

УДК 528.46+528.74

Х. Бурштинська

Національний університет "Львівська політехніка"

ЗНІМАЛЬНІ АЕРОКОСМІЧНІ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

© Бурштинська Х., 2005

Рассмотрена классификация съёмочных аэрокосмических систем, исходя из принципов построения изображений, участков электромагнитного спектра, в которых они работают, способов получения изображений и их искажений.

There is proposed the classification for the surveying aerial space systems based on the principles construction of images, including parts of the electromagnetic spectrum in which they work, image reciving methods and distortions of images.

Постановка проблеми. Правильна організація управління територіями та природними ресурсами в сучасному світі є важливим завданням, розв'язання якого неможливе без використання інформації про земну поверхню, процеси та явища як природного, так і антропогенного характеру, які на ній відбуваються. Сучасні тенденції планування та розвитку людської діяльності вимагають отримання належної інформації і постійного моніторингу для прогнозування динаміки розвитку, необхідного для планування діяльності людини та прийняття рішень. Серед різного роду інформації про Землю домінантне значення належить природним характеристикам місцевості, зокрема геологічній будові, запасам поверхневих та підземних вод, типам ґрунтів, рослинності, фауні, а також кліматичним та атмосферним особливостям тощо.

Сучасним методом отримання і перетворення інформації про об'єкти земної поверхні, явища і процеси, які відбуваються на її поверхні, а також поблизу цієї поверхні, тобто в атмосфері, в ґрунті і воді, без прямого контакту з об'єктом є дистанційне зондування. В дистанційному зондуванні використовують причинно-наслідкові зв'язки між властивостями об'єктів і зображеннями цих об'єктів, отриманих за допомогою електромагнітних хвиль різної довжини. Результатами дистанційного зондування є аерознімки, космічні знімки та вхідні дані, отримані різними знімальними системами.

Сучасні знімальні системи – це сукупність технічних засобів для отримання інформації про об'єкт дослідження у вигляді зображень об'єкта та в іншій формі, яка дає змогу або переходити до зображення, або дає інформацію в певних точках поверхні.

В останнє десятиліття особливо ефективно використовують дистанційне зондування Землі для отримання додаткової інформації про земну поверхню та її надра. Крім традиційного фотографічного знімання, використовують інфрачервоне, радіолокаційне, лазерне та інші види знімання.

Можливості та особливості застосування різних знімальних систем для розв'язання тематичних завдань подано в [1, 2, 4, 6]. Розглядаючи класифікацію знімальних систем, в [1], особливу увагу зосереджено на спектральному діапазоні, в якому працюють системи; в [5] домінантною є геометрія спотворення зображень. Нами розглянуто класифікацію знімальних систем, які застосовуються в ДЗ, виходячи їх принципів побудови зображень, що тісно пов'язано з розрізнявальною здатністю системи та з геометричними спотвореннями зображень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Фактично всі знімальні системи, які застосовують в ДЗ, можна розділити на дві групи: ті, які будують зображення (у вітчизняній літературі названі іконічними); і ті, які дають змогу отримувати певні характеристики місцевості (названі параметричними).

Вважаємо, що доцільно класифікувати знімальні системи залежно від таких чинників: принципів побудови зображення; ділянок електромагнітного спектра, в яких вони працюють; способів отримання зображення; спотворень отриманих даних; способів запису отриманої інформації; розрізнення зображень.

З огляду на принципи побудови зображення знімальну апаратуру можна поділити на три групи: 1) системи з одночасним отриманням зображення та одночасним його записом. Типовим представником цієї групи є камери фотографічні; 2) системи з одночасним отриманням зображення і неодноразовим його записом. Реєстрація зображення ведеться елемент за елементом. Представниками цієї апаратури є телевізійна та оптико-електронна апаратура. В системах цього виду фактично сканується зображення; 3) системи з поелементним отриманням зображення і таким самим записом. До цієї групи належить апаратура, яка працює на принципі сканування об'єкта. Це – широкий клас систем оптико-механічного, інфрачервоного, лазерного, радіотеплового та радіолокаційного сканування.

Класифікацію аерокосмічних знімальних систем, які використовують для отримання даних ДЗ, подано в таблиці.

Сучасні системи, які використовують у практиці аерокосмічного знімання, працюють як в оптичному, так і радіодіапазоні. Оптичний діапазон охоплює видиме ($\lambda = 0,40 \div 0,75$ мкм) та інфрачервоне випромінювання ($\lambda = 0,75 \div 1000$ мкм). Інфрачервоний діапазон (ІЧ) поділяється на близьку, середню і дальню ділянки. Під час знімання практичне значення має поглинання атмосферою енергії випромінювання. Існують вікна прозорості, в яких поглинання радіації незначне, власне ці вікна прозорості є основними для космічного знімання. В оптичному діапазоні основними вікнами прозорості є такі: 0,4–1,3; 1,5–1,8; 2,0–2,6; 3,0–4,0; 4,5–5,0; 8,0–12 мкм. В інфрачервоному діапазоні в середній і дальній зонах для знімання використовують вікна прозорості близько 3–5 і 8–12 мкм, хоча в останні роки знімають і у вузьких вікнах. В більш короткохвильовій зоні, ніж 0,4 мкм, і в довшій інфрачервоній ділянці, ніж 14 мкм, аерокосмічне знімання не проводять. Після інфрачервоного діапазону йде радіодіапазон з міліметровими, сантиметровими, метровими довжинами хвиль, з яких в аерокосмічному зніманні використовують міліметровий та сантиметровий діапазони.

Залежно від способів запису отриманої інформації знімальні системи доцільно поділяти на фотографічні, в яких приймачем зображення є фотоплівка, і нефотографічні, в більшості з яких в кінцевому вигляді інформація подається у цифровому записі, тому термін “цифрові камери”, вживаний у вітчизняній спеціальній літературі, не передає характеристик та можливостей камери.

Принциповими в класифікації аерокосмічних систем є способи отримання зображення або вхідних даних, за якими можна виокремити такі класи знімальних систем: фотографічні, телевізійні, оптико-електронні, оптико-механічні, інфрачервоні, лазерні, радіотеплові та радіолокаційні.

Оскільки власне способи отримання зображень дають назву знімальним системам, з ними пов'язана розрізнявальна здатність системи, як принципова її характеристика, розглянемо їх ширше.

Величину просторового розрізнення на місцевості сучасних космічних систем, які використовуються для розв'язання різноманітних задач за даними дистанційного зондування Землі, подано в [3].

Фотографічні системи. Фотографічні знімальні системи працюють у видимій та близькій інфрачервоній ділянках спектра і дають можливість отримати чорно-білі, кольорові, спектральнозональні і багатоспектральні фотозображення. Знімання проводять з аеро- та космічних літальних апаратів. Чорно-білі фотознімки знайшли якнайширше застосування у фотограмметрії завдяки високим вимірним властивостям. Особливо покращує процес фотоінтерпретації зображень спектральнозональна фотографія, виконана на спеціальних фотоматеріалах, які містять фотошари, чутливі до певних спектральних зон. Варто відзначити фотоматеріали, чутливі до інфрачервоної смуги спектра, які мають підвищені інтерпретаційні можливості стосовно аналізу стану рослинності, впливу діяльності людини на довкілля та екологічну ситуацію. Як окремий вид спектральної фотографії можна виділити фотографію багатоспектральну, яка дає змогу реєструвати вузькі смуги електромагнітного випромінювання, відбитого від об'єктів місцевості. Використання вузьких і відповідно достосованих спектральних смуг уможливило виділити об'єкти, які в природі є дуже подібні, зокрема рослини, угіддя. За конструктивними особливостями і проєктивними (геометричними) властивостями фотоапаратуру розділяють на кадрову, щільну і панорамну. Практичне застосування в сучасному аерокосмічному зніманні знаходять переважно кадрові фотографічні знімальні системи, в яких зображення будується на засадах центрального проєкування.

Класифікація аерокосмічних знімальних систем

За принципом побудови зображення	Тип системи	Діапазон електромагнітного спектра, мкм	Приймач	Тип спотворень при побудові зображення
З одночасною побудовою і записом	Фотографічна <i>кадрова</i> <i>щільна</i> <i>панорамна</i>	Видимий, близький інфрачервоний (0,4–1,3 мкм)	Фотоплівка	Центральна проекція центр. проект. вздовж щільни панорамна
З одночасною побудовою і неодноточасним записом	Телевізійна оптико-електронна <i>матрична</i> <i>лінійкова</i>	0,4–1,3 мкм оптичний до 14 мкм	ЕПТ ПЗЗ-матриця ПЗЗ-лінійка	Центральна проекція Центральна проекція центр. проект. вздовж рядка
З неодноточасною побудовою і неодноточасним записом (сканувальні)	Оптико-механічний сканер <i>багатоканалний сканер</i> Інфрачервона <i>тепловізор</i> <i>сканувальний радіометр</i>	Оптичний до 14 мкм середній, дальній інфрачервоний (3,4–4,2; 8–12 мкм)	Фотонні детектори Детектори	Лінійна, кінцева розгортка Лінійна, кінцева розгортка
	Лазерна Радіотеплова <i>мікрохвильовий радіометр</i> Радіолокаційна <i>радіолокаційні системи</i> <i>бокового огляду</i>	близький, середній інфрачервоний міліметрові радіохвилі сантиметрові радіохвилі	Детектори Антена-приймач Антена-приймач	Лінійна розгортка Лінійна, кінцева розгортка Розгортка за дальністю

Телевізійні системи. За допомогою телевізійних систем зображення місцевості будується на електронно-променевій трубці, а потім або фотографується, або радіоканалами передається на наземні пункти. Відтворення зображення здійснюється як в режимі реального часу безпосередньо на екрані приймача, так і з магнітних цифрових записів. Телевізійні системи переважно містять оптичну систему, закривач і навіть систему компенсації зсуву зображення, створюючи зображення по кадру практично миттєво аналогічно до фотографічних систем. В телевізійних системах використовують електронно-променеві трубки на базі видикона з прямим або оберненим ходом променів та дисектора. В цих системах відбувається перетворення електронного зображення на фотоелектричній поверхні у послідовність електросигналів, які можна передати для відтворення зображення. Розрізнення телевізійних знімальних систем невисоке, тому їх використовують для розв'язання оглядових задач, наприклад, оцінювання результатів стихійних явищ, повеней, катаклізмів тощо.

Оптико-електронні системи. В знімальних системах оптико-електронного типу приймачами сигналів є прилади з зарядовим зв'язком (ПЗЗ) лінійкового та матричного типу. Вони є фактично фотонними детекторами, світлочутливий шар яких складається із кремнієвих або інших діодів. Оптична система містить лінзовий об'єктив і закривач; вона будує миттєве зображення в межах лінійки або матриці. Якщо використовують ПЗЗ-лінійки, то зображення будується в межах рядка. Все зображення формується шляхом послідовного під'єднання рядків за рахунок переміщення літального апарата. Прилади з ПЗЗ-лінійкою за принципом отримання зображення близькі до щілинних фотокамер. За такого знімання рядок в щілинному зніманні будується за законами центральної проекції, його просторове положення визначають елементи зовнішнього орієнтування. Світлочутлива поверхня утворена сіткою діодів, розташованих за закривачем і оптичною системою. Стандартний ПЗЗ – досить складна радіоелектронна мікросхема, яка є двовимірною матрицею з дуже маленьких детекторів світла – пікселів. В кожному пікселі нагромаджуються електрони під дією фотонів, які надходять від об'єкта. Тобто, залежно від яскравостей об'єктів на кожний діод поступає певний сигнал, який генерує електричний струм, пропорційний до яскравості об'єктів. Електричний сигнал переноситься в певну комірку заряду, а згодом – в електронний блок. ПЗЗ охоплюють видиму та близьку інфрачервону ділянку спектра, тобто працюють в оптичному діапазоні, який широко використовується в дослідженні природних ресурсів Землі. Порогове відтворення об'єктів на ПЗЗ-матриці залежить від рівня шумів. Основними шумами є шуми, створювані самою матрицею, яка відтворює певну кількість електронів. Якщо вони будуть перевищувати кількість фотонів, які надійдуть від об'єкта, то зрозуміло, що отримати зображення буде неможливо. Кількість електронів, які створюють шуми, залежить від двох чинників: тривалості експозиції і температури матриці. Один із ефективних методів боротьби з тепловими шумами – охолодження матриці. В сучасних ПЗЗ невеликий за розміром терморезистор, розташований з оберненої сторони кристала, дає змогу управляти електронною схемою, яка підтримує температуру матриці з точністю до 0,1 градуса, і зберігати цю температуру на моніторі комп'ютера і в зображенні. Під час обробки зображення комп'ютер зможе відняти цей тепловий шум із зображення. Під час операцій переміщення зарядів по пікселях виникає така ситуація, що частина зарядів залишається. Більшість сучасних матриць працює в такий спосіб, що перед початком кожного наступного вимірювання окремо вимірюється кількість електронів, які залишилися в комірці, і це значення віднімається із поточного вимірювання. Кількість залишкових електронів істотно впливає при коротких витримках і слабких за яскравістю об'єктах. До переваг ПЗЗ-приладів потрібно віднести їх лінійність. Кількість електронів, які накопичуються в пікселі, пропорційна до кількості фотонів на відміну від фотоємності чи телевізійних детекторів типу видикона, де виникають зони недотримок, перетримок і навіть соляризації. Комп'ютер, враховуючи недосконалість оптичної системи, може підкоригувати зображення (за рахунок

нерівномірності освітлення). Окреме питання пов'язане з розрізненістю зображення. Розрізненість залежить від розміру пікселя; зараз зустрічаються ПЗЗ-пристрої, які мають розмір пікселя менше 10 мкм. Це відповідає розрізненню фотоемульсії 100 лін/мм. Практично не кожна оптична система здатна сфокусувати промені різних довжин хвиль в такий піксель, що є чималою проблемою приладів з зарядовим зв'язком. Сканери на ПЗЗ забезпечують середнє просторове розрізнення, але дають малу ширину смуги знімання. Для збільшення смуги захоплення використовують або два сканери або відхилення сканерів в напрямку, перпендикулярному до лінії польоту. В сучасних умовах знімальні системи оптико-електронного типу знаходять якнайширше використання.

Оптико-механічні системи. У фотографічних, телевізійних та оптико-електронних системах на основі матриць елементи зображення будуються в кадрі одночасно. В сканувальних знімальних системах сканується безпосередньо об'єкт, тобто під час оптико-механічного сканування фіксується сигнал в межах миттєвого кута зору розміром до декількох кутових мінут, який називають променем сканування. Елементи зображення отримують послідовно, після чого вони можуть бути приведені до формату кадру. Оптико-механічні сканери містять оптичну систему, яка переважно є дзеркальним об'єктивом типу рефлектора. В систему входить оптико-механічний пристрій, який відхиляє сканувальний промінь по заданій траєкторії. Розрізняють системи сканування з лінійною та конусною розгорткою залежно від того, яку поверхню в просторі описує миттєвий кут. Поелементне сканування місцевості здійснюється сканувальним променем завдяки коливанням сканувального дзеркала (розгортка по рядку) і рухові літального апарата по траєкторії. Детектори сканувальних систем працюють у видимій та інфрачервоній ділянках спектра. Якщо детектори призначені для довгохвильової частини інфрачервоної зони, то при цьому використовують систему охолодження, оскільки їх температура повинна бути нижчою, ніж температура об'єкта і довкілля, тому що власне випромінювання Землі виявляється за низьких температур. Електронний блок використовується для посилення сигналів, їх обробки та запису. Сигнали можна передавати на наземні пункти для візуалізації зображення. Під час знімання за допомогою сканувальних систем кожен сканувальний промінь відповідає певному положенню системи координат сканера в просторі. Якщо не враховувати поступального руху апарата і зміни кутів нахилу за час формування рядка зображення, то його можна з деяким наближенням вважати центральною проекцією. В цілому ж панорама, складена із окремих рядків, не є центральною проекцією.

Багатоспектральні сканери. Різновидом сканувальних систем, які широко використовують в дистанційному зондуванні Землі, є багатоспектральні сканери. Вони дають змогу отримати ефективну вихідну інформацію про об'єкти земної поверхні за рахунок знімання у вузьких спектральних зонах. Багатоспектральними сканерами зображення створюється послідовно рядками. Об'єкт сканується растровим способом за допомогою оптико-механічної системи. Потім випромінювання проходить через збірну оптичну систему. За допомогою диспергуючих систем, які містять диспергуючі призми, дифракційні ґратки, дихроїчні дзеркала або фільтри, випромінювання розкладається на спектральні складові. Детектори, чутливі до певної ділянки спектра, вловлюють це випромінювання. Згодом сигнали підсилюються і або оцифровуються з записуванням на борту носія, або передаються на приймальні наземні станції. Необхідно зауважити, що в сучасних космічних знімальних системах оптико-механічне сканування використовується мало, уступивши місце електронно-оптичним знімальним системам.

Інфрачервоні системи. Сонячне (зовнішнє) та ендогенне (внутрішнє) тепло нагріває об'єкти по-різному залежно від їх геохімічного складу, теплової енергії, вологості, альбедо та інших причин. Знімальні системи, які забезпечують отримання зображення об'єктів за їх власним тепловим випромінюванням, називаються інфрачервоними або тепловими системами. На відміну від зображення у видимій ділянці спектра, яке отримується за рахунок відбивної здатності об'єктів, інфрачервоні зображення створюються власним випромінюванням об'єктів і частково відбитим від

них ІЧ-випроміненням інших джерел. Можливість розпізнавання об'єктів на ІЧ-знімках визначається величиною ефективної температури елементів аероландшафту. Зміна ефективної температури елементів поверхні аероландшафту певною мірою відповідає деталям видимого ландшафту, тому ІЧ-знімок переважно відповідає аерофотознімкові, однак ІЧ-зображення несе додаткову інформацію про місцевість. ІЧ-системи можна застосовувати в денний і нічний час, вони дають можливість за додатковими дешифрувальними ознаками не тільки розпізнати об'єкти, а й вивчати динаміку процесів і явищ. Особливо це стосується розвитку міст, вивчення екологічних процесів та охорони довкілля. Спектральний діапазон роботи ІЧ-систем визначається ділянкою спектра ІЧ-випромінення, що, своєю чергою, пов'язано з вікнами прозорості атмосфери. Більшість ІЧ-систем, призначених для дистанційного зондування Землі, працюють в діапазонах 3,4–4,2 мкм і 8–12 мкм. Ці два діапазони відповідають вікнам прозорості атмосфери і забезпечують високу прохідність теплового випромінення Землі. Пропускання в першому діапазоні становить 90 %, в другому – 60–70 %. Для холодних фонів і малокоонтрастних об'єктів застосовують знімання в діапазоні 8–14 мкм, а для об'єктів з підвищеною температурою перевагу має діапазон 3,4–4,2 мкм. В інфрачервоних знімальних системах значною проблемою є охолодження детекторів, а також використання відповідних матеріалів оптичних систем. Невисока кількість теплового випромінювання наземних об'єктів, необхідність обмеження власних шумів інфрачервоної апаратури вимагають охолодження детекторів до низьких температур. Часто на супутниках ІЧ-системи працюють за двопробеневою схемою, за якою порівнюються потоки випромінення Землі і атмосфери – з одного боку і космічної радіації – з іншого. Трансляція на Землю ведеться як в режимі безпосереднього передавання, так і запам'ятовування. Відеосигнали подаються на електронно-променеву трубку, з якої зображення фотографується, або сигнали перераховуються в радіаційну температуру, за якими будують радіаційну карту. На практиці використовують багатоканальну апаратуру, яка реєструє одночасно випромінення у багатьох смугах спектра, розташованих в цих основних "вікнах прозорості". На ІЧ-зображеннях світлими тонами фіксуються ділянки з низькими температурами, темними – з відносно більшими. На ІЧ-знімках чітко вирисовується берегова лінія рік, гідрографічна мережа, теплові неоднорідності поверхні тощо. Сьогодні використовують ІЧ-знімки для вивчення дна шельфа. Цим методом за різницею температурних аномалій поверхні води можна отримати дані про будову рельєфу дна. Температура поверхні води на глибших ділянках буде нижчою, ніж на мілкіших. Це дає змогу виділяти форми рельєфу, підводні долини, хребти тощо. ІЧ-знімання має переваги перед іншими видами знімання під час екологічних досліджень.

Лазерні системи. У сфері моніторингу земної поверхні, інженерних вишукувань для будівництва лінійних та площинних об'єктів, створення та ведення кадастрових планів різного призначення щоразу більше значення отримують лазерні знімальні системи, які встановлюють на літаках. Особлива роль належить лазерним системам в побудові цифрових моделей рельєфу. Принциповим в отриманні зображень лазерними знімальними системами є підсвічування місцевості променем лазера. Промінь від лазера скеровується розгортальним пристроєм на місцевість; відбитий промінь за допомогою оптичної системи скеровується в приймач випромінення, де перетворюється в електричний сигнал. Рух променя по поверхні землі формує електричні сигнали, пропорційні до спектральних коефіцієнтів яскравості об'єктів. Сигнал записується у цифровому вигляді або подається на катод електронно-променевої трубки. Лазерні знімальні системи працюють у видимому та інфрачервоному діапазонах електромагнітного спектра. Лазер підсвічування призначений для підсвічування місцевості, повинен мати потужність, яка б забезпечувала отримання відбитого від об'єкта потоку випромінення. Довжина хвилі випромінення лазера повинна збігатись з вікном прозорості атмосфери і знаходитись в ділянці максимальної контрастності об'єктів і фону. Промінь лазера повинен утворювати на земній поверхні пляму мінімальних розмірів, що визначає роздільну здатність лазерної системи. Розгортальний пристрій використовується для просторового переміщення променя лазера на місцевості. Від розгортального пристрою залежить поперечне захоп-

лення сканування. Приймальна оптична система приймає лазерну енергію, відбиту від місцевості, фільтрує і подає її на приймач випромінювання. Лазерний сканер призначений для отримання відстаней з борта літака до поверхні землі, сучасні сканери дають можливість отримувати відстані з точністю до 2 см. На борту літака лазерну систему встановлюють так, щоб вісь розгортального пристрою збігалась з напрямком польоту. Розгортка променя лазера вздовж рядка здійснюється поворотом дзеркала, розгортка по кадру – за рахунок руху літака. В комплект апаратури входить спектрозональний лінійковий сканер, який фіксує зображення у цифровому вигляді в чотирьох ділянках спектра: червоній, зеленій, синій та близькій інфрачервоній. Ці зображення, записані одночасно з результатами вимірювань за допомогою лазерного сканера, значно спрощують інтерпретацію даних висот. Отримання даних в основних барвах дає можливість здійснити реалістичне кольоровідтворення, а дані в інфрачервоній, червоній та зеленій ділянках спектра – отримати зображення в синтезованих барвах. З синтезованого знімка можна легко виділити покриті рослинністю ділянки місцевості.

Радіотеплові системи. Радіотеплові знімальні системи називають ще мікрохвильовими або надвисокочастотними радіометрами. Вони працюють в радіодіапазоні як пасивні знімальні системи, фіксують радіотеплове випромінювання Землі. Мікрохвильові радіометри дають можливість отримувати інформацію про місцевість через хмарне покриття, що є безсумнівною перевагою цього типу знімальних систем. Деякі з них працюють тільки за профілем (в площині орбіти КЛА), тобто подають інформацію в точці. Роль оптичної системи в сканувальних мікрохвильових радіометрах відіграє направлена антена, яка сканує місцевість перпендикулярно до польоту літального апарата. Тому зображення за своїми геометричними властивостями подібні до зображень оптико-механічних сканувальних систем лінійної або конічної розгортки. З приймальної антени сигнал потрапляє в приймач і детектор, де він перетворюється в електричний сигнал, який обробляється електронним блоком, і потрапляє в систему запису. Інформація записується на магнітний диск і згодом візуалізується. Мікрохвильові радіометри мають порівняно низьке просторове розрізнення, прямо пропорційне до висоти знімання і кутової широти сканувального кута. Другим обмеженням є ширина смуги захоплення на місцевості, яка визначається смугою пропускання лінійної частини приймача. Одноканальна система дає невелику смугу ширини захоплення, тому для збільшення знімальної смуги переходять до багатоканальних систем.

Радіолокаційні системи. В останнє десятиліття все ширше використання знаходять радіолокаційні системи, названі радіолокаційними системами бокового огляду РЛСБО. Вони належать до активних систем, працюють в діапазоні радіохвиль близько 30 см. Їх використовують в умовах, коли об'єкти закриті хмарами, туманом, димовими завісами тощо. Систему використовують в будь-який час доби. Суть знімання полягає в посиленні радіосигналу, який виробляється спеціальним генератором, і фіксації часу його повернення в приймач. Час його повернення залежить від відстані до об'єкта. В радіолокаційних системах використовують антени з синтезованою структурою, чим досягається приблизно однакове розрізнення вздовж і поперек рядків сканування. В іншому випадку розрізнення в напрямку польоту на порядок гірше порівняно з розрізненням вздовж рядка. Антена з синтезованою апертурою – це набір окремих антен малого розміру, які, переміщаючись в просторі, опромінюють кожен ділянку місцевості в межах плями сканування з різних точок траєкторії польоту носія. Спеціальні алгоритми обробки відбитих сигналів дають змогу сформувати вузьку діаграму напрямку антени та отримати знімки на місцевості, які мають розрізнення в декілька метрів, а також використовувати дані для побудови цифрової моделі рельєфу. Під час дешифрування радіолокаційних зображень встановлено, що вони особливо ефективні при дослідженні гідромережі, яка розпізнається значно краще, ніж на фотозображенні. Особливо це стосується районів, покритих густою рослинністю. Успішним є використання РЛ-знімків для виявлення підземних вод, дослідження льодовиків, снігового покриву.

Висновки. Подано класифікацію аеркосмічних знімальних систем, які застосовують в ДЗЗ, залежно від: принципів побудови зображення, діапазону електромагнітного спектра, способів отримання зображень та спотворення зображень.

Запропонована класифікація, як і розгляд основних типів знімальних систем, їх особливостей та передавальних можливостей, дасть змогу ефективніше застосовувати знімальні системи для вивчення об'єктів земної поверхні, процесів і явищ та динаміки їх змін.

1. Гонин Г.Б. *Космические съёмки Земли*. – Л.: Недра, 1989. – 252 с.
2. Дистанционное зондирование: количественный подход / Ш.М. Дейвис, Д.А. Лангсбе, Т.Л. Филлипс и др.; Под ред. Ф. Свейна и Ш. Дейвис; Пер. с англ. – М.: Недра, 1983. – 415 с.
3. Попов М.О. Шляхи отримання космічної інформації в інтересах національної безпеки та оборони // *Наука і оборона*. – 2003. – № 2. – С. 38–50.
4. Савиных В.П., Кучко А.С., Стеценко А.Ф. *Аэрокосмическая фотосъемка*. – М.: Картцентр – Геоиздат, 1997. – 378 с.
5. Тюфляк Ю.С. *Космическая фотограмметрия при изучении планет и спутников*. – М.: Недра, 1986. – 247 с.
6. Wojcik S. *Zdjęcia lotnicze*. – Warszawa–Wrocław: PPWK, 1989. – 546 s.