні проводиться: аналіз та інтерпретація складних об'єктів, розпізнавання та підрахунок простих об'єктів, оцінка стану та діяльності простих об'єктів, визначення кількісних характеристик об'єктів, уточнення і оцінка стану складного об'єкта (синтез інформації).

У процесі дешифрування постійно відбувається перехід від розпізнавання зображень простих об'єктів до розпізнавання зображень більш складних об'єктів і навпаки. При цьому виявляється взаємозв'язок між об'єктами, відбувається перехід від дешифрування окремих об'єктів до розпізнавання й інтерпретації ситуацій. Розуміння ситуації, що відобразилась на знімку, дозволяє знову перейти до розпізнавання окремих об'єктів, але на більш високому рівні обробки інформації. На всіх етапах цього рівня відбувається розпізнавання за аналогією, екстраполяція інформації про розпізнані об'єкти і ділянки місцевості, та ще не вивчені і не розпізнані.

Четвертий рівень. На четвертому рівні формується судження про окремі об'єкти, їх групи і об'єкти дешифрування в цілому, робиться остаточний висновок про характер, стан і діяльність об'єкта, а також коротко формулюється і фіксується отримана інформація.

Як видно зі схеми структурної моделі, класифікація об'єктів є невід'ємним етапом процесу дешифрування матеріалів космічної зйомки. Швидка і точна класифікація об'єктів дешифрування є запорукою вірної інтерпретації стану і діяльності об'єктів спостереження та формування правильних висновків про них. Як наслідок, підвищується оперативність підготовки й подання результуючих інформаційно-звітних документів.

4.

Характеристика розпізнавальних ознак об'єктів зйомки на космічних знімках

Виявлення і розпізнавання простих і складних об'єктів у процесі дешифрування знімків здійснюється за їх розпізнавальними ознаками.

Розпізнавальні ознаки можна поділити на два класи:

власні ознаки – характерні риси (особливості), що належать самим об'єктам;

відтворені ознаки – характерні риси (властивості) зображень об'єктів.

При дешифруванні основою для прийняття рішення про належність об'єкта до того чи іншого виду (класу, типу) служать ознаки обох видів.

Інформативність ознак – характеристика множини ознак або однієї ознаки, яка виражає її придатність для прийняття правильного рішення в процесі розпізнавання образів. Оцінки інформативності ознак використовуються для того, щоб забезпечити необхідну ефективність (наприклад, ймовірність правильного розпізнавання) дешифрування у інтерактивному режимі при мінімальному наборі ознак. Критерій інформативності ознак використовують також для вибору оптимального піднабору ознак з заданого набору. Ця задача є дуже складною, оскільки в загальному випадку, коли ознаки є статистично взаємозалежними, інформативність певного піднабору ознак не визначається інформативністю окремих ознак, що входять до нього. Для кожного з випробуваних піднаборів необхідно знайти оптимальну вирішальну функцію й оцінити отриману ймовірність правильного розпізнавання.

При вирішенні задач практичного дешифрування, тобто при виявленні і розпізнаванні об'єктів, які зображені на матеріалах зйомки в першу чергу використовуються відтворювані ознаки – характерні риси і відмінні властивості притаманні зображенням об'єктів на матеріалах зйомки. Вони є засобом, за допомогою якого виявляються і розпізнаються зображення об'єктів. Необхідно зазначити, що на формування відтворюваних ознак впливають масштабні, перспективні, фотометричні та інші перетворення, що відбуваються при отриманні і передачі зображення.

На сьогодні запропоновані декілька підходів до поділу розпізнавальних ознак. Пропонують використовувати три групи розпізнавальних ознак: прямі, непрямі і комплексні ознаки.

Прямі ознаки – ознаки, що безпосередньо належать зображенням об'єктів. Вони характеризуються геометричними і оптичними особливостями. Прямі ознаки поділяються на: загальні прямі розпізнавальні ознаки, індивідуальні і групові ознаки.

Загальними прямими розпізнавальними ознаками називаються такі властивості простих об'єктів, що безпосередньо передаються на знімках і сприймаються людським оком. Такими ознаками є елементарні властивості об'єктів: форма, розмір, тон чи колір і тінь зображення об'єктів. Вони властиві кожному простому об'єкту. Однак ці ознаки не однозначні, тобто та сама ознака, наприклад прямокутна форма, відповідає різним об'єктам, той самий об'єкт у різних ситуаціях може мати різний тон чи колір.

Загальні розпізнавальні ознаки знаходять своє конкретне вираження в зображенні простих об'єктів. У кожного простого об'єкта вони виражаються по-своєму в залежності від специфіки конструкції і матеріалу, а також метеорологічних умов, у яких отримане зображення. Такі ознаки можна назвати індивідуальними. Це ознаки конкретних типів об'єктів, для розпізнавання яких можуть бути важливі навіть дрібні, на перший погляд, незначні деталі.

Розпізнавальні ознаки підкласів утворюються шляхом узагальнення індивідуальних ознак простих об'єктів: форми, розмірів, відбивної здатності, а також форми і місця

розташування основних деталей. Розпізнавальні ознаки класів і видів формуються шляхом узагальнення ознак підкласів і класів відповідно. Ними є граничні показники цих груп об'єктів. Таким чином, ознаки, покладені в основу класифікації об'єктів є груповими пізнавальними ознаками видів, класів і підкласів.

Непрямі ознаки – це кількісні ознаки, просторові, часові, функціональні і причинні залежності між об'єктами [47]. Непрямі розпізнавальні ознаки – це ознаки, через які об'єкти і їх властивості вказують на наявність і властивості інших об'єктів, що не зобразилися на знімку. Непрямі ознаки базуються на закономірних взаємозв'язках між природним ландшафтом і розташованими на ньому об'єктами, та між складними і простими об'єктами, а також між елементами складних об'єктів. Вони проявляються в слідах діяльності, за ступенем відношення одних об'єктів до інших, та у зміні властивостей і характеристик одних об'єктів у результаті впливу на них інших.

Комплексні ознаки – закономірні поєднання прямих і непрямих ознак. Комплексні ознаки — це ознаки складних об'єктів [47].

Характеристика розпізнавальних ознак простих і складних об'єктів. Ознаки, що використовуються при розпізнаванні об'єктів, характеризуються конкретними геометричними і оптичними властивостями. Загальними прямими розпізнавальними ознаками є форма, розмір, тон та колір зображення об'єкта, тінь від об'єкта.

Форма зображення є основною ознакою, за якою встановлюється наявність об'єкта і, якщо вона штучно не перевернена, його основні властивості. Зорова система людини в першу чергу виділяє саме лінії, обриси, контури і вже після цього переходить на обстеження деталей (елементів), що привертають увагу чи можуть містити характеристики, корисні для розпізнавання зображення.

Швидкість, вірогідність і подробиці розпізнавання форми залежать не тільки від контрасту зображення, але і від складності самої форми. Розрізняються форми геометрично визначені і невизначені, компактні і витягнуті (лінійні), прості і складні, плоскі й об'ємні.

Геометрично визначена форма характерна для більшості видів техніки і споруджень і є характерною пізнавальною ознакою. Невизначена форма характерна, як правило, для природних об'єктів і утворень (деревам, озерам, ярам та ін.), а також для таких штучних об'єктів, як сільськогосподарські угіддя, кар'єри, і не може часто бути постійною й істотною ознакою.

Компактна форма спостерігається в більшості штучних об'єктів (військова і цивільна техніка, промислові будівлі і житлові будинки), а витягнута (лінійна) – характерна для таких простих об'єктів, як злітно-посадочні смуги і рульові доріжки аеродрому, насипи, дороги, канали і траншеї, а також для природних утворень – рік і струмків. Витягнуті форми виявляються і розпізнаються при менших масштабах, ніж компактні. Витягнута форма, наприклад дороги і ріки, є важливою розпізнавальною ознакою, що відрізняє їх від інших об'єктів.

Можливості розпізнавання об'єктів простих і складних форм залежать від інформативності зображення. Прості форми при відповідності розмірів зображення величині лінійного розрізнення розпізнаються практично при будь-якому масштабі знімка. Деталі складної форми зі зменшенням розрізнення поступово зникають, контури зображення згладжуються, і, при певних його значеннях, зображення може перетворитися в пляму чи смугу.

Плоскі фігури відрізняються від об'ємних тим, що в загальному випадку вони звичайно однотонні. Об'ємні об'єкти завжди мають визначений розподіл світлих і темних

тонів. Просторова форма об'єкта є гарною пізнавальною ознакою, особливо при стереоскопічному розгляданні знімків.

Розмір отриманого зображення й обумовлені ним розміри об'єкта і його деталей є важливою пізнавальною ознакою, тому що сприяють більш точній класифікації зображення і підвищенню детальності розпізнавання. Розмір стає дуже важливою ознакою при розпізнаванні об'єктів приблизно однакової форми [39, 47]. Так, наприклад, визначення довжини і розмаху крила транспортного літака дозволяє більш виразно назвати його підклас чи тип, а розміри резервуарів на складі пального – їх ємність. Необхідна точність визначення розмірів залежить від різниці в габаритах, що існує між класами чи підкласами, типами розпізнаваних об'єктів.

У процесі розпізнавання зображень визначається довжина і ширина об'єкта чи його деталей, рідше висота. Розмір може виявитися єдиною важливою ознакою для видачі більш повної і докладної інформації про об'єкт чи для правильного уявлення про зображену місцевість. Так, якщо форма зображення об'єкта і його деталей у силу ряду причин недостатньо чітко виражені чи застосування маскування ховає особливості форми, то визначення розмірів дозволить більш виразно зробити висновок про його клас. Дійсну величину об'єкта можна визначити за масштабом знімка шляхом порівняння розміру розпізнаваного зображення з розмірами відомого об'єкта.

Масштаб знімка, що звичайно відомий, не дає наочного представлення про дійсні розміри об'єктів. Дешифрувальник, розглядаючи зображення, не сприймає правильно розміри, якщо не має деякого еталона. Тому, розглядаючи знімок, потрібно знайти на ньому такі об'єкти, розміри яких точно відомі, і з ними порівнювати всі інші зображення простих об'єктів. Для цієї мети можна використовувати, наприклад, ширину залізничного полотна, довжину тепло-возів і електровозів, зображення будинків, дерев чи раніше пізнаних об'єктів. За допомогою таких еталонів розміри об'єктів і відстані між ними сприймаються більш правильно. Якщо на місцевості немає об'єктів, розміри яких відомі, то для зручності сприйняття можна використовувати як еталон відстані між характерними орієнтирами, визначені за допомогою топографічної карти [48].

Тоном зображення називають ступінь чорноти (почорніння) або яскравості зображення, що оцінюється візуально [47].

Тон зображення так само як колір, при спостереженні з натуральною чи умовною передачею кольору, залежить від коефіцієнта яскравості, інтегральної та спектральної відбивної і випромінювальної здатності і стану об'єкта, освітленості місцевості, стану атмосфери, властивостей оптичної системи і приймача випромінювання. Усі ці фактори дуже мінливі, тому тон зображення навіть однотипних об'єктів може мінятися в значних межах і сам по собі не може служити надійною пізнавальною ознакою. Однак на знімках, отриманих за допомогою того самого засобу, об'єкти, що у дійсності різко розрізняються за яскравістю, мають стійкі тони зображення і ще більш постійні їх співвідношення. Ці співвідношення забезпечують виявлення і впізнання зображень об'єктів.

Виявлення на знімках одних об'єктів на фоні інших залежить від наявнос-ті оптичного, теплового чи радіолокаційного контрасту (співвідношення тонів) між ними. Якщо його немає, то зображення об'єкта знайти неможливо, тому що не можна виявити і визначити його форму і розміри. Контрасти можуть бути від мінімальних (0,05-0,1) до максимальних

Людське око, як встановлено дослідним шляхом, при нерізкості границі сусідніх різнотонових ділянок може візуально розрізнити до 25 ступенів сірого тону. Однак практично, особливо в умовах дефіциту часу, чітко помітні звичайно 7-10 тонів, що і використовуються звичайно при дешифруванні.

Об'єкти рідко зображаються однорідним рівним тоном. Тільки гладкі, дуже одноманітні природні поверхні (сніжна, піщана, глиниста) чи утрамбований ґрунт дають однорідний тон. Більшість же простих об'єктів, природних утворень і комплексів дають нерівний тон зображення в зв'язку з тим, що мають велику кількість різноманітних деталей, які дають безліч дрібних світлих і темних плям і ділянок, що створюють бліки.

Колір зображення може виступати як прямою, так і непрямою умовною ознакою, в залежності від того, у натуральних чи псевдокольорах отриманий знімок. Істотно, що фактура поверхні, деталі об'єкта й умови одержання зображення викликають незначні перетворення не в кольорах, а тільки в їх насиченості і яскравості. Кількість помітних оком колірних тонів і відтінків на кольорових знімках значно більше, ніж сірих тонів на чорно-білих, що визначає їх високі дешифрувальні якості. Однак через вплив висоти стояння Сонця і напряму освітлення, стану атмосфери, масштабу зображення і якості обробки, кольори відхиляються від натуральних і не можуть ототожнюватися з реальним кольором об'єктів.

Колірні ознаки на спектрозональних і багатоспектральних (гіперспектральних) знімках мають умовний характер. Зображення ряду об'єктів, погано помітних на чорно-білих знімках, на спектрозональних різко виділяються за кольором. Колірні ознаки, що проявляються на спектральних знімках дозволяють виявляти ряд об'єктів, які неможливо виявити на панхроматичних знімках. Незважаючи на загальну позитивну сторону, ділення за кольором створює додаткове джерело деяких помилок, тому що з'являється ще одна задача – дешифрування самих кольорів з притаманними їм властивостями і особливостями.

Тінь від об'єкта є непостійною і суперечливою пізнавальною ознакою. Вона може сприяти і заважати розпізнаванню об'єктів. В одних випадках тільки по тіні можна пізнати об'єкт і визначити такі важливі характеристики, як форма і висота. Часто тільки тінь дозволяє побачити деякі невеликі деталі і виступи форми об'єкта і розпізнати його тип. Зображенням тіней відводиться велике значення при розпізнаванні об'єктів малого розміру і низького контрасту [48]. Нерідко тінь закриває об'єкти і їх деталі, знижує контраст, спотворює форму й утрудняє виявлення і впізнання.

Розрізняють тіні власні і падаючі. Власною називається тінь, що покриває неосвітлену частину об'єкта. Переходи від світла до тіні передають будову поверхні. Плавні вигини передаються поступовим переходом світлого тону освітленої сторони до темного. Різкі границі між різними тонами свідчать про наявність кутових вигинів поверхні.

Падаючою називається тінь, що відкидається об'єктом на земну поверхню. Вона передає форму об'єкта у вигляді, близькому до звичного. Тінь характеризується формою, розміром, напрямком і тоном. Спрямовані вгору об'єкти добре визначаються за падаючою тінню, яка передає його силует, а нерідко і конструкцію. Часто при цьому розрізняються об'єкти, що у плані виглядають однаково. Однак між формою тіні і видом об'єкта збоку немає абсолютної подоби, тому що тіні проектуються на поверхню косими променями, напрямок яких міняється протягом доби. Так, наприклад, якщо тінь від літака падає не по осі вперед, а навкосо назад, то вона може не підкреслювати, а приховувати конфігурацію, ускладнюючи визначення його форми. Форма тіні залежить також від напрямку і кута нахилу сонячних променів. Чим нижче Сонце над об'єктом, тим довші тіні від об'єктів.

У залежності від рельєфу місцевості тіні від об'єктів можуть спотворюватися різним чином. Якщо тінь падає на схил, звернений до Сонця, то вона коротшає, при падінні на протилежний – подовжується в порівнянні з випадком падіння на горизонтальну ділянку. Мікрорельєф спотворює форму тіні. Падіння її на вимоїни, канали,

пагорби й інші нерівності порушує прямолінійні лінії тіні, створює враження наявності в об'єкта виступів чи деталей, яких немає насправді.

Тон падаючих тіней змінюється від світло-сірого до дуже темного у залежності від властивостей поверхні, на яку вони падають. На світлих поверхнях тіні виступають чітко, на темних майже зливаються з фоном. Якщо тінь падає на слабо випромінюючу поверхню, то може бути майже непомітною чи зовсім зникнути. У залежності від інтенсивності розсіяного освітлення тіні тією чи іншою мірою стають світлішими. Найбільш світлими вони бувають у ранкові і вечірні години.

Структура (малюнок) поверхні об'єктів і його зображення є сукупністю декількох ознак (форми, розміру, тону, взаємного положення й ін.), що утворюють поверхню елемента. Наприклад, зовнішній вигляд поверхні лісу утворюють крони дерев. На знімку зображення лісу виглядає у виді зернистої структури. Структура зображення об'єкта – важлива ознака багатьох природних елементів місцевості, що не мають характерної форми. Ця ознака дуже стійка: на неї в меншому ступені, чим на інші прямі ознаки, впливають властивості отриманих зображень.

Загальні деталі об'єктів, їх характер і кількість дають представлення про складний об'єкт, дозволяють відрізнити даний об'єкт від йому подібних. Так, дані про характер насипів, виїмок, мостів і переїздів допомагають класифікувати дороги, а кількість і склад виробничих і допоміжних корпусів, складів і т.п. дозволяють визначати типи промислових підприємств.

Індивідуальні розпізнавальні ознаки. При розпізнаванні конкретних типів об'єктів важливими ознаками є дрібні, незначні, на перший погляд, деталі зображення (кут стрілоподібності крила, розміщення кабіни пілота, положення судових настройок, розміщення паливних баків і т.п.).

Групові розпізнавальні ознаки, що покладені в основу класифікації простих об'єктів, дозволяють розпізнати до якої групи відноситься об'єкт, починаючи з найбільш загального – виду і закінчуючи підкласом.

Непрямі розпізнавальні ознаки безпосередньо до об'єкта не відносяться і не забезпечують самі по собі розпізнавання. Вони є джерелом інформації виходячи з діяльності об'єктів, а також проявляються за співвідношенням і зміною властивостей об'єктів.

Ознака діяльності. Не всі індивідуальні ознаки однаково придатні для розпізнавання об'єктів на знімках різних масштабів. Більш того, при певних значеннях роздільної здатності на місцевості індивідуальні ознаки взагалі можуть виявитися непридатними для розпізнавання об'єктів [27]. Ознака діяльності полягає в тому, що конкретний об'єкт, у якого інші розпізнавальні ознаки майже або взагалі відсутні, виявляється за змінами на поверхні землі або на самому об'єкті.

Експериментально встановлено, що в середньому при дешифруванні частота використання прямих ознак дорівнює 0,55, а непрямих – 0,45 [27, 28].

Комплексні розпізнавальні ознаки. До них відносяться сполучення прямих ознак:
просторове розділення на місцевості елементів складного об'єкта;
співвідношення площ, зайнятих різними об'єктами;
число і співвідношення простих об'єктів різного призначення і розміру;
сполучення і видозміна форм окремих об'єктів і займаних ними площ.

Усе це визначається **типовими схемами** складних об'єктів і їх чисельним складом, принципами бойового чи виробничого використання й особливостями функціонування.

Застосування комплексних розпізнавальних ознак вимагає гарного знання: складу, призначення, обладнання, способів використання об'єктів дешифрування, загальних

закономірностей розташування на місцевості стаціонарних і особливо рухомих об'єктів у різних умовах обстановки.

При цьому необхідно враховувати вплив місцевості на зміну типових схем розташування і застосування, а також зміни на місцевості, внесені самими об'єктами в процесі їх діяльності. Знання всіх закономірностей дозволяє з використанням непрямих ознак розшукати на знімках об'єкти і навіть орієнтовно підрахувати кількість замаскованих простих об'єктів і з достатньою повнотою і вірогідністю дати їх характеристику.

Особливості прояву розпізнавальних ознак на зображеннях, отриманих оптико-електронними засобами у видимому діапазоні спектра. На зображеннях, отриманих у різних діапазонах електромагнітних випромінювань, загальні розпізнавальні ознаки проявляються по-різному. Тільки фотографічні знімки безпосередньо відображають об'єкти з усіма деталями, нагадуючи картину, що спостерігається візуально.

На знімках отриманих оптико-електронними засобами при напрямку оптичної осі знімальної апаратури в надир, перспективні викривлення спостерігаються тільки в напрямках поперек лінії руху і збільшуються при віддаленні від неї. При відхиленні оптичної осі від надиру з'являються перспективні викривлення уздовж центральної лінії маршруту, але вони залишаються постійними на всьому маршруті у випадку незмінної орієнтації оптичної осі протягом часу зйомки. При здійсненні складних переміщень оптичної осі під час зйомки, ускладнюються і прояви перспективних викривлень по всьому полю знімка. Найбільші викривлення, особливо об'ємних об'єктів, утворюються на частинах сусідніх знімків, які перекриваються, що може ускладнити розпізнавання форм ідентичних зображень для прив'язки знімків один до одного і до топографічної карти.

На сучасних оптико-електронних знімках форма об'єктів передається менш детально і правильно в зв'язку з меншою, ніж у аерофотоапаратів, роздільною здатністю систем. Контури об'єктів виражаються більш узагальнено, без деталей, внутрішня структура (вежі, кабіни й ін.) звичайно не виділяється – чи зображується плямами неправильної форми.

Особливістю оптико-електронних знімків є наявність растрової структури. Через неідентичні характеристики елементів ПЗЗ і неможливості їх радіометричного калібрування на борту КА, у силу ряду причин, оптико-електронному зображенню властива «смугастість». У ряді випадків через порушення роботи апаратури сусідні рядки зображення не збігаються, у результаті чого утворюються нерівні зламані лінії контурів об'єктів. Усе це приводить до того, що параметри форми однотипних об'єктів змінюються.

Розмір зображення на оптико-електронних знімках змінюється по полю в залежності від кута поля зору чи кута візування. У межах кута 40° зміни розміру зображення незначні, важко виявляються при вимірах і практично на точність розпізнавання не впливають. При середніх кутах поля зору (до 80°) і особливо великих (до $120-180^\circ$), коли розмір зображення інтенсивно змінюється і на краю складає усього від $1/2$ до $1/8$ і менше розміру такого ж об'єкта в центрі знімка, цей факт не враховувати не можна.

Тон зображення об'єктів і тил на оптико-електронному знімку визначається трьома загальними основними факторами:

освітленістю місцевості;

структурою поверхні і характером поширення відбитого світла;

властивостями речовини поглинати і відбивати світлову енергію.

Місцевість може бути освітлена прямим і розсіяним сонячним світлом. Розсіяне сонячне освітлення має місце при низькому стоянні Сонця і у разі перебування об'єкта в тіні від хмар. У цьому випадку на оптико-електронних знімках тіні від об'єкта і його деталей відсутні, зображення має низьку контрастність. На зображенні деяка розмитість створюється за рахунок закриття одних деталей іншими і більшої яскравості випуклих деталей.

При прямому сонячному освітленні тон всіх об'єктів на зображенні визначається кутом падіння променів на його поверхню. Чим крутіше падають сонячні промені на поверхню, тим більше її освітленість, світліший тон зображення. Більш темною відобразиться ділянка, на яку промені падають під гострим кутом.

Структура поверхні об'єкта також впливає на тон зображення, тому що визначає характер поширення в просторі променистої енергії сонячного світла. Характер зображення залежить від висоти нерівностей, довжини хвилі, кута опромінення поверхні і їх співвідношень. У залежності від характеру поширення відбитої енергії виділяють три основні групи поверхонь.

Дзеркальні поверхні відбивають падаючі на них промені переважно в одному напрямку, відповідно до законів геометричної оптики. До таких поверхонь відносяться вода, сніжний наст, оголений базальт і сухий солончак, полірований метал і глянцева емалеві фарбування. Якщо відбиті від них промені попадають у об'єкти чи на прийомну антену, то така поверхня зобразиться дуже світлим тоном.

Гладкі (мало шорсткуваті, матові) поверхні відбивають падаючу чи випромінюють енергію в усі сторони майже однаково (дифузно). До них відносяться утрамбована земля і сніг, шосейні дороги, матові фарбування металевих поверхонь. У залежності від положення відбиваючої площини і кута її спостереження вона зображується різним, але рівним тоном – від сірого до чорного.

Третя група – це поверхні зі змішаною відбивною здатністю. Існує багато різних видів таких поверхонь. Приведемо два приклади.

Шорсткувата поверхня значну кількість променистої енергії відбиває убік її джерела. Тому яскравість тону зображення залежить від напрямку на поверхню, що спостерігається. Найбільш світлими зображуються поверхні при спостереженні їх з боку падіння променів, найбільш темними – при спостереженні проти. До таких поверхонь відносяться поорана чи перекопана земля, щебінь, шлак і низька трав'яна рослинність.

Пористі (ворсисті) поверхні мають змішане відображення. Елементи структури поверхні звичайно орієнтовані однаково, і тон їх зображення міняється в залежності від кута падіння променів і напрямку спостереження. До цієї групи відносяться поверхні зі значною за площею величиною елементів: лісові і чагарникові масиви, засіяні хлібні поля, місцевість, покрита валунами. Найбільш світлою така поверхня зобразиться при візуванні з боку падіння променів, найменше – з протилежної.

Тон оптико-електронного зображення багато в чому залежить від коефіцієнта відбивання поверхні, який визначається рядом факторів і є величиною непостійною. Значення коефіцієнта коливається від 0,02-0,15 у ґрунтів і рослинних покривів, 0,2-0,5 у штучних матеріалів, до 0,8-1,0 у сніжного покриву.

Більшість об'єктів мають різноманітні кольори, що часто змінюється протягом часу. У залежності від властивостей об'єктів, природних і погодних умов хвилі різної довжини поглинаються і відбиваються по-різному. Крім того, одні поверхні (в різному ступені) відбивають до 6-7 ділянок спектра, інші – всього 3-4. Ті промені, що більше відбиваються, чим поглинаються, визначають колір об'єкта. Оскільки багато об'єктів відбивають промені декількох ділянок, спостерігається велика розмаїтість відтінків кольорів.

Зміни у відбивній здатності, неоднаковий вплив кольорів на фотодатчики викликають різні ахроматичні тони зображення.

Особливості прояву розпізнавальних ознак на інфрачервоних зображеннях. У ІЧ-системах потік енергії, прийнятий від об'єктів перетворюється в електричний сигнал з наступною його візуалізацією. Таким чином, на ІЧ-знімку різними тонами зображуються ділянки ландшафту й об'єкти, що мають різну енергетичну світимість у робочому діапазоні довжин хвиль. При цьому, чим більшу енергетичну світимість має об'єкт, тим меншу оптичну щільність має його зображення.

Процес розпізнавання об'єктів на реальних інфрачервоних знімках представляє для дешифрувальника значні труднощі. Це визначається наступними специфічними особливостями:

наявністю растрової структури;

наявністю змінного масштабу і геометричних викривлень зображення;

значною залежністю просторового розподілення теплових контрастів місцевості від часу доби, пори року, географічних координат, фізичних і оптичних характеристик об'єктів і тонів;

відсутністю, на даний момент, достатнього досвіду дешифрування інфрачервоних знімків.

Формування тонів і тонових контрастів на інфрачервоних зображеннях відбувається по іншому, у порівнянні з тонами і контрастами зображень, отриманих у видимому діапазоні.

У ближній інфрачервоній області світимість об'єкта залежить, в основному, від коефіцієнта відбивання й освітленості. Ближнє інфрачервоне випромінювання, з усіма фізичними властивостями видимого світла, має інший розподіл оптичних характеристик тіл і об'єктів, створюючи своєрідний розподіл тонів і контрастів. У зв'язку з цим не виявляються й визначаються об'єкти, зображення яких не виділяються тоном чи кольором на звичайних знімках. Так, істотні зміни спектральної яскравості ушкодженої і зрізаної зелені в інфрачервоному діапазоні дозволяють викрити її використання для маскування об'єктів. Зрізані гілки дерев і трава дадуть більш темний тон зображення, ніж недоторкана рослинність. Порівняння кривих спектрального відображення природної зелені і маскувального покриття показує, що пофарбований чи покритий маскувальною мережею об'єкт зобразиться більш темним тоном і може бути виявленим на світлому тлі навколишньої рослинності.

Тон зображення в середній і довгохвильовій областях інфрачервоного спектра (4-15 мкм) визначається дією двох складових – відбитої сонячної енергії (у меншому ступені) і інших зовнішніх джерел та власним випромінюванням об'єктів, обумовленим випромінювальною здатністю і температурою [47, 48].

Усі фізичні тіла, що мають температуру вище абсолютного нуля, випромінюють електромагнітну енергію інфрачервоного (теплого) діапазону. Відповідно до закону Стефана-Больцмана інтегральна енергетична світність M_e реальних тіл прямо пропорційна абсолютній термодинамічній температурі T в четвертому ступені та інтегральному коефіцієнту теплового випромінювання E

$$M_e = E \cdot \delta \cdot T^4, \quad (7.2)$$

де δ – постійна Стефана-Больцмана.

Оскільки існуючі інфрачервоні системи приймають випромінювання вузького спектрального складу, їх вхідний сигнал пропорційний інтегралу від спектральної щільності енергетичної світності

$$M_{e\lambda_1 \dots \lambda_2} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{e\lambda} M_{e\lambda} d\lambda, \quad (7.3)$$

де $M_{e\lambda_1 \dots \lambda_2}$ – енергетична світність в спектральному діапазоні довжин хвиль від λ_1 до λ_2 ;

$M_{e\lambda}$ – спектральна щільність енергетичної світності, обумовлена законом Планка

$$M_{e\lambda} = C_1 \cdot \lambda^{-5} \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1 \right]^{-1}, \quad (7.4)$$

де C_1, C_2 – постійні закону Планка.

Усі природні утворення мають високий коефіцієнт інфрачервоного випромінювання в межах 0,8-0,95 і створюють світлі тони зображення; метали і деякі будівельні матеріали мають коефіцієнт порядку 0,05-0,2 і зображуються темними тонами. Погано випромінює спокійна водна поверхня, вона зображується темним тоном. В інфрачервоному діапазоні добре випромінюють морські хвилі і буруни, які зображуються світлим тоном.

Чим більшу температуру має об'єкт, тим більше він випромінює, і тим світліше буде його зображення. Це дозволяє розкривати прогріту чи з працюючими двигунами техніку, виявляти замасковану техніку, напівпідземні і підземні об'єкти.

Через те, що енергетична світність фізичного тіла пропорційна двом величинам – T і E , на інфрачервоному знімку об'єкти будуть відтворюватися роздільно при наступних умовах:

$$1) T_1 = T_2, \quad E_1 \neq E_2; \quad 2) T_1 \neq T_2, \quad E_1 = E_2; \quad 3) T_1 \neq T_2, \quad E_1 \neq E_2.$$

Причому в третьому випадку при визначеній комбінації величин T_1, T_2, E_1, E_2 можлива рівність випромінювальних властивостей об'єктів і неможливість їх розпізнавання на інфрачервоних знімках.

Як приклад в табл. 7.2 приведені значення інтегральних коефіцієнтів теплового випромінювання деяких матеріалів [47, 48].

Вплив альbedo (коефіцієнта відображення) двоякий. Об'єкти, що мають низьке альbedo, більш піддані тепловому нагріванню сонячним випромінюванням і відповідно мають на зображенні світлий тон. З іншої сторони, об'єкти з високим альbedo (у денний час і безхмарну погоду) відбивають більшу кількість інфрачервоного випромінювання, і за певних умов (тип і орієнтація поверхні об'єкта) теж можуть мати світлий тон на зображенні.

Наявність залежності просторового розподілу теплових тонів і контрастів місцевості, що спостерігається, від погодних умов, часу доби, пори року, географічних координат ускладнює дешифрування.

Наявність хмарності і вітру значно знижує температуру об'єктів земної поверхні. Крім того, при вітрі можливе утворення вітряних аномалій на інфрачервоному зображенні (телові зони за перешкодами).

Під час дощу теплові контрасти об'єктів зменшуються через дію води, що нівелює температуру поверхонь об'єктів. Крім того, при цьому випромінювачем фактично стає

тонка водяна плівка на поверхнях, що зменшує розходження коефіцієнтів випромінювання об'єктів і тіл.

Таблиця 7.2. Інтегральні коефіцієнти теплового випромінювання деяких матеріалів

Матеріал	T^0, C	E
Алюміній: неопрацьована поверхня	20 ... 50	0,06 ... 0,07
окислений	50...500	0,2 ... 0,3
Залізо: заржавлене	20	0,61 ... 0,85
окислене	100	0,74
Сталь: заржавлена	20	0,69
нержавіюча	20... 700	0,16...0,45
Бетон	20	0,92
Вода: лід	-10	0,95
сніг	-10	0,85
Гудрон	-	0,5...0,7
Цегла червона	20	0,93

Порівняння денних і нічних інфрачервоних знімків дозволяє визначити їх розходження, що викликається:

по-перше тим, що в денних умовах на тон зображення впливають як правило два фактори: відбита сонячна енергія і власне випромінювання об'єктів, уночі – в основному тільки другий;

по-друге, різними знаками теплових контрастів об'єктів і тіл. Варто пам'ятати, що практично для кожного конкретного сполучення «об'єкт-фон» існує явище інверсії контрасту, обумовлене розходженнями у величині теплової інерції об'єкта і фону (рис.7.4);

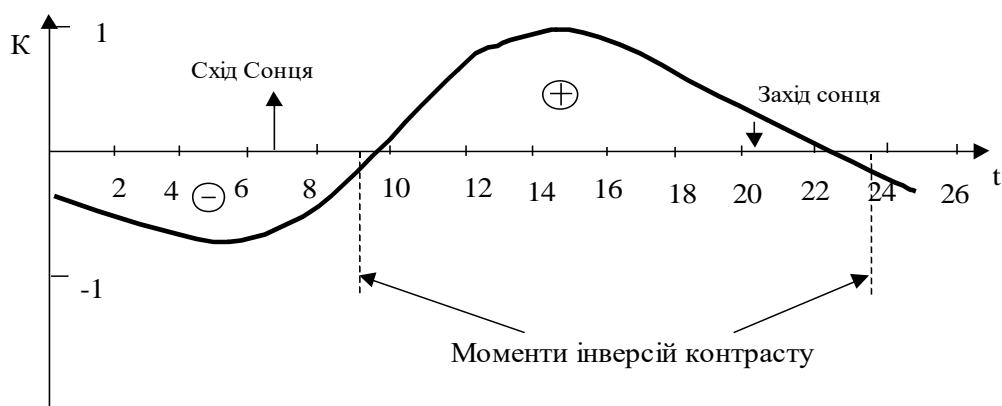


Рис.7.4. Явище інверсії теплового контрасту протягом доби

по-третє, співвідношення температур, а отже, і тонів зображення змінюється протягом доби. Отримані в різний час після заходу Сонця зображення тих самих об'єктів мають різний тон, що необхідно враховувати для запобігання помилок розпізнання;

по-четверте, відсутність тіней на нічних знімках. Ця відмінність є наслідком дії направленої сонячної випромінювання, що, поряд з утворенням тіней у денний час, спотворює форму і розміри (принаймні по одній координаті) штучних об'єктів, а в деяких випадках може бути причиною невиявлення чи хибного тлумачення сутності об'єкта.

Наприклад, наслідком дії сонячного випромінювання є спотворення на інфрачервоному знімку розмірів металевих об'єктів. Нічні інфрачервоні знімки в порівнянні з денними знімками несуть більше інформації про якісний стан об'єктів, оскільки дозволяють більш точно визначити форму і розміри, а також функціональні стани об'єктів розвідки.

Додаткові труднощі при дешифруванні інфрачервоних знімків приносять помилкові інфрачервоні тіні, що утворюються наприклад, після довгого перебування літака на стоянці і повторюють на інфрачервоному знімку форму літака після його відльоту.

З урахуванням названих особливостей вважається, що інфрачервоні знімки несуть додаткову інформацію оптико-електронним знімкам. Інфрачервоні спостереження є ефективним засобом викриття замаскованих об'єктів, а також сприяє визначенню стану об'єктів (ступінь їх готовності до бойових дій і т.п.).

Особливості прояву розпізнавальних ознак на радіолокаційних зображеннях. Радіолокаційні знімки мають багато специфічних особливостей. Яскравість і напрямок природного освітлення об'єктів, наявність камуфлюючого фарбування, застосування маскувальних засобів від оптичних систем спостереження не позначаються на їх радіолокаційному зображенні.

Масштаб радіолокаційного знімка вважається практично постійним по полю зображення, тому розмір об'єктів не змінюється, де б вони не знаходились на знімку. Зміна розміру однотипних об'єктів можлива лише у зв'язку з порушенням рівності масштабів уздовж і поперек напрямку руху, викривленням, перекручуванням конфігурації площ і протяжних об'єктів.

Найбільш важливою демаскуючою ознакою при радіолокаційній зйомці є відбивна здатність об'єктів і фону, що створює тон та структуру радіолокаційного зображення, і в остаточному підсумку всі прямі і непрямі дешифрувальні ознаки об'єктів. Відбивна здатність об'єктів є складною функцією великої кількості змінних:

- потужності сигналу, відбитого від поверхні;
- потужності передавача в імпульсі;
- коефіцієнта підсилення антени;
- довжини хвилі випромінювання;
- дальності за нахилом;
- кута нахилу випромінювача;
- ширини діаграми спрямованості у вертикальній площині;
- ширини діаграми спрямованості у горизонтальній площині;
- поляризації випромінювання і тривалості імпульсу.

За інших рівних умов тон радіолокаційного зображення залежить від електричних властивостей і нерівностей (шорсткості) відбиваючої поверхні. При опроміненні земної поверхні енергія електромагнітного поля частково поглинається ґрунтом і рослинним покривом, а частково відбивається. Чим вище електрична провідність поверхні, тим більша частина енергії відбивається. Провідність ґрунту і рослинності визначається її вологістю, тому зволожені ділянки земної поверхні відбивають електромагнітні хвилі більш інтенсивно, чим сухі.

Від гладкої поверхні, розміри якої значно перевершують довжину хвилі, радіохвилі відбиваються дзеркально. У сантиметровому діапазоні дзеркальне відбиття спостерігається лише для досить гладких поверхонь, таких, як спокійна водяна поверхня, бетоновані злітні смуги і руліжні доріжки аеродромів і т.п. Електромагнітна енергія від дзеркально відбиваючих ділянок місцевості не потрапляє на антену радіолокаційної станції (РЛС), і на радіолокаційному зображенні ці ділянки мають темний тон.

Відбиття від шорсткуватих поверхонь носить дифузійний характер. При цьому падаюча електромагнітна хвиля розсіюється у всіх напрямках і частина її повертається до радіолокатора. Велика частина поверхні суші через наявність рослинності відбиває дифузно. Поверхні, що відбивають дифузно мають більш світлий тон, у порівнянні з дзеркально відбиваючими ділянками.

Поверхня проміжної (середньої) шорсткості розсіює незначну частину енергії у всіх напрямках і більшу частину відбиває дзеркально.

Дзеркальний чи дифузійний характер відображення визначається величиною нерівностей поверхні, що опромінюється, довжиною хвилі і кутом опромінення. Поверхня, шорсткувата для сантиметрового діапазону хвиль, може бути дзеркальною для метрового. Тому тон тієї самої ділянки місцевості на радіолокаційному зображенні може виявитися світлим чи темним, в залежності від довжини хвилі РЛС.

У загальному вигляді всі прості об'єкти, виготовлені з металу, інтенсивно відбивають радіохвилі, тому тон їх зображення завжди буде найбільш світлий. Земна поверхня, покрита рослинністю, зображується в основному світло-сірими тонами. Усі непокрите рослинністю ділянки мають сірі і досить темні тони. Нерівна, особливо гірська, місцевість зображується складним малюнком: схили, обернені у бік РЛС мають світлий тон, зворотні – темний. Тон спокійної водної поверхні звичайно темний, неспокійної – нерівний, зі світлими і темними плямами різної величини.

Радіолокаційні зображення однорідних поверхонь на відміну від знімків у видимому та інфрачервоному діапазонах спектра мають зернисту структуру. Це обумовлено монохроматичністю випромінювання РЛС, у той час як освітлення місцевості при оптикоелектронній зйомці створюється сонцем чи штучними джерелами, що мають широкий спектр випромінювання. Зменшення зернистості, а, отже, покращення дешифрувальних якостей радіолокаційних зображень досягається збільшенням кількості незалежних відліків сигналу, що усереднюється в елементі розділення вхідного зображення.

Відмітки об'єктів, що рухаються, на радіолокаційному зображенні, отриманому за допомогою радіолокатора із синтезованою апертурою, зміщені щодо свого істинного положення на величину, пропорційну радіальній складовій швидкості об'єкта. Наприклад, відмітка автомобіля може бути зміщена відносно радіолокаційного зображення дороги, по якій він рухається. Збільшення швидкості об'єкта приводить до ослаблення його відмітки на радіолокаційному зображенні, а при деякій швидкості – і до його провалу. У режимі селекції рухомих цілей послаблюється радіолокаційне зображення місцевості і нерухомих об'єктів і виділяються відмітки рухомих цілей. У такий спосіб проявляється нова демаскуюча ознака – швидкість руху об'єкта.

У зв'язку з тим, що динамічний діапазон відбитих радіосигналів значно ширше динамічного діапазону пристрою реєстрації, виникає необхідність ущільнення сигналу для того, щоб уникнути втрати деталей зображення. Але при сильному ущільненні всі сигнали з малою амплітудою концентруються у вузькому діапазоні, що також може привести до втрати інформації.

Об'єкти радіолокаційного спостереження можна поділити на точкові, протяжні, площинні і групові. До точкових відносяться об'єкти, розміри яких менші чи дорівнюють елементу розділення РЛС. На радіолокаційному зображенні такі об'єкти відображаються у виді точкових відміток, що не передають форму об'єкта.

Протяжні об'єкти мають один габаритний розмір, а площинні – два габаритних розміри, які істотно переважають лінійне розділення РЛС. На радіолокаційному

зображенні ці об'єкти відображаються у вигляді витягнутих чи площинних відміток, що повторюють конфігурацію об'єкта.

Групові об'єкти складаються з набору точкових, протяжних і площинних об'єктів, що займають значну площу.

Радіолокаційні зображення об'єктів складної форми (автомобіль, літак, будівля і т.д.) формуються сукупністю окремих яскравих плям, що відпо-відають так названим «блискучим точкам» об'єктів, які створюють сильний відбитий сигнал у напрямку на РЛС. «Блискучі точки» утворюються поверхнями об'єктів, що розташовані перпендикулярно напрямку опромінення, а так само елементами конструкції, що створюють кутові відбивачі. Конкретний вид радіолокаційного зображення об'єкта складної форми залежить від його орієнтації щодо напрямку опромінення, тому що при зміні орієнтації міняється кількість і взаємне розташування «блискучих точок». Об'єкти та конструкції, розташовані над дзеркальною поверхнею, наприклад міст над водою, можуть створювати багаторазове відображення.

У РЛС (так само як і у аналогічних оптико-електронних системах) з автоматичним регулюванням підсилення коефіцієнт підсилення електронного тракту для кожного елемента дальності залежить від середнього рівня сигналу з ділянки. Автоматичне регулювання підсилення дозволяє збільшити контрасти при спостереженні сусідніх об'єктів, ніби підкреслюючи контури зображення. Разом з тим ділянки місцевості, що мають однакову відбивну здатність, будуть мати рівну щільність на знімку в залежності від характеру місцевості, яка оточує дану ділянку, що утрудняє дешифрування місцевості по тону зображення.

Різні споруди, будівлі і техніка, як правило, мають високу електро-провідність і тому високий коефіцієнт відображення. Відбивні властивості простих об'єктів прийнято оцінювати ефективною площею відбивання, що вимірюється квадратними метрами. Вона залежить від декількох факторів у тому числі від просторового положення об'єкта, і справедлива тільки для визначених умов. Чим більше чисельне значення ефективної площі відбивання (ЕПВ), тим інтенсивніше відбиває радіохвилі об'єкт, а відмітка від нього буде крупніше і більш світлою. Так, оцінка від середнього бомбардувальника, що має ЕПВ 20-30 м² буде значно більше і світліше, ніж оцінка від автомобіля з ЕПВ 1-3 м².

Тіні від об'єктів на радіолокаційних знімках мають істотну відмінність від тіней на інших знімках. Радіолокаційні тіні спрямовані завжди перпендикулярно подовжній стороні знімка (осі В) і мають однаковий темний тон. Об'єкти розташовані в області тіні, на радіолокаційному знімку не зображуються. Довжина тіні залежить від дальності до об'єкта, кута візування й підвищення місцевості, що знаходиться за ним. Чим вище об'єкт і далі розташований від проекції лінії руху, тим довша від нього тінь. У тому випадку, коли перед високим об'єктом розташовується більш низький, тінь утвориться від його відмітки. Якщо за високим об'єктом знаходиться височина, то довжина тіні коротшає пропорційно висоті височини.

У цілому особливості РЛ знімків дозволяють отримувати при їх дешифруванні якісно нову інформацію про об'єкти і місцевість у порівнянні з іншими засобами.