

## ІНТЕГРАЦІЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І ТЕХНОЛОГІЙ В СФЕРІ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЗАДАЧ

*Бурхливий розвиток геоінформаційних систем і засобів дистанційного зондування Землі, що спостерігається протягом останніх десятиріч, обумовлює необхідність взаємної інтеграції цих напрямків. Дана стаття присвячена питанню інтеграції геоінформаційних систем і технологій в сфері дистанційного зондування Землі для вирішення військових задач.*

*Ключові слова: дистанційне зондування Землі, геоінформаційна система.*

*Бурное развитие геоинформационных систем и средств дистанционного зондирования Земли, которое наблюдается в течении последних десятилетий, обуславливает необходимость взаимной интеграции этих направлений. Данная статья посвящена вопросу интеграции геоинформационных систем и технологий в области дистанционного зондирования Земли для решения военных задач.*

*Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, геоинформационная система.*

*The rapid development of geographic information systems and means of remote sensing, observed in recent decades, requires the mutual integration of these areas. This article is dedicated to the integration of geographic information systems and technologies in the field of remote sensing to solve military problems.*

*Keywords: remote sensing, geographic information system.*

**Вступ.** З кожним роком збільшується кількість завдань, які успішно вирішують сучасні інформаційні технології, зокрема – методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційні системи (ГІС) і технології. Серед них: дослідження природних явищ, оцінка та передбачення результатів людської діяльності, спостереження і прогнозування стану місцевості, екологічне картографування тощо. Значення ДЗЗ підсилило виникнення протягом останніх десятиліть ГІС, які втілили принципово новий підхід до роботи з просторовими даними [1].

**Постановка завдання.** Дані космічних спостережень сукупно з наземними даними, становлять основу інформаційної бази ГІС, використання якої на території України на сьогодні набуває дедалі важливішого значення. ГІС – це сучасні комп'ютерні технології для картографування та аналізу об'єктів реального світу, а також явищ, що відбуваються на земній поверхні. ГІС забезпечує збір, зберігання, оброблення, відображення і розповсюдження геопросторових даних. Основу ГІС становлять автоматизовані картографічні системи, а головними джерелами даних є різноманітні геообразження. ГІС призначені для розв'язування наукових і прикладних задач інвентаризації, аналізу, оцінки та прогнозу змін навколишнього середовища та прийняття управлінських рішень [2].

Таким чином, питання інтеграції ГІС в області ДЗЗ для вирішення військових задач на даний час є досить актуальним.

**Результати дослідження.** Ефективну роботу сучасних ГІС важко уявити без супутникових методів дослідження території поверхні Землі. Дистанційне супутникове зондування знайшло широке застосування в геоінформаційних технологіях у зв'язку зі швидким розвитком і удосконаленням космічної техніки та згортанням авіаційних та наземних методів моніторингу.

ДЗЗ – науковий напрям, заснований на зборі інформації про поверхню Землі без фактичного контактування з нею. Процес отримання даних про поверхню включає в себе зондування і запис інформації про відображену або відбиту об'єктами енергію з метою подальшої обробки, аналізу і практичного використання [1].

Виділяються наступні складові ДЗЗ:

1) наявність джерела енергії або освітлення – це перша вимога дистанційного зондування, тобто повинно бути джерело енергії, яке освітлює або живить енергією електромагнітного поля об'єкти, що представляють інтерес для дослідження;

2) випромінювання і атмосфера – випромінювання, що розповсюджується від джерела до об'єкта, частина шляху якого проходить крізь атмосферу Землі; цю взаємодію необхідно враховувати тому, що характеристики атмосфери впливають на параметри енергетичних випромінювань;

3) взаємодія з об'єктом дослідження – характер взаємодії падаючого на об'єкт випромінювання залежить від параметрів як об'єкта, так і випромінювання;

4) реєстрація енергії сенсором – випромінювання, що випускається об'єктом дослідження, потрапляє на віддалений високочутливий сенсор, потім отримана інформація записується на носій;

5) передача, прийом та обробка інформації – інформація, зібрана чутливим сенсором, передається в цифровому вигляді на приймаючу станцію, де дані трансформуються в зображення;

6) інтерпретація та аналіз – оброблене зображення інтерпретується за допомогою комп'ютера, після чого аналізується інформація про досліджуваний об'єкт;

7) застосування отриманої інформації – отримання потрібної інформації про об'єкт спостереження для вирішення практичної задачі.

Засоби ДЗЗ дозволяють отримувати відомості про стан атмосфери не тільки в локальному, а й у глобальному масштабі, що є досить важливим для військових цілей. Дані зондування надходять у вигляді зображень, як правило, в цифровій формі. Подальша обробка здійснюється комп'ютером. Тому проблематика ДЗЗ тісно пов'язана з завданнями цифрової обробки зображень.

Для спостереження з космосу використовують дистанційні методи, при яких дослідник має можливість на відстані отримувати інформацію про досліджуваний об'єкт. Наприклад, необхідно оцінити стан лісових масивів у районі майбутніх бойових дій. Апаратура супутника, задіяна у моніторингу, буде реєструвати інтенсивність світлового потоку від досліджуваних об'єктів в декількох ділянках оптичного діапазону. Методи вивчення Землі з космосу не випадково відносять до високотехнологічних. Це пов'язано не тільки з використанням ракетної техніки, складних оптико-електронних приладів, комп'ютерів, швидкісних інформаційних мереж, але і з новим підходом до отримання та інтерпретації результатів вимірювань. Супутникові дослідження проводяться на невеликій площі, але вони дають можливість узагальнювати дані про всю Земну кулю. Супутникові методи дозволяють отримувати результат за порівняно короткий інтервал часу, що в умовах гострого дефіциту часу при виконанні бойових завдань є досить важливим.

До числа особливостей дистанційних методів відноситься вплив середовища (атмосфери), через яке проходить сигнал з супутника. Наприклад, наявність хмарності, що закриває об'єкти та робить їх невидимими в оптичному діапазоні. Але, навіть і при відсутності хмарності, атмосфера послаблює випромінювання від об'єктів. Тому супутниковим системам доводиться працювати в так званих вікнах прозорості, враховуючи, що в них має місце поглинання і розсіювання газами і аерозолями. У радіодіапазоні можливе спостереження Землі і крізь хмарність.

При ДЗЗ використовується оптичний діапазон електромагнітних хвиль і мікрохвильовий діапазон радіодіапазону. При пасивних методах зондування в оптичному діапазоні джерелами електромагнітної енергії є розігріті до досить високої температури тверді, рідкі, газоподібні тіла. На хвилях довжиною більше 4 мкм власне теплове випромінювання Землі перевершує випромінювання Сонця. Реєструючи інтенсивність теплового випромінювання Землі з космосу, можна досить точно оцінити температуру суші і водної поверхні, яка є найважливішою екологічною характеристикою. Вимірявши

температуру верхньої межі хмарності, можна визначити її висоту, якщо врахувати, що в тропосфері з висотою температура зменшується в середньому на  $6,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{км}$ . При реєстрації теплового випромінювання з супутників використовується інтервал довжин хвиль 10-14 мкм, в якому поглинання в атмосфері є невеликим.

Перші зображення Землі з космосу були отримані за допомогою фотокамери. Ця методика застосовується і в наш час. Супутник з фотореєстрації „Ресурс-Ф1М” (Росія) дозволяє фотографувати Землю в інтервалі довжин хвиль 0,4-0,9 мкм. Зняті матеріали передаються на Землю і проявляються. Аналіз знімків, як правило, проводиться візуально за допомогою проекційної апаратури, яка дозволяє також отримувати кольорові фотовідбитки. Метод забезпечує високу геометричну точність зображення; можна збільшити знімки без помітного погіршення якості. Однак він мало оперативний, оскільки зображення представлено у вигляді фотографій, а не в цифровій формі, і ефективний у видимому і ближньому інфрачервоному діапазонах.

Цих недоліків позбавлені сканерні методи. Сканер з циліндричною розгорткою являє собою маятник, закріплений в одній точці, який коливається перпендикулярно напрямку руху. На кінці маятника в його фокальній площині встановлений об'єктив з точковим фотоприймальним пристроєм. При русі апарату над Землею з виходу фотоприймального пристрою знімається сигнал, пропорційний освітленості у видимому або ближньому інфрачервоному діапазоні тієї ділянки земної поверхні, на яку в даний момент спрямована вісь об'єктива. На практиці сканер нерухомий, а коливається (обертається) дзеркало, зображення від якого через об'єктив потрапляє в фотоприймальний пристрій. Сканерна інформація в цифровій формі передається з супутника в реальному часі або в записі; на Землі вона оброблюється на комп'ютері.

Лінійний сканер містить розташовані в лінію нерухомі фоточутливі елементи, число яких коливається від 190 до 1000. На лінійку через об'єктив фокусується зображення земної поверхні, всі елементи знаходяться в фокальній площині. Лінійка, орієнтована поперек напрямку руху супутника, переміщується разом з ним, послідовно зчитуючи сигнал, пропорційний освітленості різних ділянок поверхні і хмар.

Станції для прийому інформації з супутників на Землі містять антену з опорно-поворотним пристроєм, радіоприймальний пристрій і засоби обробки, зберігання і відображення інформації. Найбільш розповсюджені дзеркальні антени з параболічним рефлектором наводяться на супутник по командам комп'ютера, в який закладено орбітальні дані. У фокусі антени встановлений опромінювач, сигнал з якого посилюється підсилювачем. Далі сигнал по кабелю надходить на приймач, цифровий сигнал з виходу якого оброблюється на комп'ютері. Оброблені зображення поміщуються в базу даних.

Для визначення напрямків застосування ДЗЗ проведено аналіз характеристик основних супутників для дистанційного зондування, що використовуються на даний час.

Супутники NOAA (США). Метеорологічні та природознавчі супутники NOAA мають довжину 4,18 м, діаметр 1,88 м, масу на орбіті 1030 кг. Кругова орбіта має висоту 870 км, один виток супутник робить за 102 хв. Площа сонячних батарей супутника  $11,6 \text{ м}^2$ , потужність батарей не менше 1,6 кВт, але з часом батареї деградують через вплив космічних променів і мікрометеорів. Для нормальної роботи супутника необхідна потужність не менш 515 Вт.

Супутники серії NOAA обертаються на майже кругових геліосинхронних орбітах з висотою порядку 850 км. Через кривизну Землі зона радіовидимості супутника становить  $\pm 3400 \text{ км}$ , тому за один прохід супутника вдається отримати інформацію з поверхні близько 3000-7000 км. В даний час на орбіті знаходяться шість супутників цієї серії (NOAA 11, 12, 14, 15, 16 і 17), але функціонують надійно тільки три (NOAA 12, NOAA 16, NOAA 17), що дозволяє отримувати інформацію про стан навколишнього середовища в регіоні з частотою не рідше 6-10 разів на добу.

На супутниках серії NOAA встановлені прилади AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), що забезпечують безперервні ряди спостережень у видимому та інфрачервоному діапазонах спектру.

Прилад AVHRR є типовим сканером. Відмінною особливістю приладу AVHRR є можливість приймати сигнал у вікні прозорості атмосфери 10-12 мкм. Одночасно прилад дозволяє приймати сигнал у видимій і в ближній інфрачервоній областях спектра при складанні повного зображення поверхні Землі за одну добу. Це, при досить довгому ряді спостережень, робить його незамінним при оцінці поточних змін рослинності планети.

На супутниках NOAA встановлена апаратура HIRS для визначення температури в тропосфері на різних висотах (вертикальні профілі атмосфери) в смузі огляду 2240 км. Для цього HIRS містить автоматичний скануючий спектрофотометр інфрачервоного діапазону, який використовує властивість вуглекислого газу змінювати положення і ширину лінії поглинання на довжинах хвиль порядку 14-15 мкм в залежності від тиску. Цей же прилад дозволяє оцінювати загальний вміст озону в стовпі атмосфери з поглинання теплового випромінювання від поверхні Землі й атмосфери на довжині хвилі 9,59 мкм.

Крім зазначеної апаратури на супутниках встановлені: прилад SSU для дослідження стратосфери; мікрохвильовий прилад MSU для визначення температурних профілів стратосфери; апаратура пошуку і порятунку за міжнародною програмою Коспас/SARSAT; система ARGOS для збору метеорологічної і океанографічної інформації з автоматичних метеостанцій, морських буїв і повітряних куль.

Супутники серії „Ресурс-01” (Росія). Багатозональна космічна інформація високої і середньої розподільної здатності, що надходить з космічних апаратів (КА) „Ресурс-01” широко використовується різними галузями народного господарства і службами Росії, країн СНД, а також в інтересах досліджень наук про Землю. КА „Ресурс-01” запускаються на кругові сонячно-синхронні орбіти висотою 600-650 км, нахилом 98°. Період обертання супутників – 97,4 хв, розподільна здатність на поверхні – 150-250 м.

На КА „Ресурс-01” N4 встановлений комплекс апаратури для вивчення природних ресурсів Землі, екологічного контролю, метеорологічного забезпечення, проведення геліо- та геофізичних спостережень, дослідження радіаційного балансу Землі. Орбіта КА „Ресурс-01” N4 – сонячно-синхронна. Місцевий середній сонячний час в підсупутниковій точці в середніх широтах на низхідній гілці (проліт у напрямку північ-південь) складає близько 10 год 15 хв, а на висхідній гілці (проліт в напрямку південь-північ) – близько 20 год 50 хв. Орієнтація КА тривісна, одна з осей направлена в надир, інша вісь по вектору швидкості. Передача даних розміщеного на борту КА науково-інформаційного комплексу здійснюється по цифровій і аналоговій радіолінії.

Супутники LANDSAT (США). Перший супутник LANDSAT (США) був запущений 23 липня 1972 року. Висота орбіти супутників LANDSAT 1, 2, 3 становила 920 км, супутників LANDSAT 4, 5, 6, 7 – 705 км. Період обертання супутника LANDSAT-5 складає 98 хв. Над однією і тією ж точкою поверхні пролітає один раз в 16 днів приблизно в 9 год 45хв місцевого часу. Основними приладами супутників серії LANDSAT є прилад MSS (Multi-Spectral Scanner) і TM (Thematic Mapper). MSS має спектральні канали 0,49-0,605 мкм (зелена ділянка спектра), 0,603-0,7 мкм (червона), 0,701-0,813 мкм (червона – ближня інфрачервона), 0,808-1,023 мкм (ближня інфрачервона), зона огляду 185 км. Сканування здійснюється за допомогою дзеркала діаметром 30 см з частотою коливання 13,62 Гц.

Прилад MSS на супутнику LANDSAT 1, 2, 3 був класичним сканером і працював наступним чином. Випромінювання, відбите від поверхні Землі, збиралося телескопічною системою і спрямовувалось на скануюче дзеркало. Це дзеркало поверталось навколо деякої осі з періодом 3,3 мсек, забезпечуючи сканування місцевості в напрямку, перпендикулярному руху супутника, за кутом зору приблизно 12°. Такий кут зору при висоті супутника рівною 920 км, забезпечував ширину смуги огляду 185 км. Відбите від скануючого дзеркала випромінювання потрапляло на систему фільтрів. Ця система

забезпечувала поділ випромінювання на спектральні діапазони. Після цього випромінювання реєструвалося за допомогою системи детекторів. У приладі MSS було передбачено по 6 детекторів для кожного спектрального діапазону. Це дозволяло одночасно приймати розсіяне випромінювання від 6 смуг шириною близько 80 м кожна, забезпечуючи тим самим розподільну здатність на місцевості 80 м. Зареєстровані сигнали за допомогою системи телеметрії передавалися на Землю, де з них формувалися зображення для кожної з спектральних смуг. Кожне з таких зображень складалося приблизно з 7581600 елементів (пікселів).

Супутники SPOT (Франція). Згідно з програмою SPOT (System Probatoire D'Observation de la Terre) перший запуск штучного супутника Землі був здійснений в лютому 1986 р. В даний час на орбіті функціонують супутники SPOT 1, 2, 4 і 5. Зв'язок із супутником SPOT 3 був втрачений у 1996 р. Супутники знаходяться на сонячно-синхронній орбіті. Самим останнім і передовим за характеристиками в даний час є супутник SPOT 5. В другій половині 2012 року планується запуск супутника SPOT 6 [3]. Супутники оснащені високоточним стереоскопічним детектором, що дозволяє отримувати стереознімок для топографічних цілей і побудови моделей рельєфу, і двома камерами високої розподільної здатності, що дозволяють отримувати чорно-білі зображення з роздільною здатністю 5 м, а в режимі стереозйомки – 2,5 м, і кольорові – з роздільною здатністю 10 м. Крім того, на Spot 5 встановлена камера Vegetation 2, що дозволяє отримувати практично щодня знімки всієї поверхні Землі з роздільною здатністю 1 кілометр.

На борту супутників SPOT розміщені багатоелементні скануючі пристрої SPOT HRV (High Resolution Visible), які працюють в багатозональному (просторове розрізнення 20 м, спектральні діапазони 0,50-0,59, 0,61-0,68, 0,79-0,89 мкм) і панхроматичному (дозвіл 10 м) режимах. Супутник пролітає над однією і тією ж місцевістю кожні 26 днів, а смуга огляду приладу HRV становить 117 км, хоча спостереження підстилаючої поверхні може здійснюватися в смузі 950 км. Це досягається за допомогою поворотного дзеркала. Особливістю супутників SPOT є можливість отримувати стереозображення земної поверхні шляхом зйомки однієї і тієї ж ділянки на двох послідовних витках.

Супутники ERS (Європейське космічне агентство). Супутник ERS-1 був запущений у липні 1991 р., ERS-2 – у квітні 1995 р. Висота орбіти 798 км з нахилом 98° і періодом обертання 67-100 хв. До складу бортової апаратури включена радіолокаційна станція мікрохвильового зондування AMI (Active Microwave Instrument), яка забезпечує три режими роботи.

Режим побудови радіолокаційних зображень підстилаючої поверхні з використанням синтезованої апертури антени (AMI-SAR image mode) застосовується при спостереженні берегової зони, полярних льодів, при визначенні стану поверхні моря, виявленні особливостей геологічної будови земної поверхні, вивченні рослинного покриву. Сигнали, відбиті від поверхні Землі, можуть прийматися двома антенами, розташованими одна над іншою. По різниці фаз їх сигналів (інтерферометричний метод вимірювання) можна визначати висоту наземних об'єктів з точністю 10 м.

Режим вивчення морських хвиль з використанням синтезованої апертури антени (AMISAR wave mode) забезпечує визначення напрямку і довжини морських хвиль. Даний режим програмно включається кожні 200-300 км, дозволяючи одержувати зображення розміром 6,6 км, за якими можна оцінювати характеристики морських хвиль.

Режим трипроменевого скаттерометра (AMI Scatterometer mode) призначений для визначення характеристик приповерхневих морських вітрів. У цьому режимі три передавальні антени формують три промені, що сканують в смузі шириною до 500 км, дозволяючи визначати напрямок і швидкість вітру.

До складу вимірювальної апаратури входить також радіолокаційний висотомір RA (Radar Altimeter) для визначення швидкості вітру, вимірювання характерної висоти хвиль, топографії морської поверхні, крижаного покриву і поверхні суші, побудови контурів

крижаних масивів, а також виявлення кордонів морських льодів. Висотомір може працювати в режимі дослідження океану (Ocean Mode), забезпечуючи точність вимірювання швидкості хвиль 2 м/с і точність вимірювання висоти хвиль 0,5 м в межах плями розміром 1,6-2,0 км, точність визначення висоти підйому поверхні моря – 10 см.

Комплекс приладів ATSR (Along-Track Scanning Radiometer and Microwave Sounder) включає радіометр оптичного діапазону і двоканальний мікрохвильовий пристрій вертикального зондування. Радіометр призначений для спостереження поверхні моря і суші, вимірювання їх температури, температури верхньої хмарності і забезпечує прийом випромінювання в спектральних каналах 0,65, 0,85, 1,27, 1,6, 3,7, 11 і 12 мкм з просторовою розподільною здатністю 1 км в надирі.

Спектрометр GOME (Global Monitoring Experiment) використовується для побудови вертикальних профілів концентрації озону і малих газових компонентів (NO, BrO) в тропосфері і стратосфері, вимірювання потоків сонячного випромінювання, що відбивається поверхнею Землі і розсіюється атмосферою. Прилад працює в ультрафіолетовому діапазоні в спектральних каналах 0,24-0,295, 0,29-0,405, 0,4-0,605 і 0,59-0,79 мкм. Кожен канал містить ґрати детекторів з 1024 фотодіодів, температура яких підтримується в межах 39-41 °С термоелектричними охолоджувачами. Вертикальна розподільна здатність при визначенні концентрації озону становить 5 км.

Апаратура PRARE (Precise Range and Rate Equipment) забезпечує визначення параметрів орбіти супутника шляхом одночасної передачі двох радіосигналів з різною частотою на мережу спеціальних наземних станцій. Вимірювання різниці часу приходу сигналів дозволяє виконати корекцію відносної дисперсії, яка обумовлена впливом іоносфери. Інформація про дальність до супутника і його радіальну швидкість передається назад на борт супутника і накопичується в спеціальному бортовому пристрої, а потім передається в пункт прийому інформації при прольоті над ним. Точність визначення дальності до супутника становить 4-8 см.

Для ефективного використання даних ДЗЗ в ГІС потрібно застосовувати сучасні методи обробки інформації з супутникових зображень. Процес інтерпретації та аналізу зображень ДЗЗ складається з ідентифікації та (або) вимірювання параметрів цілей спостереження. Цілями в ДЗЗ можуть бути будь-які об'єкти, видимі на знімку. Якщо дані ДЗЗ знаходяться в цифровому форматі, то аналітичні операції проводять, використовуючи комп'ютер. Цифрова обробка застосовується для розширення можливостей візуальної інтерпретації, для автоматизованого розпізнавання об'єктів, виключаючи людське втручання.

Ручна інтерпретація та аналіз беруть початок з часів активного використання аерозйомки і практично не вимагає спеціалізованого обладнання. Для цифрової обробки, навпаки, необхідно дороге професійне устаткування. З іншого боку, візуальний аналіз можна проводити тільки над одношаровими зображеннями, в той час як комп'ютерна техніка здатна працювати з багатшаровими знімками. Цифровий аналіз незамінний при одночасному аналізі безлічі спектральних смуг і обробці великих масивів даних, тому він є досить перспективним для вирішення військових задач. Ідентифікація об'єктів заснована на знаходженні візуальних відмінностей між об'єктами, таких як, розходження в колірному тоні, формі, розмірі, текстурі, тіні, структурі, асоціації.

Результатом процедури обробки даних ДЗЗ є цифрова карта, координати об'єктів якої посилаються на дійсні координати об'єктів реального світу, які вони представляють [1,4,5].

#### **Висновки.**

Інтеграція ГІС і технологій в сфері ДЗЗ для вирішення військових задач дозволить:

- 1) проводити оперативне оновлення баз геопросторових даних, цифрових і електронних карт, інших картографічних матеріалів за допомогою ГІС;
- 2) оптимізувати вирішення навігаційних задач;

3) здійснювати вивчення та ГІС-аналіз районів місцевості, які є недоступними для польового обстеження або аерозйомки (через складні погодні умови, недостатню видимість, неосвоєність території або неможливість підходу);

4) отримувати дані про противника, здійснювати моделювання та прогнозування можливих дій.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1) ARCREVIEW. Современные геоинформационные технологии. – 2001. – №2 (17). – 16 с.

2) Берлянт А.М. Картография: Учебник для вузов. – М.: АспектПресс, 2001. – 336с.

3) Терминал для обработки данных со спутника SPOT 6 разрабатывают в ИТЦ „СКАНЭКС”/[Електронний ресурс].

– Режим доступу: [http://club.cnews.ru/blogs/entry/terminal\\_dlya\\_obrabotki\\_dannyh\\_so\\_sputnika\\_spot\\_6\\_razrabatyvayut\\_v\\_its\\_skaneks](http://club.cnews.ru/blogs/entry/terminal_dlya_obrabotki_dannyh_so_sputnika_spot_6_razrabatyvayut_v_its_skaneks).

4) ARCREVIEW. Современные геоинформационные технологии. – 2002. – №3 (22). – 24 с.

5) Самардак А.С. Геоинформационные системы. – Владивосток: ДВГУ, 2005. – 124 с.

**Рецензент: д.т.н., проф. Сбітнєв А.І.**

