

ГЕОПРОСТОРОВА ПІДТРИМКА

УДК 623.64

DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2023.53.46-51>Р. Писаренко, доц.
pisarerv@gmail.com
ORCID ID 0000-0002-9807-0028

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ В СИСТЕМІ ТОПОГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Широке застосування дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) при вирішенні завдань топогеодезичного забезпечення військ та під час ведення бойових дій є однією з сучасних тенденцій розвитку. Дані ДЗЗ надають точну, надійну, достовірну, оперативну та сучасну інформацію про місцевість, райони, об'єкти спостереження. Його сучасні засоби дозволяють вести цілодобове суцільне спостереження майже за будь-яких погодних умов та за будь-яким районом земної кулі, визначати координати об'єктів спостереження з точністю від 0,03–0,5 м до кількох метрів. Дистанційні методи зондування Землі дозволяють безперервно проводити топографічну розвідку, збирати інформацію у важкодоступних районах, на тимчасово недоступних територіях. Матеріали ДЗЗ застосовуються для складання, оновлення та виправлення топографічних, цифрових, електронних карт, для складання спеціальних карт, фотодокументів, описів та довідок про місцевість тощо. Повний перехід до дистанційних методів дослідження місцевості особливо доцільний під час бойових дій, насамперед через його дистанційність, економічність витрат коштів, робітників та часу для картографічних робіт. Дослідження та доцільне поєднання різних методів ДЗЗ дозволяє отримувати точні, якісні дані та вирішувати завдання топогеодезичного забезпечення швидше, оперативніше та ефективніше. Удосконалення використання даних дистанційного зондування при виконанні таких завдань топогеодезичного забезпечення, як створення фотопланів, фотосхем, фотокарт, карт змін місцевості, оновлення, оперативне виправлення карт та ін. дозволяє покращити процес картографічної діяльності, зекономити кошти та час на виконання робіт. Дані ДЗЗ є базою, а інколи й єдиним вихідним документом для створення карт. Оскільки в Україні немає діючих супутників, а аерофотозйомка проводиться з обмеженими можливостями, то безпілотні літальні апарати (БПЛА), завдяки своїм перевагам, є перспективним методом отримання даних про місцевість. Дані, отримані з БПЛА, є актуальними, своєчасними, точними, відносно легкими в обробці. Становлення БПЛА на озброєння в Топографічній службі ЗСУ (ТС ЗСУ) дозволить підвищити ефективність і точність виконання поставлених задач, удосконалити виконання ряду картографічних робіт.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, топографічна розвідка, топогеодезичне забезпечення.

Постановка проблеми. Однією з проблем сучасного суспільства є отримання об'єктивної інформації про навколишнє середовище. Один із найбільш перспективних шляхів вирішення цієї проблеми – застосування методів дистанційного зондування Землі. Це викликано передусім зростанням наземних і авіаційних засобів контролю навколишнього середовища, з одного боку, і зростанням доступності та здешевленням інформації, з іншого. По справжньому широкі перспективи відкрилися перед ДЗЗ з розвитком комп'ютерних технологій, переносом усіх основних операцій з обробки і використання даних зйомок на обчислювальну техніку, розробкою програмних комплексів з цифрової обробки зображень, з появою і широким розповсюдженням геоінформаційних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання отримання та використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) досліджували С. Станкевич, В. Зацерковний, О. Міхно, Л. Даценко, М. Попов. Шляхи розвитку та вдосконалення використання даних дистанційного зондування у військовій сфері розглянуті в працях О. Федченка, С. Прищепи, С. Зотова, І. Матвійчука. Аналіз останніх досліджень, публікацій та бойового досвіду війни з російською федерацією дозволяє зробити висновки, що одним із найбільш перспективних напрямів використання геопросторових даних є використання ДЗЗ на тактичному рівні.

Сучасні бойові дії військ набувають надзвичайної динамічності та інформаційної ємності. У ході виконання завдань доводиться оцінювати дуже багато чинників та приймати рішення в умовах обмеження часу та ресурсів. У зв'язку з цим набуває актуальності задача розробки та використання інформаційних систем при плануванні та керуванні діями військ і миротворчими підрозділами. У контексті інформаційних систем геопросторова

підтримка здійснюється за допомогою геоінформаційних технологій, які є елементом геоінформаційних систем тактичного рівня ЗС України.

Мета статті – проаналізувати та дослідити, як за допомогою отриманих даних ДЗЗ, зокрема даних з БПЛА, можна вдосконалити їх використання та тим самим підвищити ефективність виконання завдань щодо топогеодезичного забезпечення військ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Використання методів дистанційного зондування в системі топогеодезичного забезпечення ЗС України поступово набуває все більшої актуальності. Досвід ведення бойових дій показав, що наявність у командирів картографічних матеріалів, доведених своєчасно з точними, достовірними, найбільш актуальними даними, є запорукою ефективного ведення бою та успішного виконання поставлених завдань. Необхідність переходу до дистанційних методів дослідження місцевості, оперативної обстановки насамперед пов'язана з економічними витратами на картографічні роботи та зменшенням часу й людиновитрат на польові роботи. Матеріали ДЗЗ є базою, на основі якої проводиться оновлення топокарт, створення спеціальних карт, оперативне виправлення, виявлення змін на місцевості, проведення топографічної розвідки тощо. Зазначені роботи виконуються майже дистанційно з подальшою обробкою даних у камеральних умовах, використовуючи необхідне технічне та програмне забезпечення.

Дані дистанційного зондування в ТС ЗСУ отримуються за допомогою аерофотозйомки, космічних знімків, безпілотних літальних апаратів. Оскільки на сьогодні в Україні немає власних діючих супутників, то аерокосмічні знімки використовують з відкритих інтернет-ресурсів або замовляють через приватні фірми в інших держах. Космічні знімки є досить універсальними та

зручними матеріалами для проведення картографічних робіт, але головним недоліком є те, що вони не є даними, отриманими власноруч державою, а отже, стовідсотково гарантувати їхню достовірність неможливо. Однією з установ, що займається розбудовою космічної галузі задля безпеки та оборони країни, є Державне космічне агентство України (ДКАУ), основними завданнями якого є: забезпечення формування і реалізація державної політики у сфері космічної діяльності та надання підтримки в підготовці та реалізація міжнародних проєктів у сфері дослідження та використання космічного простору [1]. За необхідністю отримання космічних знімків військові частини звертаються до ДКАУ. На разі український супутник Січ-2 вийшов з ладу та супутник Січ-3 перебуває в процесі проєктування, але вітчизняні фахівці перебувають у тісній співпраці з міжнародними космічними компаніями й продовжують роботу над проєктами. Також можливо замовляти знімки різної просторової, спектральної та радіометричної роздільної здатності у приватних компаній, наприклад: Pixel Solutions, TVIS, Digital Globe, з супутників GEOEYE, WORLDVIEW, PLEIADES, QUICKBIRD, IKONOS, SPOT, RAPIDEYE, EROS тощо [2]. Аерофотозйомка у ТС ЗСУ проводиться періодично за цілком направленим для отримання аерофотознімків великих площ місцевості. Такий вид зйомки забезпечує отримання найбільш точних даних, але є достатньо затратним і трудомістким. Окрім того, аерофотозйомка в районі проведення ООС не завжди можлива.

Останнім часом все більше уваги приділяють застосуванню БПЛА та впровадженню нових методів та технологій зйомки за військовим призначенням. Першими БПЛА почали використовувати в розвідці ЗСУ для отримання розвідувальної інформації про противника. Під час виконання завдань добре зарекомендували себе такі БПЛА, як Spectator, Фурія, Лелека-100. Проте знімки, отримані з таких апаратів, не придатні для створення картографічних матеріалів, адже знімання проводиться з великими відхиленнями від надиру, з різних висот та часто перспективним видом. Досвід бойових дій показав, що цивільні картографічні БПЛА відіграють значну роль в отриманні точних, актуальних, якісних даних про місцевість, та можливості створення на їхній основі картографічних матеріалів. Тому постає гостра необхідність у наявності військових картографічних БПЛА для вдосконалення виконання задач ТС ЗСУ. Військові безпілотні літальні апарати як засіб отримання даних для ТС є новим напрямом, що розпочинає свій шлях становлення на озброєння ЗСУ. На сьогодні вивчаються характеристики БПЛА Inspire 2, спеціалізованого картографічного комплексу для здійснення аерофотознімальних робіт P316 та практично відпрацьовують їхню зйомку, обробку даних у спеціалізованих картографічних продуктах (Pix4Dmapper, ArcGIS тощо) [3].

У цілому використання дистанційного зондування в системі топогеодезичного забезпечення дозволяє максимально дистанційно отримувати дані про місцевість та створювати на їхній основі топокарти, спецкарти, фотоплани, фотосхеми, фотокарти, карти зміни місцевості, оновлювати, оперативано виправляти карти та ін., покращуючи картографічну продукцію, її якість, економлячи кошти, часо- та людиновитрати на виконання робіт. Однак ДЗЗ використовується обмежено за браком обладнання, ресурсів, джерел, коштів, можливостей. У районі ведення бойових дій найдоцільнішими є проведення космічної зйомки або зйомки з БПЛА залежно від поставлених завдань. Оскільки діючих власних супутників в Україні станом на 2023 рік немає, то актуальним є

отримання даних про місцевість саме з БПЛА. Отже, отримуємо дійсно власні, приховані, точні дані, які можливо швидко обробити та створити на їхній основі якісну картографічну продукцію.

Термін "дистанційне зондування" використовується для визначення ряду методів отримання інформації про об'єкти на відстані різними способами, зокрема за допомогою звукових чи електромагнітних хвиль. Знімання відбувається в основному з літаків, БПЛА, гелікоптерів, космічних супутників, обладнаних спеціальною знімальною апаратурою. Візуальні спостереження природних об'єктів з літаків, гелікоптерів чи космічних супутників дозволяють збільшити ефективність виконання ряду завдань з дослідження місцевості за рахунок скорочення обсягу інформації, її попередньої обробки та відбору для передачі на Землю. Візуальні аерокосмічні спостереження – це пряме спостереження з літальних апаратів за станом атмосфери, земної поверхні та наземних об'єктів. Візуальні спостереження з космосу і повітря можуть поєднуватися із фіксацією окремих вибраних об'єктів та з інструментальним розпізнаванням на знімках контурів місцевості. Окрім цього, із космосу можливі спостереження й дослідження унікальних процесів та явищ різних розмірів і місцеположення.

Вивчення місцевості з повітря як один із методів географічного дослідження Землі давно набув широкого застосування. Аеровізуальні дослідження місцевості розвивалися й удосконалювалися одночасно з аерофотозніманням [4]. Дистанційні методи зондування є безконтактними багатоплановими дослідженнями поверхні Землі й навколосемного простору, які виконуються за матеріалами наземного, повітряного та космічного знімання. Термін набув поширення після запуску в 1957 р. першого у світі штучного супутника Землі (ШСЗ) і знімання протилежного боку Місяця в 1959 р. автоматичною міжпланетною станцією "Зонд-3". Визначення методу ДЗЗ за ДСТУ 4220-2003: метод дистанційного зондування Землі – сукупність операцій отримання даних про Землю за допомогою технічних засобів ДЗЗ.

За способами розташування знімального обладнання щодо об'єкта дослідження та середовища дистанційне зондування поділяють на три сегменти: повітряний, космічний і наземний. Повітряний, у свою чергу, поєднує в собі знімання з пілотованих літальних апаратів та знімання з БПЛА. Методи дистанційного дослідження складаються з двох основних груп: активні і пасивні. Кожному з методів відповідають певні види знімків. При пасивних методах знімання використовують прилади, неспроможні генерувати випромінювання. Ці методи основані на реєстрації випромінювання, що йде від поверхні Землі та з атмосфери. До них належать такі спостереження: візуальні; основані на одержанні фотографічних і телевізійних зображень; зображень, які отримують за допомогою цифрових сенсорів і сканувальних радіометрів у діапазоні видимого спектра, у ближньому інфрачервоному та мікрохвильовому діапазонах. Пасивні методи застосовують при природному (сонячному) освітленні.

При активних методах знімання використовують прилади, що генерують спрямоване випромінювання, у результаті взаємодії якого з географічним об'єктом виникає зворотний сигнал, що вимірюється бортовими приймачами. До активних методів належить радіолокаційне та лазерне знімання. Ці методи застосовують при спеціально створюваному штучному освітленні. У більш вузькому плані до дистанційних методів належать технічні прийоми фіксації різних властивостей ландшафту й фізичних полів, а також способи обробки отриманої

інформації. Сучасні види ДЗЗ залежно від типу приймача та способу реєстрації об'єктів і явищ поділяють на візуальні, фотографічні, фотоелектронні, геофізичні.

До матеріалів дистанційного зондування належать будь-які дані, отримані за допомогою сенсорів, сканерів, оптичних пристроїв, радарів та фотоапаратів, установлених на супутниках, літаках тощо. Спектр даних, як і сфери їхнього використання, можуть бути надзвичайно широкими. Серед них можуть бути моніторинг умов навколишнього середовища та забруднювачів, стан сільськогосподарських угідь, розвідка корисних копалин, топографічне дешифрування та уточнення існуючих топографічних карт, дешифрування затоплених та підтоплених земель тощо. На сьогодні можна отримати майже будь-яку інформацію щодо різних природних або антропогенних об'єктів та процесів. Сучасні супутники надають можливість отримувати дані з детальною місцевістю до 0,3 м у найкоротші терміни. Така оперативність та якість знімків робить їх незамінними при виникненні кризових явищ та за необхідності швидкого реагування і попередньої оцінки результатів такого явища [5].

Дані ДЗЗ є найважливішим джерелом оперативної та сучасної інформації про природне середовище для створення картографічної продукції та підтримки даних в актуальному стані.

Переваги ДЗЗ:

- великий обсяг території;
- регулярна зйомка;
- дані про важкодоступні райони місцевості;
- отримання знімків різного розширення;
- швидке отримання інформації та її опрацювання.

Недоліки ДЗЗ:

- необхідність у висококваліфікованих спеціалістах;
- велика вартість технічного, програмного забезпечення.

Отримання даних ДЗЗ є одним із видів отримання даних про місцевість, при якому необхідна інформація отримується дистанційним методом, без прямого контакту з поверхнею Землі та противником. ДЗЗ проводиться у світловому та радіодіапазонах. Світловий діапазон включає видиме світло, ближній, середній та дальній ІЧ-діапазон. Знімання в цих діапазонах можливе завдяки наявності "вікон прозорості" атмосфери в цих областях спектра. Однак найбільшою перешкодою є хмарність, хоча вона й усувається при дешифруванні знімків, але впливають на радіометричні, геометричні викривлення. Радіодіапазон охоплює міліметрові та сантиметрові хвилі.

При ДЗЗ застосовують такі види знімань [6]:

- фотографічне;
- багатозональне;
- гіперспектральне;
- телевізійне та сканерне;
- фототелевізійне;
- ПЗЗ (приладів із зарядним зв'язком) – знімання;
- теплове інфрачервоне знімання;
- знімання в радіодіапазоні.

Фотографічні знімки отримують як результат проведення фотографічного знімання у світловій спектральній області, що включає видимий, ближній і середній інфрачервоний діапазони. Проведення знімання в цих діапазонах забезпечується наявністю "вікон прозорості" атмосфери. Однак велику перешкоду завдає хмарність і розсіювання в блакитній частині спектра.

Фотографічний метод космічного знімання передбачає наявність на борту космічного апарата або супутника фотографічної системи. Експонування фотоплівки здійс-

нюється в космосі, а фотографічне оброблення – на Землі. Фотографування виконується з пілотованих кораблів і орбітальних станцій або з автоматичних супутників і міжпланетних станцій із доставкою плівки на Землю при посадці або скиданні в контейнерах. Обмеження фотографічного методу пов'язані з необхідністю повернення плівки на Землю та обмеженим запасом на борту. Однак цей метод дає знімки найвищої якості з хорошими геометричними і фотометричними характеристиками.

Розрізненість фотографічних знімків з навколосезонних орбіт висотою 100–400 км може бути доведена до десятків сантиметрів, проте такі знімки не мають великої оглядовості і їх недоцільно використовувати в географічних цілях. Зазвичай у географічних дослідженнях використовують фотографічні знімки розрізненістю кілька метрів або десятків метрів. Характерна для сучасних фотографічних знімків розрізненість 0,4–30 м забезпечує високу детальність зображення, дозволяючи виконувати значне збільшення знімків порівняно з оригінальним масштабом знімання. Звичайне фотографічне знімання з навколосезонних орбіт ведеться з висоти 200–400 км камерами із фокусними відстанями 100–300 мм у масштабах 1:1 000 000–1:5 000 000, а працюють із цими знімками за 5–10-кратному збільшенні в масштабах 1:200 000–1:1 000 000.

Космічні фотознімки отримують з картографічних супутників у масштабах 1:200 000–1:1 000 000. Ці кадрові знімки мають центральну проєкцію з відносно невеликим захопленням (40–300 км); викривлення, викликані кривиною Землі та рельєфом – невеликі, їх можна виправляти. Поперечне перекриття знімків забезпечує можливість їх стереобробки. Для цього інформація фотографічних знімків має бути переведена в цифрову форму. Фотографічне знімання виконують з пілотованих кораблів і орбітальних станцій. Для топографічного картографування використовують чорно-білі панхроматичні знімки, а для тематичного – багатозональні та спектральнозональні.

Залежно від використовуваних фотографічних матеріалів фотографічні знімки можуть бути чорно-білі, кольорові, спектральнозональні, багатозональні та синтезовані. Чорно-білі фотознімки отримують в одній широкій зоні спектра, зазвичай у видимій. Для кольорових фотографій використовують дво- чи тришарові фотоплівки. Спектральнозональні знімки реєструють на спектральнозональні плівки, у яких відсутній шар, чутливий до синьої зони спектра. Замість нього застосовують шар, чутливий до ІЧ-променів. Такі знімки дозволяють вказати на відмінності об'єктів у ближній ІЧ-зоні спектра в псевдокольорах [6].

Багатозональні знімки отримують за допомогою спеціальних багатооб'єктивних фотоапаратів. Кожний об'єктив оснащений світлофільтрами, що робить можливим знімання в певній зоні спектра. У результаті на одну ділянку знімання отримують декілька зональних знімків, кожен з яких має зображення в заданому спектральному діапазоні. Із багатозональних знімків можна отримати синтезовані зображення шляхом надання кожному зональному знімку певного кольору та подальшого синтезування.

Знімання в різних і досить вузьких спектральних діапазонах дозволяє збільшити інформативність знімків і достовірність їхньої інтерпретації. Знімання проводиться мультиспектральними датчиками, які мають до десяти каналів, у певних зонах спектра. У результаті на одну й ту саму територію отримують декілька знімків, кожний з яких має зображення в заданому спектральному діапазоні, що полегшує аналіз та інтерпретацію зображення. Із багатозональних можна отримати

кольорові знімки, які називаються синтезованими. При цьому кожному зональному знімку надається певний колір і об'єднуються зображення. Кольори на знімку можуть бути реальними або штучними.

При багатозональному зніманні отримують серію знімків, неідентичних за розподілом оптичних густин, що пов'язано з відмінностями у відбивній здатності об'єктів у різних зонах спектра. Природні об'єкти, які нас оточують, мають різні спектри відбиття. Якщо весь видимий діапазон електромагнітного випромінювання розбити на декілька областей і через світлофільтри пропускати тільки певну частину всього видимого спектра, то інтенсивність і форма прийнятих сигналів буде різною. Маючи зображення земної поверхні в цьому діапазоні, можна за вимірами інтенсивності випромінювання від різних об'єктів визначити їхній тип [7].

Гіперспектральне знімання. Для підвищення якості та інформативності космічних матеріалів почали використовувати знімання з великою кількістю вузьких знімальних зон. Цей тип даних набув широкого застосування лише останнім часом, що пояснюється збільшенням кількості запусків супутників з гіперспектральними датчиками на борту, а отже, дані стали легкодоступними. Багатозональні зображення отримують цифровими датчиками (оглядовими спектрометрами), які вимірюють відбиту від поверхні Землі енергію в різних спектральних діапазонах.

Принцип отримання гіперспектральних зображень той самий, що й багатозональних. Відмінність полягає в тому, що мультиспектральні (багатозональні) датчики мають десятки каналів, а гіперспектральні – сотні. Це дозволяє в певному діапазоні довжин хвиль робити знімання майже безперервного спектра. Використовуючи цю особливість, можна досить точно розпізнавати об'єкти (напр., склад гірських порід, тип рослинності, ґрунту). Можна знаходити самі об'єкти, використовуючи спектральні бази даних. Гіперспектральні дані, отримані оглядовими спектрометрами, є майже безперервним спектром. Гіперспектральні системи з кількістю каналів більше 10 з 2000 р. істотно поповнили фонд знімків при виконанні програми EOS (Earth Observing System), розрахованої на 15 років.

Телевізійне та сканерне знімання. На відміну від фотографічного, телевізійне і сканерне знімання дає можливість систематично одержання зображення всієї поверхні Землі зі штучних супутників протягом тривалого часу при швидкому передаванні його на приймальні станції. При виконанні знімання цим методом використовуються кадрові та сканувальні системи. Телевізійні і сканерні знімки можуть передаватися на Землю в реальному часі, тобто під час проходження супутника над об'єктом знімання. У першому випадку на борту супутника є мініатюрна телевізійна камера, у якій оптичне зображення, побудоване об'єктивом на екрані, при зчитуванні електронним променем переводиться у форму електричних сигналів і радіоканалами передається на Землю.

Як і фотографічні, сканерні знімки у світловому діапазоні відображають оптичні характеристики об'єктів, однак таке знімання відрізняється оперативністю. Телевізійна та сканувальна апаратура негроміздка, вона встановлюється на легких штучних супутниках Землі, які запускаються на полярні орбіти, і в такий спосіб знімання охоплюється вся земна поверхня. На відміну від фотографічних, сканерні знімки є дискретними зображеннями, їхня якість визначається розміром елемента сканування – пікселя. Розрізненість сканерних знімків вимірювалася до 70-х років кілометрами (1-2 км). Удосконалення знімальної апаратури і каналів передачі інфор-

мації обумовило одержання знімків розрізненістю 30 і навіть 15 м, які за якістю зображення наближаються до фотографічних. Захоплення знімків збільшується від 180 км до 2-3 тис. км. У разі великого захоплення за рахунок значного кута сканування по краях знімка змінюється масштаб, розрізненість знижується в 2-4 рази, наявні значні геометричні та радіометричні викривлення. Тому сканерні знімки вимагають геометричного коригування. Важливу особливість сканерного знімання становить надходження інформації із супутника в цифровій формі, що полегшує її машинну обробку [8].

Фототелевізійне знімання. Фототелевізійний метод знімання використовує переваги фотографічного методу з його високою розрізненістю і телевізійного з його швидкою та оперативною передачею зображення. Початок застосування такого методу знімання відносять до перших років космічних досліджень, коли якість телевізійних зображень змушувала звертатися до фотографування з борту космічних носіїв навіть у разі неможливості доставки знятої плівки на Землю, використовуючи телевізійний метод для їхньої передачі. Основні недоліки на той час були пов'язані з малою розрізненістю знімків, але частково їх компенсували при застосуванні фототелевізійного методу. Цей метод поєднує фотографування за допомогою фотокамери, що забезпечує хорошу якість зображення та передачу експонованого зображення на Землю, з використанням телевізійного каналу зв'язку, що викликає необхідність повернення плівки на Землю [8].

ПЗЗ-знімання. Подальше підвищення розрізненості при оперативному зніманні пов'язано із застосуванням електронних камер (іноді їх називають електронними сканерами). У них розміщені багатоелементні лінійні й матричні приймачі, що складаються з декількох тисяч мініатюрних (розміром 10-20 мкм) світлочувливих елементів-детекторів, приладів із зарядним зв'язком. Малі розміри детекторів, що реєструють зображення, забезпечують високу розрізненість подібних знімків (десятки метрів – 1 м). Недолік таких знімків у невеликому захопленні території знімання (40-70 км), а у знімків високої розрізненості – лише 10-15 км. Найбільшою розрізненістю відрізняються панхроматичні знімки, а розрізненість багатозональних знімків у 2-4 рази гірша.

ПЗЗ-знімки одержують з ресурсно-картографічних і спеціальних супутників для детального знімання й використовують їх для тематичного та топографічного картографування. Регулярне формування фонду знімків такого типу почалося з 1986 р. із запуском французького супутника SPOT. Він був виведений на субполярну сонячно-синхронну орбіту висотою 800 км, що забезпечувало повторюваність знімання через 26 діб. Знімки із супутників SPOT поряд зі знімками "Landsat" на сьогодні найширше використовуються для картографування. Проте значна дорожнеча знімків у цифровій формі та складність їхнього цифрового оброблення стримують застосування цих матеріалів у країнах, що розвиваються, де необхідність у них для розв'язання проблем топографічного і великомасштабного тематичного картографування особливо велика. З перших трьох супутників SPOT отримано 15 млн знімків [9].

Теплове інфрачервоне знімання. Тепловий ІЧ-діапазон охоплює довжини хвиль від 3 до 1000 мкм, однак велика частина його променів не пропускається атмосферою. Є тільки три "вікна прозорості" з довжинами хвиль 3-5, 8-14 і 30-80 мкм, перші два з яких використовуються для знімання. Інтенсивність випромінювання Сонця в цьому діапазоні незначна, але на хвилі довжиною 10-12 мкм припадає максимум власного теплового

випромінювання Землі. Оскільки в різних об'єктів земної поверхні воно неоднакове, то з'являється можливість за даними реєстрації цього випромінювання стверджувати про характер випромінюючих об'єктів. Прилади реєстрації, що працюють у цьому діапазоні, дають сигнали різної сили для об'єктів з різною температурою. При побудові за цими сигналами зображення – теплового інфрачервоного знімки – одержують просторово зафіксовані температурні розходження об'єкти знімання. У цьому діапазоні отримують знімки розрізненістю 1 км з метеосупутників і сотні метрів – з ресурсних супутників, такі самі, як у світловому діапазоні. Температурна розрізненість сучасних інфрачервоних радіометрів становить десятки частки градуса. Знімання можна вести вночі на затіненому боці Землі, а також в умовах полярної ночі. Хмарність заважає зніманню, оскільки в цьому випадку реєструються температури не земної поверхні, а верхньої холодної межі хмар.

Теплові інфрачервоні знімки відображують температурні характеристики поверхні – холодні й теплі об'єкти на них зображуються різними тонами. Зазвичай на таких знімках найхолодніші об'єкти виглядають світлими, теплі – темними, з усією гамою температурних переходів. Просторова розрізненість теплових знімків, що передається з метеосупутників, становить 1 км, температурні відміни реєструються з точністю 0,1–0,2 °C. З ресурсних супутників передають теплові знімки більш високої розрізненості – близько 60 м при охопленні 180 км. Теплові знімки надходять і в багатозональному варіанті знімання, а також при гіперспектральному зніманні у вузьких зонах теплового діапазону.

Космічне знімання в тепловому ІЧ-діапазоні здійснюється на всіх метеорологічних супутниках, у тому числі геостационарних. Розрізненість теплових інфрачервоних знімків постійно підвищується. Теплові інфрачервоні знімки використовуються для комп'ютерного складання карт температури водної поверхні океанів. Для вивчення за тепловими знімками земної поверхні використовують властивість різної теплової інерції різних об'єктів, тому важливе виконання теплового знімання кілька разів протягом доби. Реалізація теплового інерційного картографування сприяє використанню серії з декількох метеорологічних супутників [10].

Знімання в радіодіапазоні. Для дистанційного вивчення Землі використовується ультракороткохвильовий діапазон радіохвиль з довжинами 10 мм – 10 м, який називається надвисокочастотним діапазоном у вітчизняній літературі та мікрохвильовим в американській. Він значною мірою вільний від впливу атмосфери: "вікно прозорості" охоплює довжини хвиль від 1 см до 10 м. При зніманні в ультракороткохвильовому діапазоні фіксується або власне випромінювання Землі цього діапазону (пасивна радіометрія), або відбите штучне випромінювання (активна радіолокація). Ці два методи знімання забезпечують одержання мікрохвильових радіометричних і радіолокаційних знімків. Мікрохвильові радіометричні знімки реєструють радіотеплове випромінювання Землі в мікрохвильовому радіодіапазоні, який залежить від електричних властивостей поверхні та є неоднаковим у об'єктів з різними властивостями, такими як вологомісткість, солоність, кристалічна структура тощо. Знімки можна отримувати незалежно від погодних умов та освітленості.

Пасивне знімання виконується аналогічно тому, як це робиться у світловому й тепловому інфрачервоному діапазоні. За допомогою мікрохвильових радіометрів реєструється мікрохвильове випромінювання різних об'єктів. Таке знімання називається радіотепловим,

або мікрохвильовим радіометричним. Випромінювальні характеристики різних природних і штучних об'єктів у цьому діапазоні неоднакові. Наприклад, випромінювання металів мінімальне, майже дорівнює 0; випромінювання рослинності і сухого ґрунту визначається коефіцієнтом 0,9, а води – 0,3. Це дозволяє розділяти на знімках об'єкти з різними випромінювальними властивостями, зокрема різні за вологістю ґрунти, воду з різним ступенем солоності, об'єкти з різною кристалічною структурою, промерзання ґрунтів. На таких знімках порізного виглядають морські льоди різного віку – однолітні й багатолітні, які можуть не розрізнятися на звичайних знімках в оптичному діапазоні.

Радіолокаційні знімки отримують у радіодіапазоні, реєструючи відбитий земною поверхнею радіосигнал, що посилюється бортовим радіолокатором. На носії встановлюють активне джерело радіовипромінювання з антеною, що діє за принципом перегляду місцевості поперек лінії маршруту. Посилається до Землі вузьконаправлений сигнал, який по-різному відбивається поверхнею й уловлюється реєструючою апаратурою. З таких порядкових сигналів формуються радіолокаційні знімки, на яких відображаються шорсткість поверхні, її мікрорельєф, особливості структури та сполучення порід, що складають поверхню. Радіолокатори підповерхневого зондування працюють у дециметровому й метровому діапазонах (1–30 м). Вони виявляють підповерхневу неоднорідність ґрунтів, що дозволяє визначити глибину їхнього залягання й потужність. Наприклад, у діапазоні 1–5 м фіксуються прісні ґрунтові води в пісках на глибині до 20 м.

Можливість отримання знімків не залежить від погоди й освітленості – хмарність на них не відображається. Просторова розрізненість визначається розміром антени. У знімків, зроблених радіолокаторами бокового огляду з реальною антеною, розрізненість 1–2 км, у більшості випадків при використанні радіолокації із синтезованою довжиною антени отримують знімки розрізненістю 10–30 м при захопленні 100 км.

Ультракороткохвильовий радіодіапазон використовується також при активному радіолокаційному зніманні. Радіолокаційні знімки можуть застосовуватися в океанології, геології, гідрогеології, у сільському господарстві, для картографування використання земель, вивчення міст тощо. Знімання в радіодіапазоні відрізняється від інших видів знімання своєю всепогодністю, знімання може здійснюватися вночі, за суцільної хмарності, у тумані, під час дощу. Розрізненість радіолокаційних знімків не залежить від висоти знімання, а визначається розміром антени [7].

Висновки. Отже, у ході аналізу теоретико-методологічних основ ДЗЗ та використання їх у військовій сфері розглянуто та проаналізовано основні методи, види отримання даних за допомогою ДЗЗ, виділено їхні переваги та недоліки, охарактеризовані основні методи аерокосмічних знімань, а саме: фотографічного, багатозонального, гіперспектрального, телевізійного, сканерного, фототелевізійного, ПЗЗ-знімання, теплового інфрачервоного, знімання в радіодіапазоні.

Кожний вид аерокосмічних знімань має певні переваги та недоліки, які слід враховувати при виконанні того чи іншого завдання, окрім того, для досягнення найкращих результатів доцільно поєднувати різні види знімань. Для обробки даних, отриманих із ШСЗ, існує широкий спектр програм, які слід використовувати, виходячи з вимог до конкретних задач.

Список використаних джерел

1. Космічна діяльність України. Фотоальбом Державного космічного агентства України. Київ : "Спейс-Інформ", 2015, 164 с.
2. Дані дистанційного зондування Землі як джерело інформації для баз геоданих. URL: <https://ukrbukva.net/13553-Dannye-distancionnogo-zondirovaniya-Zemli-kak-istochnik-informacii-dlya-baz-geodannyh.html> (дата звернення: 12.01.2023).
3. Програми для обробки знімків з БПЛА: огляд. URL: <http://www.50northspatial.org/ua/uav-image-processing-software-photogrammetry/> (дата звернення: 12.01.2023).
4. Дистанційне зондування Землі з основами фотограмметрії: навч. посіб. / В.В. Білоус, С.П. Боднар, Т.М. Курач та ін.; упоряд. Т.М. Курач. Київ : ВПЦ "Київський університет", 2011. 367 с.
5. Дистанційне зондування Землі, атмосфери і океану. URL: http://ukr-referats.blogspot.com/2013/04/blog-post_12.html (дата звернення: 12.01.2023).
6. Gonzales R.C., Woods R.E. Digital image processing. Boston : MA Addison-Wesley, 2001. 823 p.
7. Зацерковний В.І. Дистанційне зондування Землі. Фізичні основи : навч. посіб. Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2018. 380 с.
8. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. Aerial Photography. URL: <http://eros.usgs.gov/aerial-photography> (дата звернення: 12.01.2023).
9. Технічні характеристики супутника SPOT-6 та області застосування. URL: http://www.tvis.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=67&Itemid=92 (дата звернення: 12.01.2023).
10. IKONOS Satellite Sensor. URL: <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos/> (дата звернення: 22.12.2023).

References

1. Space activity of Ukraine. Photo album of the State Space Agency of Ukraine. (2015) Kyiv: "Space-Info", 164 p. [in Ukrainian and English].
2. Earth remote sensing data as a source of information for geodatabases. <https://ukrbukva.net/13553-Dannye-distancionnogo-zondirovaniya-Zemli-kak-istochnik-informacii-dlya-baz-geodannyh.html>
3. Programs for processing UAVs images. Review. <http://www.50northspatial.org/ua/uav-image-processing-software-photogrammetry/>
4. Bilous V.V., Bodnar S.P., Kurach T.M., Molochko A.M., Patychenko G.O., Pidlisetska I.O. (2011) Remote sensing data of the Earth with the basics of photogrammetry: a tutorial. Kyiv: Publishing and Printing Center "Kyiv University". 367 p. [in Ukrainian].
5. Remote sensing data of the Earth, atmosphere and ocean. http://ukr-referats.blogspot.com/2013/04/blog-post_12.html
6. Gonzales R.C., Woods R.E. (2001) Digital image processing. Boston, MA Addison-Wesley. 823 p. [in English].
7. Zatserkovny V.I. (2018) Remote sensing data of the Earth. Physical foundations: Textbook / Nizhyn: NDU named after M. Gogol. 380 p. [in Ukrainian].
8. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. Aerial Photography. <http://eros.usgs.gov/aerial-photography>
9. Technical characteristics of the SPOT-6 satellite and areas of application. http://www.tvis.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=67&Itemid=92
10. IKONOS Satellite Sensor. <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos/>

Надійшла до редколегії 09.02.23

R. Pysarenko, Assoc. Prof.

pisarev@gmail.com

ORCID ID 0000-0002-9807-0028

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

PECULIARITIES OF THE USE OF EARTH REMOTE SENSING DATA IN THE TOPOGRAPHIC SUPPORT SYSTEM OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

The widespread use of remote sensing data (RSD) in solving the tasks of topographic support of the troops and during the conduct of hostilities is one of the modern development trends. Earth remote sensing data provide accurate, reliable, reliable, operational and up-to-date information about terrain, areas, and observation objects. Its modern means allow for round-the-clock continuous observation in almost any weather conditions and for any region of the globe, to determine the coordinates of the objects of observation with an accuracy from 0.03-0.5 m to several meters. Remote sensing methods allow continuous topographic reconnaissance, gathering information in hard-to-reach areas, in temporarily inaccessible territories. RSD materials are used for compiling, updating and correcting topographic, digital, electronic maps, for compiling special maps, photo documents, descriptions and information about the area, etc. A complete transition to remote methods of terrain research is especially appropriate during hostilities, primarily due to its remoteness, economy of expenditure of funds, workers and time for cartographic work. The research and appropriate combination of various methods of land surveying allows to obtain accurate, high-quality data and to solve the tasks of topographic support faster, more quickly and more efficiently. Improving the use of remote sensing data when performing such tasks of topographic support as creating photoplans, photoschemes, photomaps, maps of terrain changes, updating, operational correction of maps, etc. allows you to improve the process of cartographic activities, save money and time for work. RSD is the basis, and sometimes the only source document for creating maps. Since there are no operational satellites in Ukraine, and aerial photography is carried out with limited capabilities, unmanned aerial vehicles (UAVs), due to their advantages, are a promising method of obtaining data about the terrain. Data obtained from UAVs are relevant, timely, accurate, and relatively easy to process. The adoption of UAVs in the Topographic Service of the Armed Forces of Ukraine will allow to increase the efficiency and accuracy of the tasks assigned, to improve the performance of a number of cartographic works.

Keywords: remote sensing data, topographic reconnaissance, topographic support.