

Лекція 8. Завдання та загальні принципи організації візуального дешифрування знімків. Особливості сприйняття людиною аерокосмічних зображень. Основні завдання тематичної обробки даних дистанційного зондування Землі, методи та сучасні програмні засоби їх вирішення

Усі задачі дешифрування аерокосмічних знімків можна розділити на дві групи:

1) задачі щодо одержання узагальненої інформації про поверхню Землі;

2) задачі щодо визначення наявності об'єктів на земній (водній) поверхні та їх характеристик [6].

Перша група задач охоплює виявлення дорожньої мережі, населених пунктів, гідрографії, рослинності й інших елементів місцевості та встановлення їх взаємозв'язків, складання і відновлення топографічних карт тощо.

Друга група задач – це розвідка, таксація лісу, кадастрові зйомки тощо. Таксація лісу – це облік лісу, його матеріальна оцінка, визначення віку, висоти та діаметра, деревини, її річного приросту. Кадастр – систематизоване зведення відомостей, буває земельний, водний, лісний.

Залежно від призначення і задач, розв'язуваних у процесі дешифрування знімків, розрізняють два види дешифрування – загальногеографічне і галузеве.

Загальногеографічне дешифрування має на меті вирішення першої групи задач і містить у собі два різновиди дешифрування – топографічне і ландшафтне.

Топографічне дешифрування знімків проводиться з метою виявлення, розпізнавання й одержання характеристик об'єктів, що повинні бути зображені на топографічній карті прийнятими умовними позначками.

Ландшафтне дешифрування знімків здійснюється під час регіонального або типологічного районування території, вивчення динаміки й особливостей розвитку ландшафтів, впливу на ландшафт різних видів діяльності тощо.

Галузеве дешифрування застосовується для розв'язання задач, віднесених раніше до другої групи, і його різновиди досить

численні, наприклад задачі щодо визначення характеристик окремих об'єктів, що розташовуються на земній поверхні.

Види та різновиди дешифрування знімків не є різко відмінними й не зв'язаними один із одним. Це, зокрема, виявляється в єдності методів і способів виконання.

Виявлення – початковий етап дешифрування. На цьому етапі відбувається сприйняття об'єкта без з'ясування його сутності; зоровий аналізатор дешифрувальника ніби оцінює відношення сигнал/шум на сегменті зображення, що розглядається, та порівнює його з деяким граничним значенням.

Розпізнавання – другий етап дешифрування, в процесі якого роздільно сприймаються й аналізуються ознаки об'єкта та встановлюється сутність виявленого об'єкта.

Інтерпретація – заключний, найбільш складний етап дешифрування, в процесі якого здійснюються аналіз та узагальнення кількісних і якісних характеристик (ознак) об'єкта з метою встановлення його стану, небезпеки (значимості) в конкретній обстановці, прогнозу часу життя та дії.

Дешифрування за ступенем своєї складності належить, безсумнівно, до інтелектуальних процесів, виконання яких вважалося донедавна прерогативою тільки людини. Однак спроби створення систем штучного інтелекту роблять реальною перспективу виконання дешифрування знімків із застосуванням електронно-обчислювальних машин (ЕОМ). Отже, можна виділити три способи виконання дешифрування:

1) *візуальний*, за якого інформація із зображення зчитується зоровим апаратом дешифрувальника та ним же аналізується;

2) *автоматичний*, за якого процес дешифрування цілком виконується штучною системою – ЕОМ;

3) *автоматизований*, за якого в процесі дешифрування дешифрувальник користується допомогою ЕОМ [2].

Оскільки більшість знімків є дрібномасштабними та низько-контрастними, то під час візуального дешифрування широко застосовуються різні оптичні й оптико-електронні прилади, що дозволяють поліпшити умови розглядання зображень людиною.

Можливості автоматичного дешифрування знімків зараз активно вивчаються. Вже створені експериментальні зразки систем автоматичного дешифрування, що забезпечують виявлення мінних

полів, розпізнавання літаків, інтерпретацію зон аеродромів тощо [2]. Дослідження таких зразків показують, що за досить вузької предметної області системи автоматичного дешифрування можуть забезпечити ефект, порівнянний із результатами візуального дешифрування. Інший підхід полягає у використанні когерентно-оптичних засобів, для яких зображення є природною формою представлення оброблюваних сигналів.

В ході автоматизованого дешифрування знімків ступінь залучення ЕОМ у цей процес може бути різним, однак на всіх етапах обробки даних пріоритет у прийнятті рішення належить людині. Особливе значення під час автоматизованого дешифрування має програмне забезпечення обробки даних, наявність та характеристики пристроїв уведення/виведення зображень.

Дешифруватися можуть як поодинокі знімки, так і комплекти знімків із зображеннями району. Якщо в ході дешифрування виконується порівняння різних зображень, (виконаних у різний час, у різних спектральних діапазонах, еталонних тощо), то такий метод дешифрування називається *методом порівняння*.

Якщо є два знімки, що утворюють стереопару, та проводиться аналіз цієї стереопари з дотриманням визначених оптичних умов, то такий метод дешифрування називається *стереоскопічним*.

СТРУКТУРА ПРОЦЕСУ ДЕШИФРУВАННЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ

Дешифрування знімків має складний психофізіологічний характер і містить кілька рівнів розумової активності та різної складності логічні рішення [9].

Дешифрування зображення насамперед спирається на зорове сприйняття. В результаті його в свідомості виникають образи та уявлення, на базі яких розпізнається й інтерпретується зображення. Це досягається шляхом порівняння побаченого із зафіксованими в пам'яті образами і відмітними ознаками об'єктів.

З погляду *психології* дешифрування за своєю формою є специфічним *інформаційно-логічним* процесом, у результаті якого формуються відомості про об'єкт, що тією або іншою мірою відображають його дійсний стан. Ступінь відображення дійсності залежить як від інформативності зображення, так і від багатьох

особистих якостей дешифрувальника. За змістом дешифрування являє складну *евристичну* діяльність в умовах надлишку або нестачі інформації та дефіциту часу.

Надлишок інформації пов'язаний із відображенням на знімку дрібних деталей, безлічі топографічних та цивільних об'єктів, розпізнавання яких взагалі або на окремих етапах не входить до завдання дешифрування. Недолік інформації пов'язаний з втратою багатьох деталей об'єктів у зв'язку з недостатньою роздільною здатністю системи або відсутністю відображення деяких ознак (наприклад, кольору, температури, матеріалу) на окремих видах зображень. Крім того, дешифрування пов'язане з розпізнаванням дуже малих за розмірами і малокоонтрастних зображень об'єктів на фоні шумів, а їх геометричні й оптичні характеристики перевернуті та непостійні порівняно з властивостями реальних об'єктів.

Процес дешифрування складається з декількох рівнів та етапів, що ведуть дешифрувальника від *виявлення* до *впізнання й класифікації* об'єктів, а потім до їх загальної оцінки, виявлення *сутності* складного об'єкта і формування інформації про нього. Залежно від властивостей досліджуваних зображень, характеру місцевості та розташованих на ній об'єктів, кваліфікації дешифрувальника, інших факторів рівні й етапи можуть чітко розділятися або непомітно переходити один в інший.

У загальному вигляді структура процесу дешифрування може бути зображена чотирма рівнями (рис. 1.1).

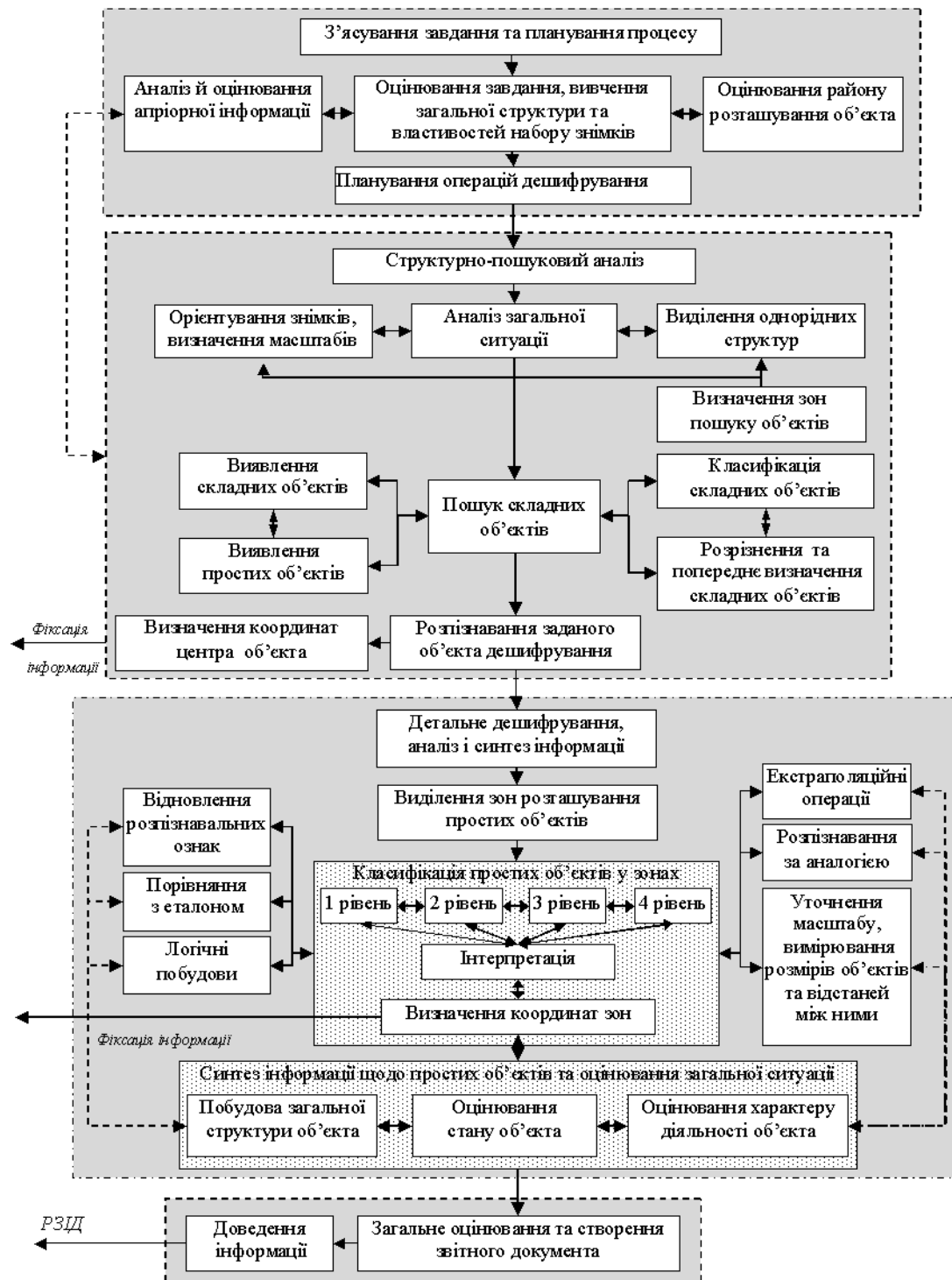


Рис. 1.1. Структурна схема процесу дешифрування

На першому рівні відбувається своєрідне психологічне налаштування дешифрувальника, з'ясування видів інформації, що підлягають обробці, оцінювання задачі та формування моделі її розв'язання (планування дешифрувального процесу).

На другому рівні виконується пошук і виявлення заданих об'єктів (структурно-пошуковий аналіз). Залежно від ситуації, характеру місцевості й особливостей об'єкта пошук відбувається від часткового та більш простого до загального і складного або навпаки. З безлічі зображених об'єктів на цьому рівні вибираються потрібні або задані. Знаходження об'єкта може відбуватися відразу або шляхом більш-менш тривалого перебору ряду ознак та образів.

На третьому рівні відбувається детальний аналіз зображення: впізнання й інтерпретація простих і складних об'єктів. Практично миттєво 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 із залученням узагальнень, аналізу зображень і синтезу отриманої інформації.

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

На четвертому рівні формується судження про окремі об'єкти, їхні групи й об'єкти дешифрування загалом, робиться остаточний висновок про характер, стан і діяльність об'єкта, а також коротко формулюється та записується інформація.

Успіх дешифрування залежить від цілого ряду об'єктивних і суб'єктивних факторів, які за характером та суттю впливу на психофізіологічну діяльність фахівців можуть бути розділені на п'ять груп.

До першої групи входять характеристики матеріалів дешифрування. До них належать:

роздільна здатність знімка (просторове розрізнення);

інформативність зображення;

вид, характер зображення та його радіометричних, геометричних викривлень;

якість та ступінь попередньої обробки знімків.

Просторове розрізнення (на місцевості) – характеристика зображення, створювана видовим технічним засобом, яку визначає розмір найменшого компактного об'єкта або ширина видовженого об'єкта певного контрасту, якого можна визначити (розрізнити) на цьому зображенні із заданою ймовірністю [10].

Друга група містить показники технічного оснащення дешифрувального процесу.

Поряд із об'єктивним станом техніки, що забезпечує процес дешифрування, в цю групу входять такі суб'єктивні фактори, як ступінь використання наявних технічних засобів, забезпечення розпізнавального процесу допоміжними матеріалами (довідниками, еталонами тощо).

Третю групу факторів складають класифікація об'єктів, вимоги до повноти та детальності дешифрування. Ці фактори впливають на якість інформації і швидкість дешифрування, тому що залежно від постановки задачі на дешифрування можуть активізувати або сповільнювати розпізнавальну діяльність. Чим повніше класифікація та вимоги відповідають задачам дешифрування, тим більше вони сприяють формалізації розпізнавальної діяльності, визначають склад, обсяг і послідовність аналізу зображень, викладення даних, термінологію.

До четвертої групи входять психофізіологічні якості та кваліфікація дешифрувальників. Ефективність зорового сприйняття визначається світло- та кольоророздільною чутливістю, роздільною, пропускнуою здатністю зорового аналізатора, часовими характеристиками розділення і працездатністю. Ефективність усього складного процесу сприйняття й інтерпретації зображення в умовах дефіциту часу залежить від пам'яті, вміння зосереджуватися, аналізувати та мислити логічно, творчої уяви тощо.

П'яту групу складають організаційно-технологічні фактори. Це насамперед організація робочих місць, їх планово-попереджувальне обслуговування, технологія та методика дешифрування, санітарно-гігієнічні умови праці, організація робіт і керування дешифруванням. Правильна й чітка організація робіт зі своєчасним обладнанням та обслуговуванням робочих місць визначають не тільки якість, але й терміни дешифрування.

КЛАСИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ДЕШИФРУВАННЯ

Об'єкт дешифрування – об'єкт космічної розвідки, що відображений на космічному знімку [7].

Класифікація об'єктів дешифрування забезпечує:

систематизацію всього різноманіття об'єктів, що зустрічаються під час дешифруванні різних видів зображень;

систематизацію знань дешифрувальників, полегшення їх орієнтування в численних простих об'єктах, можливість оперувати в разі необхідності більш загальними категоріями, ніж одиничний об'єкт (тип);

стандартизацію назв простих об'єктів, що прискорює обробку інформації.

Всі об'єкти, розташовані на поверхні Землі, можна класифікувати за різними принципами [7]:

за співвідношенням й абсолютним значенням *лінійних розмірів* об'єкти поділяються на такі: компактні (малорозмірні), точкові, протяжні (лінійні), площинні;

за ступенем рухомості: стаціонарні, малорухомі, рухомі (динамічні);

за положенням щодо земної (водної) поверхні: наземні (надводні), напівзаглиблені, підземні (підводні);

за походженням об'єкта: природні, штучні;

за здатністю відбивати випромінювання: малоконтрастні, контрастні, висококонтрастні.

Чотири рівні детальності інформації про прості об'єкти відповідають вимогам, що ставляться до інформації в ході вирішення практичних задач дешифрування та цілком достатні для характеристики об'єктів і виконання аналізу складного об'єкта. Принципи, що покладені в основу класифікації, полегшують операцію класифікування об'єктів під час дешифрування, виступаючи як визначники для розпізнавання зображень.

Такими визначниками є:

для виду – загальне призначення, середовище пересування (місце розташування), конфігурація та співвідношення габаритних розмірів;

для класу – загальне бойове або виробниче призначення, форма, розміри, характер розташування основних деталей;

для підкласу – бойові властивості, тактичне (виробниче) призначення, маса, потужність або вантажопідйомність, форма, розміри, розташування основних деталей;

для типу – точні розміри, форма об'єкта, розміри, точне положення деталей, конструкція (проект).

Класифікація об'єктів дозволяє в ході виявлення і визначення їх конфігурації, габаритних розмірів тощо віднести об'єкт до одного з видів і передати його сутність точним поняттям, що відбиває загальні технічні характеристики. За необхідності та можливості одержання більш детальної інформації слід виявити додаткові ознаки, характерні для класів, підкласів або типів. Впізнання зображення до типу вимагає більш детального зображення і більш тривалого дешифрування. Інколи під час дешифрування крупнорозмірних об'єктів виникає можливість визначення більш детальної інформації про об'єкт, ніж вимагає категорія класифікації “тип”. У цьому випадку можна говорити про п'яту категорію класифікації об'єктів – *найменування об'єкта*.

ФІЗІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДЕШИФРУВАННЯ

Людський зір – це можливість розпізнавання відмінностей у навколишньому середовищі за допомогою відчуттів, створюваних випромінюванням із довжинами хвиль $\lambda = (0,38 - 0,78)$ мкм (світлом), що потрапляє в око [1, 11].

Дешифрування знімків є фізіологічним процесом, що безпосередньо пов'язаний із роботою зорового аналізатора людини. Останній складається з трьох відділів: 1) ока з фоторецепторами – кінцівками зорового нерва, розташованими в сітківці ока, що сприймають світлові сигнали та перетворюють їх у збудження; 2) провідника – зорових нервів, що передають подразнення в кору головного мозку – центр сприйняття; 3) коркового центру зорового аналізатора – тут нервові збудження перетворюються в зорове відчуття та формуються образ.

Око – це частина органа зору, в якому створюється оптичне зображення предметів навколишнього середовища та відбуваються перетворення цього зображення в нервові збудження.

Якщо розглядати роботу ока з позицій автоматики, то можна сказати, що око має систему самонастроювання, просторову, часову, спектральну й яскравісну селекції, змінний кут зору і змінну роздільну здатність по полю зору.

Схематично будову ока зображено на рис. 1.2. Око має майже кулясту форму та діаметр близько 2,5 см. Зовні воно покрите захисною непрозорою білковою оболонкою (1) білого кольору –

склерою. Передня прозора частина (2) склери називається *роговицею* (роговою оболонкою). На деякій відстані від неї розташована *райдужна оболонка* (3), забарвлена пігментом. Продовження райдужної оболонки по всій внутрішній поверхні ока називається судинною оболонкою – це мережа кровоносних судин, що живлять око. Отвір у райдужній оболонці є *зіницею*.

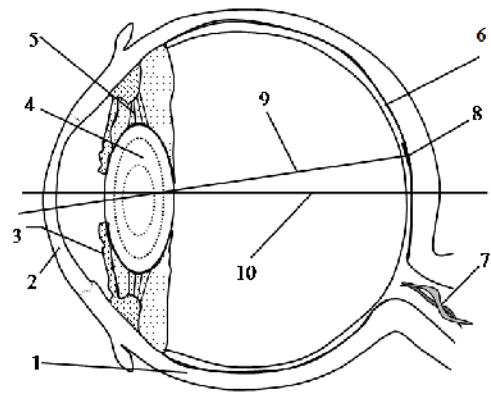


Рис. 1.2. Будова ока людини

Залежно від інтенсивності падаючого світла зіниця рефлекторно змінює свій діаметр приблизно від 2 до 8 мм. Простір між роговицею та райдужною оболонкою (передня камера) заповнено прозорою рідиною. За зіницею знаходиться *кришталік* (4) – еластичне лінзоподібне тіло. Особливий м'яз (5) може змінювати в деяких межах форму кришталіка, змінюючи тим самим його оптичну силу. За умови розслабленого очного м'яза оптична сила ока приблизно дорівнює 59 діоптрій, у разі максимального напруження м'яза – 70 діоптрій. Рогова оболонка, передня камера і кришталік утворюють оптичну систему ока, оптичний центр якої розташований на відстані близько 5 мм від роговиці. Передня фокусна відстань ока – 17,05 мм, задня фокусна відстань – 22,78 мм. Показник заломлення – 1,336.

Частина ока за кришталіком заповнена склоподібним тілом. Задня частина ока – очне дно, покрите *сітчастою оболонкою* (6), яка являє собою складне розгалуження *зорового нерва* (7) з нервовими закінченнями – *паличками* та *колбочками*, що є світлочутливими елементами (фоторецепторами).

Колбочки й палички працюють за умови різних рівнів яскравості об'єкта, що спостерігається. Коли на око впливає яскравість більше 10 кд/м^2 , що відповідає денним умовам освітлення, працює колбочковий апарат. Тому зір, під час якого працюють переважно колбочки, називається *денним*.

Коли на око впливає яскравість менше ніж 10^{-2} кд/м^2 , що відповідає нічним умовам (без штучного освітлення), працює паличковий апарат. Тому зір, під час якого працюють в основному палички, називається *нічним*. Паличковий апарат значно чутливіший до світла, ніж колбочковий, але він має істотний

недолік – не сприймає кольору предметів. Тому всі предмети (включаючи кольорові) в полі зору здаються сірими. Якщо на око діє яскравість, що задовольняє нерівність $0,01 < L < 10$ кд/м² (сутінки), то працюють спільно колбочки і палички.

Колбочки та палички розташовані на сітківці нерівномірно. Колбочки розташовані загалом в центральній частині сітківки, що називається *жовтою плямою* (8). Жовта пляма має овальну форму з діаметром приблизно 1 мм, що відповідає кутові зору у 2°. По середині жовтої плями є поглиблення, що називається *центральною ямкою*. Її діаметр становить 0,25 – 0,3 мм, що відповідає кутові зору приблизно 1°. У разі віддалення від жовтої плями кількість колбочок зменшується, а кількість паличок зростає. За умови великої яскравості (вдень) центральна ямка є місцем найбільш чіткого бачення, а в разі малої – це місце є сліпим, оскільки в ньому вкрай мало паличок.

В ході розглядання зображень око автоматично суміщає найбільш цікаву (інформативну) ділянку зображення з центральною ямкою. Тому зорова вісь ока (9), що проходить через центр кришталіка до об'єкта спостереження, відхилена приблизно на 5° від оптичної осі, що збігається з віссю симетрії оптичної системи ока (10).

Око є нелінійним приймачем світла. Зорове відчуття пропорційне логарифму яскравості, що забезпечує можливість роботи зорового апарата в умовах освітлення від 10^5 до 10^4 лк. Крім цього, шляхом зміни діаметра зіниці є можливість майже в 16 разів зменшити світловий потік, що надходить в око.

Око є вибірквим приймачем, тобто воно має властивість по-різному реагувати на однакову потужність випромінювання різної довжини хвилі. Ця властивість називається *спектральною чутливістю*.

Колір в оці сприймається за допомогою трьох видів колбочок. Одні з них реагують переважно на червоний, другі – на зелений, треті – на синій кольори. Комбінація нервових реакцій, що виникають у цих трьох видах колбочок та в корі головного мозку, створює умови для спостереження всього різноманіття кольорів.

Нормальний зір людини здатний розрізнити від 150 до 4 500 кольорових відтінків у видимій частині спектра. Колірна контрастна чутливість ока найбільша до жовтого і блакитного, де поріг розділення дорівнює 0,001 мкм. Значно нижча чутливість ока до червоного, зеленого й синьо-фіолетового кольорів.

Здатність розрізняти випромінювання різних довжин хвиль у паличок досить обмежена. За нічного зору максимум чутливості ока відповідає довжині хвилі $\lambda = 0,51$ мкм. За денного зору, коли працює переважно колбочковий апарат, максимум чутливості ока лежить на довжині хвилі $\lambda = 0,555$ мкм – у жовто-зеленій частині спектра.

Встановлено [11], що 1 Вт потоку монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 0,555$ мкм дорівнює 680 лм світлового потоку. Отже, максимальне значення спектральної чутливості ока чисельно дорівнює $K_{\lambda_{\max}} = 680 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

Відношення значень спектральної чутливості до максимальної чутливості ока називається *відносною спектральною чутливістю* або *відносною спектральною світловою ефективністю*.

За угодою, прийнятою в 1924 р. Міжнародною освітлювальною комісією, основною функцією спектральної чутливості ока прийнята функція відносної світлової ефективності в умовах денного зору, що покладена в основу побудови системи світлових величин і одиниць.

Світлові та колірні пороги зору. Чутливість ока характеризується величиною світлового відчуття за умови впливу на нього визначеного світлового потоку. Око дуже чутливий приймач. У повній темряві за необмеженого часу впливу світла око здатне реагувати на випромінювання, що дорівнює $2 \cdot 10^{-17}$ Вт (для $\lambda = 0,555$ мкм), тобто око здатне сприймати світловий потік, що складається з декількох десятків квантів за секунду. Таку чутливість мають нервові закінчення – палички сітківки. Зазначене вище мінімальне значення світлової енергії, яку око здатне сприймати, характеризує його *порогову чутливість*.

Пороговий блиск. Порогова освітленість. Велике значення для практичних розрахунків дальності видимості світлових сигналів має порогова освітленість E_D , тобто найменше значення освітленості на зіниці спостерігача, за якого світловий сигнал від точкового джерела є видимим. Міжнародна освітлювальна комісія рекомендує називати граничну освітленість *пороговим блиском*. Порогова освітленість є величиною оберненою до чутливості ока.

Найменшу порогову освітленість отримують у ході спостереження точкового світлового сигналу на абсолютно темному фоні, що відповідає яскравості менше 10^{-6} кд/м². Ця

величина порогової освітленості називається абсолютним світловим порогом зору E_0 (за умови постійного впливу на око).

За даними багатьох досліджень [11], абсолютний поріг (пороговий блиск) E_0 коливається від $0,85 \times 10^{-9}$ до $8,5 \times 10^{-9}$ лк, але зазвичай приймається рівним 10^{-9} лк, практично у повній темряві (за яскравості 10^{-6} кд/м²). Звідси випливає, що пороговою яскравістю називається яскравість об'єкта (точкових розмірів), що спостерігається на фоні яскравістю 10^{-6} кд/м².

Порогова освітленість залежить від яскравості фону адаптації, а в разі збільшення яскравості фону зростає й гранична освітленість. У ході спостереження кольорових джерел світла око спочатку тільки виявляє за допомогою паличок наявність сигналу, а потім за умови збільшення освітленості (наприклад під час наближення до джерела) встановлює кольоровість випромінювання. Тому розрізняють світловий поріг E_{II} і колірний поріг E_{IIK} . З усіх кольорових випромінювань найменший колірний поріг, що дорівнює світловому ($E_{II} = E_{IIK}$), має червоний колір.

Адаптація. Пристосування ока до змінюваних умов освітлення називається *адаптацією* ока. Око має здатність пристосовуватися до широкого діапазону яскравості, що спостерігається. Процес адаптації з меншої яскравості на більшу називається процесом *світлової адаптації*, а процес адаптації з більшої яскравості на меншу – *темною адаптацією*. Адаптація пов'язана зі зміною чутливості ока. Пояснюється це тим, що чутливість ока залежить від концентрації на сітківці світлочутливої речовини. Якщо око спостерігало світлий фон (світлова адаптація), то концентрація зорового фотореагенту зменшилася (відбулося його розкладання), збільшилися шуми ока та потрібна більша освітленість від джерела світла, щоб останній був сприйнятий (зменшення чутливості). Якщо око знаходилося в темряві (темнова адаптація), то концентрація зорового фотореагенту на сітківці збільшилася, зменшилися шуми.

Процес адаптації вимагає часу, причому світлова адаптація відбувається порівняно швидко, протягом 5–8 хв, у той час як повна темнова адаптація більш тривала і забирає приблизно 50–60 хв.

Інерційність зору виявляється в запізненні світлового відчуття відносно початку впливу світлового імпульсу й у наявності протягом деякого часу цього відчуття після того, як імпульс припинився (наприклад від пробліскових джерел світла).

Практичний час наростання та спадання світлового відчуття, приблизно однаковий і становить близько 0,1–0,2 с. Найбільш швидко наростають і загасають відчуття від червоного кольору, потім від зеленого й синього.

Контрастна чутливість ока. Око має здатність розрізнити один об'єкт на одноколірному фоні іншого тільки за деякої різниці яскравості між об'єктом і фоном. Процес зорового сприйняття, за якого починає бути видимим об'єкт у вигляді плями, що не має форми, на фоні даної яскравості називається *стадією виявлення*.

Граничним контрастом називають відношення:

$$K_0 = \frac{L - L_\phi}{L_\phi}, \text{ якщо } L_\phi < L;$$

$$K_0 = \frac{L_\phi - L}{L}, \text{ якщо } L_\phi > L;$$

де L – мінімальна яскравість об'єкта, що ще виявляється;

L_ϕ – яскравість фону.

Контрастною чутливістю називають величину, обернену до найменшого граничного контрасту $1/K_0$.

Величина контрастної чутливості має максимум за яскравості фону 10^3 кд/м². Експериментально доведено, що у світлих тонах $K_{\text{нор}} = 0,02$, у середніх $K_{\text{нор}} = 0,06$, у темних $K_{\text{нор}} = 0,25$.

Фонове освітлення значно впливає на контрастну чутливість ока в зв'язку з його адаптацією. Залежність диференціальної контрастної чутливості ока людини від фонового освітлення показана на рис. 1.3.

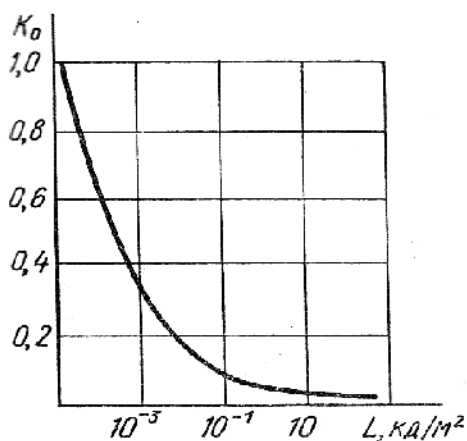


Рис. 1.3. Залежність порога контрастної чутливості ока

від яскравості фону Подальше зменшення фонового
освітлення швидко погіршує
диференціальну контрастну чутливість ока, а подальше збільшення
фонового освітлення її покращує незначно [12].

Акомодація. Основна особливість ока як оптичного інструмента полягає в здатності рефлекторно змінювати оптичну силу (опуклість кришталіка) очної оптики залежно від положення предмета. Таке при-стосування ока до зміни положення предмета, що спостерігається, називається *акомодацією*.

Процес акомодатії й адаптації очей у тренованого дешифрувальника під час спостереження фотозображень займає близько 0,3 с. Промені, що пройшли через кришталік, створюють зменшене і зворотне зображення об'єктів на сітківці ока. Обернення цих зображень відбувається в мозку та є процесом психологічного характеру.

Область акомодатії ока можна визначити положенням двох точок:

дальня точка акомодатії визначається положенням предмета, зображення якого утворюється на сітківці за умови розслабленого очного м'яза. В нормального ока дальня точка акомодатії знаходиться в нескінченності;

ближня точка акомодатії – це відстань від предмета, що розглядається, до ока за максимальної напруги очного м'яза. Ближня точка нормального ока знаходиться на відстані 10–20 см від ока. З віком ця відстань збільшується.

Крім цих двох точок, що визначають границі області акомодатії, в ока існує *відстань найкращого зору*, тобто відстань від предмета до ока, за якої зручніше за все (без надмірної напруги) розглядати деталі об'єкта. Ця відстань у нормального ока дорівнює 25 см.

У разі порушення зору зображення віддалених предметів за умови ненапруженого ока можуть сформуватися або перед сітківкою (*короткозорість*), або за сітківкою (*далекозорість*), рис. 1.4.

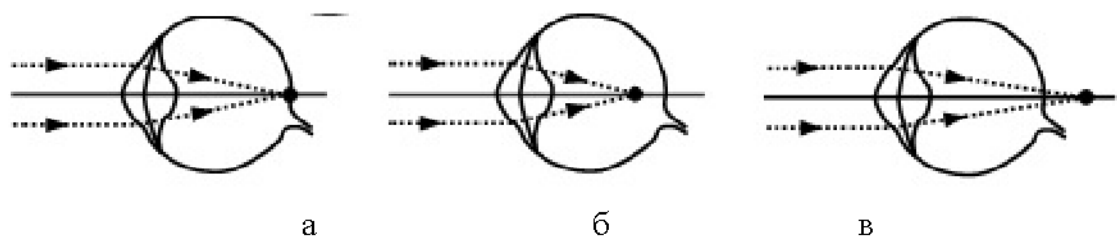


Рис. 1.4. Зображення віддаленого об'єкта:
а – нормальне око; б – короткозоре око; в – далекозоре око

Відстань найкращого зору в короткозорого ока менша, а в далекозорого більша, ніж у нормального ока. Для виправлення дефекту зору використовують окуляри. Для далекозорого ока необхідні окуляри з позитивною оптичною силою (збиральні лінзи), для короткозорого – з негативною оптичною силою (розсіювальні лінзи). Рис. 1.5 ілюструє корекцію далекозорого та короткозорого ока за допомогою окулярів.

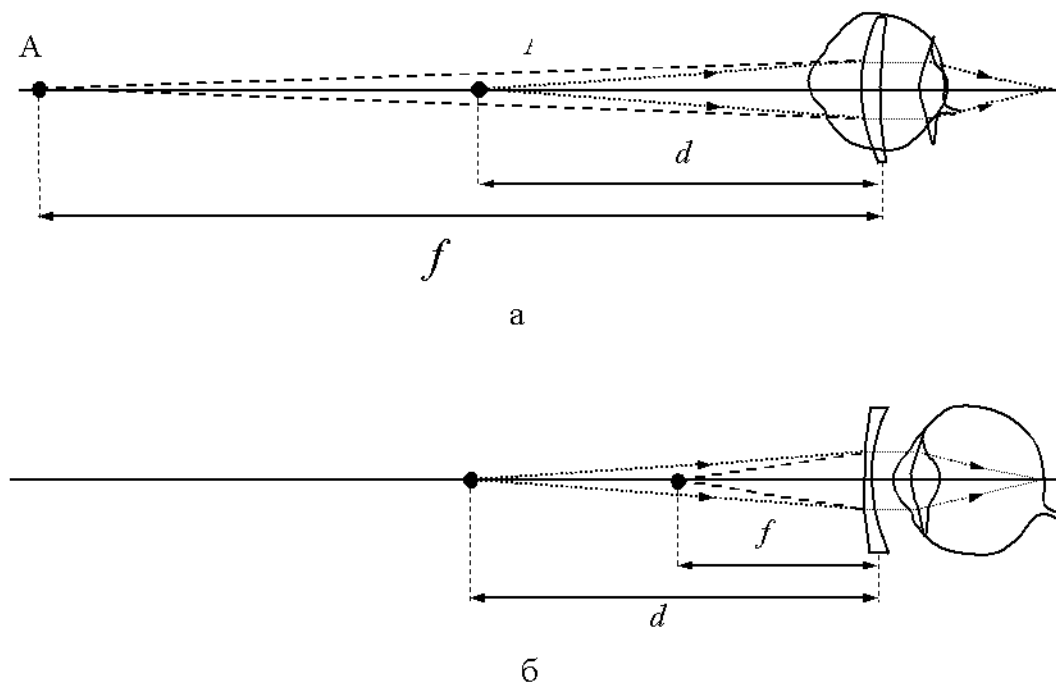


Рис. 1.5. Корекція порушень зору:
а – для далекозорого ока; б – для короткозорого ока

Блискучість і засліпленість. Розподіл яскравості в полі зору спостерігача зазвичай нерівномірний. Зниження видимості виникає з появою в полі зору спостерігача світлових плям з яскравістю, що різко відрізняється від яскравості навколишнього фону. Ця властивість предметів, що спостерігаються, називається їх *блискучістю*. Стан ока, що виникає в результаті впливу блискучості, називається *засліпленістю*.

Недоліки ока: неповне центрування, сферична та хроматична аберація, в результаті чого точка, що спостерігається, зображується на сітківці не у вигляді точки, а у вигляді кружка. Крім того, недоліки ока викликають явище іррадіації, яке полягає в тому, що зображення на сітківці не буває повністю різким, границя світлого й темного обрисів розмита і ми бачимо її не там, де вона знаходиться насправді. Границі

світлого об'єкта ми бачимо або розширеними (позитивна іррадіація), або звуженими (негативна іррадіація).

Зорове стомлення виникає за тривалої роботи ока, особливо під час роботи на стереоскопічних приладах, і виявляється в зниженні працездатності оптичного та м'язового апаратів ока. Стомлення оптичного апарата призводить до зниження роздільної і розпізнавальної здатності ока. Стомлення м'язового апарата зводиться до ослаблення й уповільнення реакції на подразнення окорухійних, акомодацийних та інших м'язів. Ці явища супроводжуються різью в очах, головним болем та іншими розладами нервової системи.

Зорові ілюзії виявляються у викривленні сприйняття розмірів, форм, тонів об'єктів. Найбільш розповсюджена ілюзія в процесі дешифрування – ілюзія зворотного рельєфу.

Розрізнення ока. Мірою розрізнення ока є найменша кутова відстань α_{\min} між двома близько розташованими на деякому фоні точками, які око здатне розрізнити окремо. Крім цього, розрізнення ока може бути оцінена кількістю світлих (або темних) ліній, що розрізняються оком за допомогою спеціальних тестів.

Гостротою зору називається величина, обернена до кута α_{\min} , вираженого в кутових хвилинах:

$$O_{zp} = \frac{1}{\alpha_{\min}}.$$

Граничне розрізнення ока визначається кінцевими розмірами колбочок, абераціями оптики ока і дифракційними явищами в ній.

Людське око з різною гостротою сприймає точкові та лінійні об'єкти. Тому роздільну здатність поділяють на гостроту зору першого й другого роду. *Гостроту монокулярного зору першого роду* визначає мінімальний кут, під яким спостерігач бачить окремо дві точки одиничного контрасту. Величина гостроти монокулярного зору здорової дорослої людини дорівнює від 1 до 0,5 кутових хвилин. У середньому, з відстані 250 мм спостерігач може розрізнити дві контрастні точки між якими 0,06 – 0,07 мм.

Гостроту монокулярного зору другого роду характеризує мінімальний кут, під яким око бачить окремо дві паралельні лінії. Середня величина гостроти монокулярного зору другого роду для вертикальних ліній становить 20". Розрізнення ока залежить від контрасту, яскравості об'єкта, часу спостереження [1].

Поле зору ока. Фізично спільне поле зору ока становить 125° по вертикалі та 150° по горизонталі. В денних умовах людина сприймає світло центральною частиною сітківки (жовтою плямою) у межах $5-10^\circ$. Для чіткого розрізнення за денного освітлення може бути використана лише незначна частина цього поля (приблизно $1,3-1,7^\circ$), яка відповідає центральній ямці. Вся інша частина поля зору слугує тільки для грубого орієнтування в просторі. Внаслідок цього, для огляду навколишнього простору оку доводиться здійснювати кутовий рух у межах $45-50^\circ$.

Прийнято, що все поле зору людини без повороту голови можна розділити на три зони [12]. Перша зона – оперативне поле $3^\circ \times 3^\circ$, у ньому здійснюється миттєва обробка інформації. Друга зона – поле постійного контролю: $\pm 31^\circ$ у горизонтальному напрямку та $+23^\circ \dots -32^\circ$ по вертикалі. У разі появи зорового подразника поза цією зоною людині потрібно повернути голову.

Бінокулярний і стереоскопічний зір. Зір двома очима дозволяє сприймати просторове положення об'єкта. При цьому дешифрувальник встановлює очі так, щоб зорові осі перетиналися у тому місці об'єкта, яке він бажає чітко бачити.

Точка перетину зорових осей F називається *точкою фіксації бінокулярного зору*. Зображення точки фіксації знаходяться в центральних ямках f_1 і f_2 (рис. 1.6). Відстань між передніми вузловими точками очей o_1 і o_2 називається *очним базисом*. Величина очного базису в людей коливається в межах від 58 до 72 мм.

Зображення однієї й тієї ж точки предмета, отримані на сітківках обох очей, називаються *відповідними точками*, а промені, що будують ці зображення та проходять через вузлові точки, – *відповідними променями*.

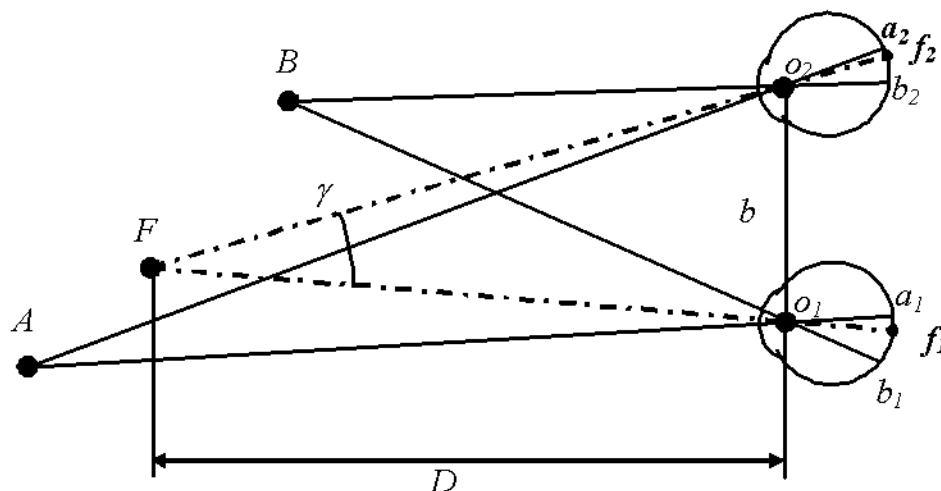


Рис. 1.6. Геометрія бінокулярного зору

Кут між зоровими осями очей називається *кутом конвергенції* γ , а кут між парою відповідних променів – *паралактичним кутом*.

Бінокулярний зір дозволяє об'єднати зображення двох предметів у одне й оцінити глибину. Основним фактором під час оцінювання глибини є *фізіологічний паралакс*, який являє собою різницю дуг, що визначають положення відповідних точок на сітківках, наприклад фізіологічний паралакс точки A :

$$P_{\phi} = f_1 \hat{a}_1 - f_2 \hat{a}_2.$$

Найменша різниця паралактичних кутів, коли ще помітна різниця глибин цих точок, називається *гостротою бінокулярного зору першого роду*. Експериментальним шляхом встановлено, що вона дорівнює $30''$.

Гостротою бінокулярного зору другого роду називається найменша різниця паралактичних кутів для двох вертикальних прямих, за якої ще помітна різниця глибин цих прямих. Ця величина дорівнює $10''$.

Необхідно відзначити, що наведені значення гостроти людського зору отримані за оптимальних умов розглядання, що характеризуються освітленістю об'єктів спостереження 800 лк, світлом із довжиною хвилі $0,50$ – $0,57$ мкм. Відхилення умов освітлення від оптимальних знижує гостроту людського зору.

Існує тісна залежність гостроти зору не тільки від розмірів об'єктів, але й від тонового контрасту зображень, що спостерігаються. Зменшення тонового контрасту викликає зниження гостроти зору, тому воно має компенсуватися збільшенням розмірів зображення об'єкта.

Найменша віддаленість точок, що може бути сприйнята неозброєним оком, визначається рівнянням:

$$\Delta D_{\min} = \frac{D^2}{b} \Delta \gamma,$$

де $\Delta \gamma$ – гострота зору.

Гранична відстань до точки спостереження, за якої очі перестають фіксувати віддаленість точок, називається *радіусом стереоскопічного зору*. За очного базису, рівному 65 мм, радіус стереоскопічного зору – приблизно 1300 м.

Стереоскопічне спостереження знімків. Відомо, що сприйняття глибини можливе і під час спостереження плоских об'єктів (рис. 1.7).

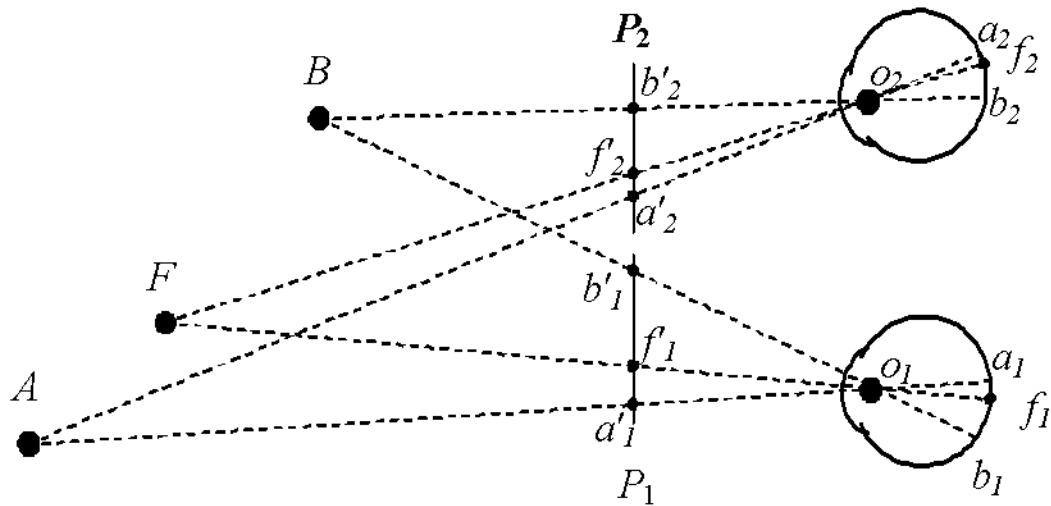


Рис. 1.7. Формування стереоскопічного ефекту під час спостереження стереопари

Якщо площинами P_1 і P_2 , розташованими довільно, перетнути пучки променів o_1AFB і o_2AFB , то точки a_1' , f_1' , b_1' і a_2' , f_2' , b_2' будуть слідами пучків на площинах та являють собою перспективні зображення предмета з центрами проєкцій у точках o_1 і o_2 .

Віддаливши предмет і поставивши вертикальний екран для спостереження кожним оком тільки відповідної йому перспективи, ліве око буде відновлювати точку A на лінії o_1a_1' , а праве – на лінії o_2a_2' . Під час спостереження двома очима буде здаватися, що точка розташована на перетині цих ліній, тобто в тому місці, яке займала в просторі точка A . Аналогічно можна сказати й про точки F і B .

Звідси випливає, що під час розглядання двох плоских перспективних зображень того ж предмета, наприклад двох знімків, можна одержати одне просторове зображення – стереоскопічний ефект. Для отримання стереоскопічного зображення необхідно одержати знімки з двох різних точок простору; масштаби знімків не повинні відрізнятися один від одного більше ніж на 16 %; кожним оком потрібно спостерігати окремий знімок; кут, під яким перетинаються відповідні промені, не повинен перевищувати 16° ; за даного значення паралактичного кута повинна забезпечуватися відповідна акомодация; знімки повинні бути розташовані щодо очей так, щоб відповідні зорові промені перетиналися.

Час стабільної надійності дешифрування пов'язаний із властивостями *нервової системи*. В деяких спостерігачів надійність дешифрування помітно знижується внаслідок перевантаження нервової системи вже через 2–3 год роботи, тоді як більшість дешифрувальників витримують 6–7 год безперервного дешифрування без зниження продуктивності та якості роботи [4].

. РОЗПІЗНАВАЛЬНІ ОЗНАКИ ОБ'ЄКТІВ

Під час зорового сприйняття знімків прості й складні об'єкти виявляються, розпізнаються за відмітними властивостями та характерними рисами, що відображаються на знімках. Ці властивості та риси називаються *розпізнавальними ознаками*. Зазвичай під ознаками об'єктів розуміють усе те, завдяки чому можна довідатися, визначити, тобто розпізнати або описати об'єкти [9].

Усі об'єкти в ході розміщення і переміщення на місцевості й у просторі, а також під час функціонування відповідно до свого прямого призначення виявляють себе низкою ознак, що дозволяють розпізнавати ці об'єкти.

Узагальнюючий термін “розпізнавальні ознаки” поєднує в собі поняття “*демаскуючі ознаки*” об'єктів і поняття “*дешифрувальні ознаки*” зображень об'єктів [4].

Демаскуючі ознаки – це характерні риси об'єктів розвідки, що дозволяють відрізнити їх один від одного під час безпосереднього спостереження самих об'єктів. До них належать форма, розмір, деталі, спектральна відбивна здатність, колір і тінь об'єкта; визначений порядок функціонування; сліди на поверхні Землі й у просторі, що залишаються в результаті руху та функціонування; фізичні поля різної природи, створювані безпосередньо об'єктами своєю присутністю і функціонуванням; визначена реакція на штучні поля, створювані зовнішніми щодо об'єктів джерелами (відбиття радіохвиль радіолокаційних станцій, випромінювання оптичного діапазону оптико-електронних систем тощо); зміни, що вносяться об'єктом у постійно існуючі в середовищі природні фізичні поля (магнітне поле Землі тощо).

Дешифрувальна ознака – характерна особливість об'єкта космічної розвідки або наслідок його діяльності, яка відрізняє його від інших на космічному знімку [7].

Дешифрувальні ознаки зображень об'єктів – це демаскуючі ознаки в тому вигляді, в якому вони передаються зображенням. На формування дешифрувальної ознаки впливають масштабні, перспективні, фотометричні й інші перетворення, що відбуваються під час передачі інформації системою розвідки. Практично на кожному знімку є нові прояви дешифрувальних ознак зображень того ж самого об'єкта. Отож, під дешифрувальними ознаками будемо розуміти одержувані за допомогою технічних засобів розвідки демаскуючі ознаки об'єктів, за якими ці об'єкти можна виявити та розпізнати.

Дешифрувальні ознаки є засобом вивчення і розпізнавання зображень об'єктів. Однак у більшості випадків не дешифрувальні, а демаскуючі ознаки слугують підставою для ухвалення рішення під час розпізнавання об'єктів за їх зображеннями. Дослідниками [13] встановлено, що досвідчений дешифрувальник, вивчаючи дешифрувальні ознаки зображень із огляду на вплив розвідувальної системи на передану інформацію, думкою відновлює демаскуючі ознаки об'єктів і на їх основі розпізнає об'єкт, що зобразився. Виняток становить розпізнавання об'єктів, невідомих дешифрувальнику, яких він не бачив у натурі або на наземних фотографіях.

Отже, чітко розрізняючи поняття демаскуючі та дешифрувальні ознаки в теорії, на практиці допустиме використання одного поняття замість іншого або узагальнюючого поняття – розпізнавальні ознаки.

1.5.1. Загальна класифікація та суть розпізнавальних ознак об'єктів

Розпізнавальні ознаки об'єктів розвідки поділяються на *прямі* та *непрямі*.

Пряма дешифрувальна ознака – дешифрувальна ознака, яка безпосередньо належить об'єкту космічної розвідки [7]. Прямими ознаками є: *форма, розміри, деталі, склад об'єкта, його колір, тон, структура поверхні* тощо.

Непряма дешифрувальна ознака – дешифрувальна ознака, що характеризує об'єкт розвідки за допомогою властивостей та чинників, які не притаманні безпосередньо самому об'єкту космічної розвідки, проте ідентифікують його опосередковано [7].

Самі по собі непрямі дешифрувальні ознаки не забезпечують розпізнавання об'єктів. Однак вони вказують на наявність об'єкта, що не виявляється за прямими ознаками, сприяють усуненню неоднозначностей рішень, прийнятих за результатами аналізу прямих ознак, дозволяють одержувати додаткові характеристики об'єктів.

Непрямі дешифрувальні ознаки визначаються взаємозв'язками між ландшафтом та розташованими на ньому об'єктами, складними та простими об'єктами, а також між елементами складних об'єктів. Вони проявляються в наслідках функціонування, в належності одних об'єктів до інших, у зміні властивостей та характеристик одних об'єктів у результаті впливу на них інших об'єктів.

Усі прості й складні об'єкти залежно від індивідуальних особливостей у процесі бойової діяльності або виробництва вносять у навколишнє природне середовище певні характерні зміни, що відображаються на знімках. На цьому ґрунтується розпізнавальна ознака – сліди діяльності. Люди і техніка, що пересуваються поза дорогами, залишають сліди, що з часом перетворюються у стежки та дороги, не відзначені раніше на знімках і топографічних картах. Наявність таких слідів так само, як прокладення та наявність щойно побудованих доріг, можуть вказати на можливий район розташування замаскованої техніки, складів, стартових і вогневих позицій ракетних, артилерійських частин й інших об'єктів. Разом з тим відсутність слідів від руху техніки на площі складного об'єкта може бути одною з ознак хибного об'єкта. Кораблі та судна в морі під час руху залишають за кормою спінений струмінь води, що за відносно спокійної поверхні тривалий час зберігає свій більш світлий тон у видимій частині спектра і відмінне від навколишньої води інфрачервоне випромінювання.

За належністю одних об'єктів до інших розпізнаються замасковані й ті об'єкти, прямі ознаки яких виявляються неповно або недостатньо чітко. Наприклад, впізнання обладнаної для посадки літаків ділянки автостради говорить про те, що десь поблизу може розташовуватися стоянка авіаційної техніки. Наявність відвалів породи дозволяє припускати наявність поблизу не тільки шахти, але і будівництва підземних споруд.

За змінами властивостей одних об'єктів у результаті впливу на них інших, що не мають прямо виражених ознак, можуть розпізнаватися об'єкти, закриті іншими або відсутні на поверхні

землі. Так, заболочені ділянки в лісах демаскуються меншою висотою дерев, більш світлими кронами та меншою їх зімкнутістю. Підземні й напівзаглиблені споруди, сховані від виявлення у видимому діапазоні спектра, можуть бути впізнані за температурним контрастом з навколишньою місцевістю в ІЧ діапазоні.

Знайти на знімку непрямі ознаки значно складніше, ніж прямі. Широке використання непрямих ознак – свідчення високої кваліфікації дешифрувальника.

Експериментально встановлено [4], що в середньому під час воєнного дешифрування частота використання прямих ознак дорівнює 0,55, а непрямих – 0,45.

Первинна дешифрувальна ознака – дешифрувальна ознака, за якою об’єкт космічної розвідки виявляється [7].

Вторинна дешифрувальна ознака – дешифрувальна ознака, за якою об’єкт космічної розвідки розпізнається [7].

Необхідно відзначити, якщо вторинні дешифрувальні ознаки є постійними, то первинні дешифрувальні ознаки непостійні, вони залежать від освітлення, метеоумов, пори року, умов зйомки тощо. В ряді випадків динаміка зміни дешифрувальних ознак протягом визначеного часу, наприклад протягом доби або за різних умов освітлення і зйомки, може бути додатковою дешифрувальною ознакою.

Якщо уважно розглянути розпізнавальні ознаки, то можна зробити висновок, що дешифрувальні ознаки можуть бути *кількісними* (наприклад кількість об’єктів, розміри), тобто мати чисельні значення, і *якісними* (наприклад форма об’єкта). Якісні ознаки не можна виразити чисельно, а можна тільки описати вербально.

Дешифрувальні ознаки також можуть бути розділені на детерміновані, ймовірнісні та логічні.

Детерміновані ознаки – це ознаки, що набувають конкретних числових значень (наприклад розміри об’єктів), що можуть розглядатися як координати точки в “ознаковому просторі”, який відповідає даному об’єкту. У разі використання детермінованих ознак помилками вимірів зневажають.

Ймовірнісні ознаки – це ознаки, випадкові значення яких розділені по всіх класах об’єктів, при цьому рішення про належність розпізнаваного об’єкта до того або іншого класу може

прийматися тільки на підставі конкретних значень ознак даного об'єкта, отриманих у результаті розвідки. Ознаки об'єктів, що розпізнаються, варто розглядати як імовірнісні й у випадку, якщо вимірювання їх числових значень одержується з такими помилками, що за результатами вимірів неможливо з повною визначеністю сказати, якого числового значення дана величина набула.

Логічні ознаки об'єктів можна розглядати як елементарні висловлення, що набувають два значення істинності (“так”, “ні” або “істина”, “неправда”) з повною визначеністю. До логічних належать насамперед якісні ознаки, що не мають кількісного вираження. Ці ознаки являють собою судження якісного характеру типу наявності або відсутності деяких властивостей або деяких елементів у об'єктів. До логічних можна віднести такі ознаки, в яких важлива не величина ознаки об'єкта, а лише факт попадання або непопадання її в заданий інтервал.

1.5.2. Первинні дешифрувальні ознаки

До первинних дешифрувальних ознак належать *тон, колір і структура* поверхні (рис.1 .8).

Тон або яскравість зображення об'єкта, впливає на можливість виділення об'єкта на навколишньому фоні. Ця ознака дуже непостійна. Зображення того ж самого об'єкта може мати різний тон залежно від освітлення, умов зйомки та метеоумов. Причому тон є непостійною величиною не тільки для видимого, але і для інфрачервоного діапазону електромагнітних хвиль.

Колір зображень об'єктів – важлива дешифрувальна ознака під час дешифрування кольороподілених зображень. У ході повітряно-космічної зйомки з натуральною або умовною (штучною) передачею кольорів колір відрізняється більшою сталістю, ніж тон на напівтонових зображеннях, однак і він теж змінюється під час зміни висоти Сонця й умов освітлення.

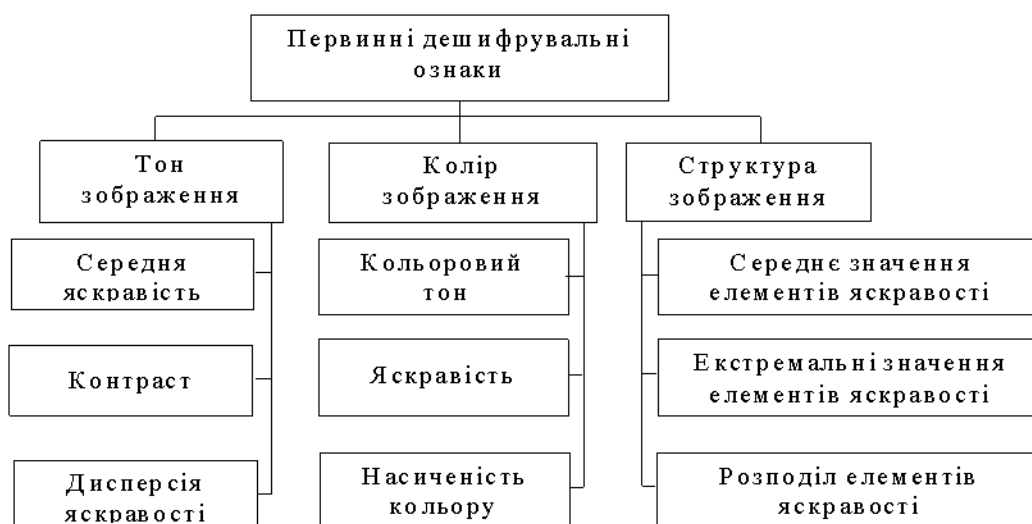


Рис. 1.8. Класифікація первинних дешифрувальних ознак об'єктів

Колір зображення може бути як прямою, так і непрямою ознакою залежно від того в натуральних або хибних кольорах отриманий знімок. Важливо, що структура поверхні, деталі об'єкта й умови одержання зображення викликають незначні викривлення не в кольорах, а тільки в їх насиченості та яскравості. Кількість помітних оком колірних тонів і відтінків на кольорових знімках значно більша, ніж сірих тонів на напівтоновому знімку, що визначає їх високі дешифрувальні якості. Однак через вплив висоти Сонця та напрямку освітлення, стану атмосфери, масштабу зображення, якості фотолабораторної обробки кольори відхиляються від натуральних і не можуть ототожнюватися з реальним кольором об'єктів.

Колірні ознаки на спектрональних або гіперспектральних знімках мають умовний характер. Зображення ряду об'єктів, нерозрізаних або погано помітних на напівтонових знімках, на спектрональних різко виділяються за кольором. Незважаючи на загальний позитивний чинник, кольороподіл створює додаткове джерело помилок, тому що з'являється ще одна задача – дешифрування самих кольорів, які менш стабільні, ніж кольорове зображення в природних тонах.

Тон і колір зображень значною мірою залежать від характеристик приймача випромінювання та способів обробки. Сучасні комплекси обробки зображень дозволяють дешифрувальнику суттєво змінювати контраст, а отже, і тон зображень, їх колір, що також дозволяє оптимізувати відповідно

до ходу дешифрування характер проміжних й остаточних даних та забезпечити розпізнавання об'єкта.

Структура (рисунок, текстура) зображення об'єкта є найбільш постійною дешифрувальною ознакою, що відіграє важливу роль під час виявлення об'єктів на неоднорідному (“строкатому”) фоні. Наприклад, виявлення техніки, замаскованої маскувальним покриттям, значною мірою полегшується, якщо його маскувальний рисунок не відповідає навколишньому фону.

Структура поверхні об'єктів і його зображення є сукупністю декількох ознак (форми, розміру, тону, взаємного положення тощо), що утворюють поверхню елемента. Наприклад, зовнішній вигляд поверхні лісу утворюють крони дерев. На знімку зображення лісу виглядає як зерниста структура. Структура зображення об'єкта – важлива ознака багатьох природних елементів місцевості, що не мають характерної форми. Ця ознака дуже стійка. На неї менше, ніж на інші первинні прямі ознаки, впливають властивості отриманих знімків.

1.5.3. Вторинні дешифрувальні ознаки простих об'єктів

Вторинні дешифрувальні ознаки простих об'єктів (ПО) іноді називають технічними дешифрувальними ознаками. До прямих дешифрувальних ознак ПО належать форма, деталі, розміри об'єкта (рис. 1.9).

Форма об'єкта – головна дешифрувальна ознака. При цьому для розпізнавання типу об'єкта важливу роль відіграють не тільки контур, але й наявність та розташування характерних внутрішніх деталей (елементів).

Форма зображення є основною прямою ознакою, за якою встановлюється наявність об'єкта, якщо вона штучно не перевернує 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, або, на її думку, можуть містити характеристики, корисні для розпізнавання зображення.

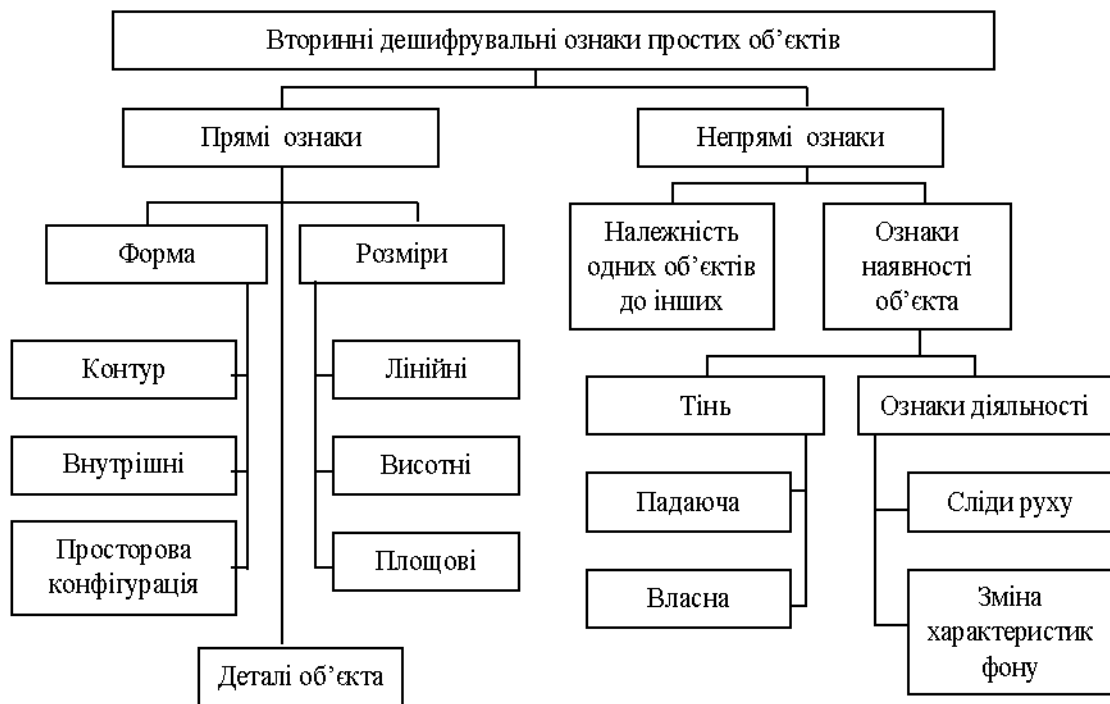


Рис. 1.9. Класифікація вторинних дешифрувальних ознак простих об'єктів

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

Геометрично визначена форма характерна для більшості видів техніки та споруд і є характерною розпізнавальною ознакою. Невизначена форма властива, як правило, природним об'єктам та утворенням (деревам, озерам, ярам тощо), а також таким штучним об'єктам, як сільськогосподарські угіддя, кар'єри, і не може часто бути постійною ознакою.

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

Можливості розпізнання об'єктів простих і складних форм залежать від інформативності зображення. Прості форми в разі

відповідності розмірів зображення величині лінійного розділення розпізнаються практично за будь-якого масштабу знімка. Деталі складної форми з погіршенням роздільної здатності поступово зникають, контури зображення згладжуються, і за певних його значень зображення може перетворитися в пляму або смугу.

Плоскі фігури відрізняються від об'ємних тим, що в загальному випадку вони зазвичай однотонні. Об'ємні об'єкти завжди мають певний розподіл світлих і темних тонів. Просторова форма об'єкта є дуже важливою розпізнавальною ознакою, особливо під час стереоскопічного розглядання знімків.

Деталі об'єктів, їх характер і кількість дають уявлення щодо складного об'єкта, дозволяють відрізнити даний об'єкт від йому подібних. Так, дані про характер насипів, виїмок, мостів, переїздів допомагають класифікувати дороги, а кількість і склад виробничих та допоміжних корпусів, складів тощо дозволяють визначати типи промислових підприємств.

Розміри набувають значення основної ознаки для об'єктів практично однакової форми. Розмір зображення об'єкта і його деталей є важливою розпізнавальною ознакою, тому що сприяє більш точній класифікації зображення та підвищенню детальності впізнання. Так, наприклад, визначення довжини й розмаху крила транспортного літака дозволяє більш чітко назвати його підклас або тип, а розмір резервуарів на складі пального – їх ємність. Необхідна точність визначення розмірів залежить від різниці в габаритах, що існує між класами, підкласами або типами об'єктів, які розпізнаються.

Тіні. Часто об'єкти демаскуються тінями, які виникають в умовах прямого сонячного освітлення. Власна (та, що лежить на поверхні об'єкта) і падаюча (відкинута об'єктом на фон) тіні сприяють не тільки виявленню об'єкта, але й дозволяють визначити його висоту, а в ряді випадків і форму. Наявність тіні непрямым чином указує на наявність об'єкта.

Переходи від світлої до темної ділянки *власної тіні* (рис. 1.10) передають будову поверхні. Плавні вигини поверхні передаються поступовим переходом світлого тону освітленої сторони до темного тіньової. Різкі границі між різними тонами свідчать про наявність кутових вигинів поверхні.

Падаюча тінь передає форму об'єкта у вигляді, близькому до зазвичайго. Тінь характеризується формою, розміром, напрямком і тоном.

Тінь від об'єкта є непостійною й суперечливою розпізнавальною ознакою. Вона може сприяти та заважати розпізнаванню об'єктів. У деяких випадках тільки за тінню можна впізнати об'єкт і визначити такі важливі характеристики, як форма й висота. Витягнуті вгору об'єкти добре розпізнаються за падаючою тінню, що передає їхній силует, часто – і конструкцію. При цьому розрізняються об'єкти, що на плані виглядають однаково (рис. 1.11).

Однак між формою тіні й видом об'єкта збоку немає абсолютної схожості, тому що тіні проєктуються на поверхню косими променями, напрямком яких змінюється протягом доби. Так, наприклад, якщо тінь від літака падає не по осі вперед, а навскіс назад, то вона може не підкреслювати, а приховувати конфігурацію, утруднюючи визначення його форми (рис. 1.12).



Рис. 1.10. Власна та падаюча тіні об'єкта напівсферичної форми

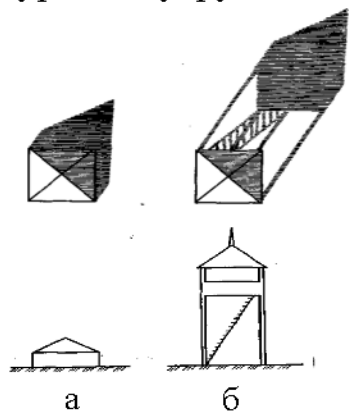


Рис. 1.11. Приклад виявлення характеру та висоти об'єкта за тінню, що падає від нього:
а – намет; б – спостережна вишка

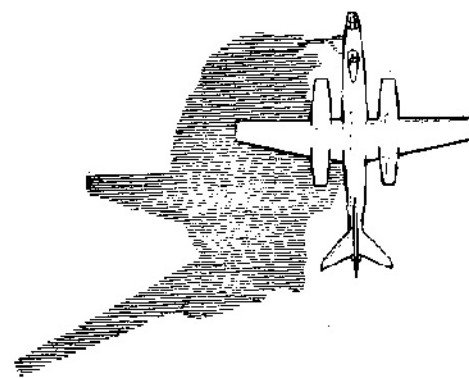


Рис. 1.12. Приклад зображення тіні під час проєктування її променями, що падають під малим кутом

Форма тіні залежить також від напрямку (рис. 1.13) і кута нахилу сонячних променів (рис. 1.14). Чим нижче Сонце над об'ємом, тим більше розмір тіні від об'єктів.

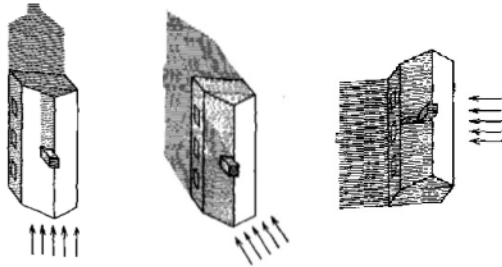


Рис. 1.13. Залежність форми тіні від напрямку освітлення (вказаний стрілками)

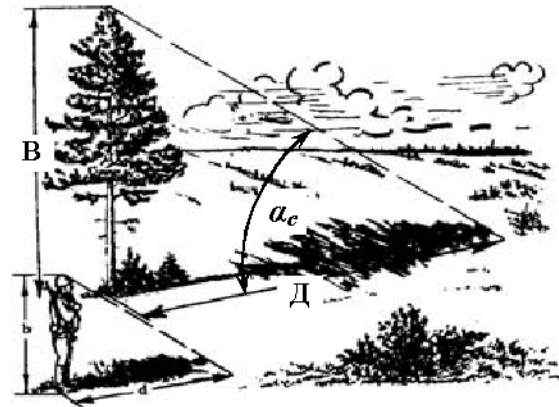


Рис. 1.14. Залежність довжини тіні від висоти об'єкта та висоти Сонця

Якщо висота Сонця α_c відома (за визначеними на момент знімання датою, місцевим часом та географічними координатами району знімання), висоту об'єкта B без урахування впливу рельєфу можна розрахувати за формулою:

$$B = Д \cdot \text{tg}(\alpha_c),$$

де B – висота об'єкта;

$Д$ – виміряна з урахуванням масштабу знімка довжина падаючої від об'єкта тіні;

α_c – кут висоти Сонця на момент знімання.

Залежно від рельєфу місцевості тіні від об'єктів можуть спотворюватися по-різному. Якщо тінь падає на схил, обернений до Сонця, то вона коротшає, а в разі падіння на протилежний – витягується порівняно з випадком падіння на горизонтальну ділянку (рис. 1.15).

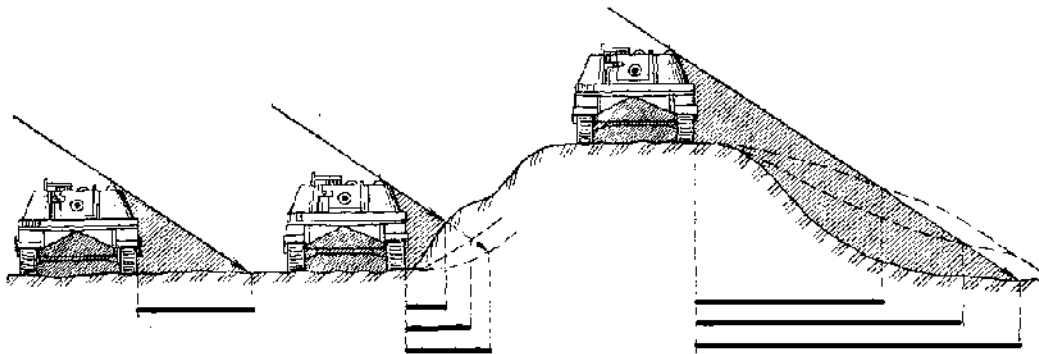


Рис. 1.15. Вплив рельєфу місцевості на довжину тіні

Мікрорельєф спотворює форму тіні. Падіння її на вимоїни, канави, бугри й інші нерівності порушує прямолінійні лінії тіні, створює враження наявності в об'єкта виступів або деталей, яких немає насправді.

Об'єкти з великою розмаїтістю деталей і освітлені спрямованим світлом мають безліч тінювих ділянок, які збільшують контраст зображення, що сприяє підвищенню ймовірності розпізнавання. Наприклад, часто тільки тінь дозволяє побачити деякі невеликі деталі й виступи форми об'єкта та розпізнати його тип (рис. 1.16).

Часто тінь закриває об'єкти та їх деталі, знижує контраст, спотворює форму, утруднює виявлення і розпізнавання.

Тон падаючих тіней змінюється від ясно-сірого до дуже темного залежно від властивостей поверхні, на яку вони падають, використовуваного діапазону електромагнітного спектра та виду апаратури, способів її застосування й обробки отриманих знімків.

На світлих поверхнях тіні виявляються чітко, на темних – майже зливаються з фоном.



Рис. 1.16. Зображення двох БТР-70 на космічному знімку; тіні виділяють деталі конструкції

Якщо тінь падає на слабо випромінювальну поверхню, то вона може бути майже непомітною або зовсім зникнути (рис. 1.17). Залежно від інтенсивності розсіяного освітлення тіні тією чи іншою мірою стають світліше.

Крім тіней до непрямих вторинних дешифрувальних ознак простих об'єктів часто відносять сліди діяльності, які полягають у тих або інших змінах на місцевості або самому об'єкті, що виникають у результаті його функціонування. Наприклад, наявність слідів руху (деформація ґрунту) після проходження техніки (рис. 1.18).

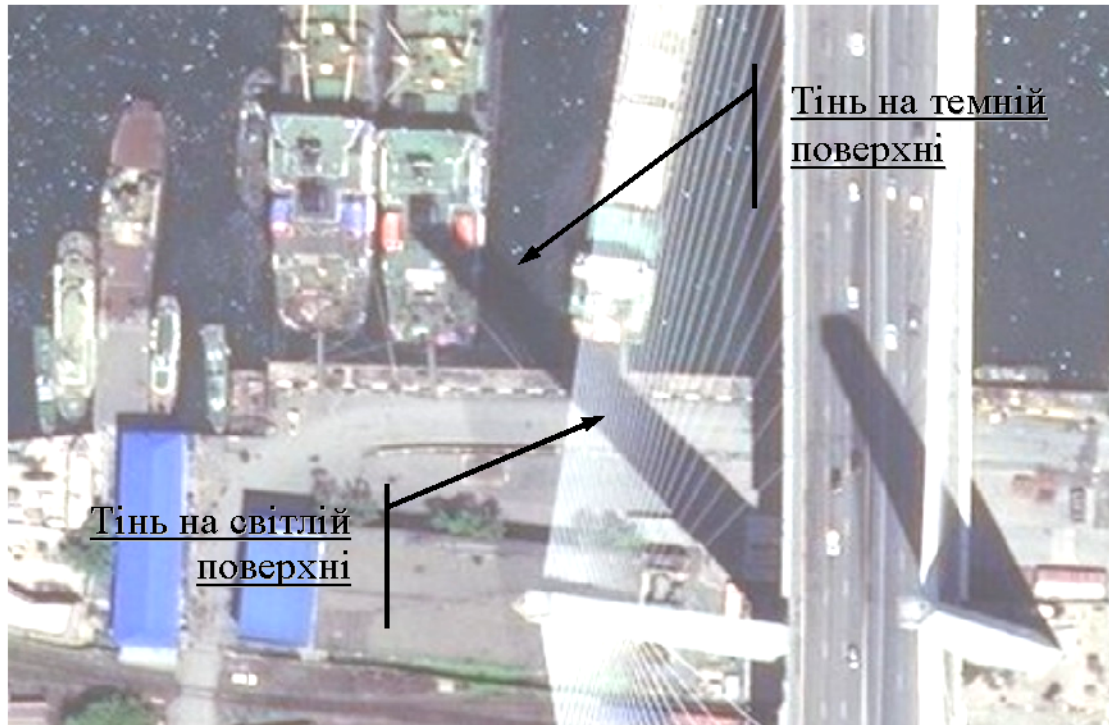


Рис. 1.17. Зображення тіней від опор підвісного моста



Рис. 1.18. Зображення слідів діяльності техніки на ґрунті

До непрямих ознак також належать характерні риси місць можливого розташування ПО.