

## **ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ**

УДК 528.2:629.79

### **СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ДИСТАНЦІЙНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗЕМЛІ В УКРАЇНІ**

*Лялько В.І., Попов М.О., Зубко В.П., Рябоконеко О.Д.*

#### **Передмова**

Космонавтика дозволила суттєво змінити традиційні погляди на шляхи вивчення Землі та інших космічних тіл і відкрити нові напрямки подальшого прогресу науки та промисловості. Сьогодні космічна техніка та технології знаходять використання у таких галузях, як астрокосмофізичні та медико-біологічні дослідження, радіозв'язок та телебачення, навігація, геодезичні вимірювання, вивчення природних ресурсів, метеорологічне прогнозування, екологія навколишнього середовища і т. д.

Завдяки надзвичайно широким можливостям космонавтики на протязі десятиріч у світі спостерігається стала тенденція постійного технічного та технологічного удосконалення космічних засобів, зростання обсягів ринку послуг та кількості користувачів і, як наслідок, поширення товарообігу світової космічної індустрії.

За даними Satellite Industry Association, товарообіг світової космічної індустрії з \$53 млрд. у 1998 році збільшився у 2003 році до \$96 млрд., у тому числі обсяг послуг щодо використання штучних супутників Землі (ШСЗ) змінився з \$24 млрд. до \$56 млрд., тобто збільшився у 2.3 рази. Одна з таких послуг пов'язана з дистанційним зондуванням Землі (ДЗЗ); по різних оцінках загальна сума, на яку виконуються послуги з ДЗЗ у світі, складає сьогодні від 500 до \$700 млн. щорічно, втім існують прогнози її зростання до величини 1.0\$ млрд. вже через декілька наступних років [1].

#### **Базові принципи ДЗЗ та його місце в науках про Землю**

ДЗЗ (Remote Sensing) визначають як процес отримання даних про об'єкт зондування на відстані без безпосереднього контакту з ним з метою вивчення його (фізичного, геологічного, біологічного та іншого) стану. Дані про об'єкти зондування отримують з використанням властивостей електромагнітних хвиль, які випромінюються, відбиваються, поглинаються чи розсіюються об'єктами зондування [2].

Процес зондування Землі з космосу здійснюється за допомогою системи, яка містить у собі сукупність космічних та наземних технічно-інформаційних засобів, що функціонально та організаційно пов'язані між собою. Загальна схема організації ДЗЗ з космосу має у своєму складі два комплекси – бортовий та наземний. Відмінності і переваги космічної інформації ДЗЗ від даних, які отримані джерелами наземного та повітряного базування, в основному, обумовлені особливостями орбітального польоту - висотою і швидкістю руху КА.

У порівнянні з наземними та авіаційними методами досліджень Землі космічні знімки забезпечують:

- зниження витрат на одержання вихідної інформації, практично необмежену оглядовість земної поверхні;
- генералізування, тобто узагальнення зображень дрібних масштабів відносно більших, яке здійснюється у зв'язку з призначенням, тематикою вивченням об'єкта зондування;
- можливість оперативного одержання інформації щодо будь-яких територій у тому числі важкодоступних;
- миттєве фіксування інформації щодо величезних територій в однакових фізичних умовах;
- селективність (спектральну, просторову) досліджуваних об'єктів;
- можливість постановки досліджень за дедуктивним принципом, від загального до часткового (у той час, коли традиційні методи вивчення природи ґрунтовані, переважно, на систематизації та узальнюванні часткових спостережень).
- Але щоб реалізувати ці можливості космічних методів, космічна видова інформація повинна задовольняти певним вимогам [3]. До таких вимог відносять:
  - просторову розрізненість та інші параметри якості космічних зображень;
  - оперативність одержання інформації, тобто відрізок часу між моментом дистанційного зондування і моментом одержання споживачем необхідної (замовленої) інформації;
  - вимоги щодо повноти (комплексності) видової інформації, зокрема, по масштабах, просторовій та спектральній розрізненостям, спектральним діапазнам;
  - можливість спостереження визначених географічних територій, вимоги щодо розмірів площі ділянок земної поверхні, які необхідно спостерігати;
  - періодичність дистанційного зондування, тобто інтервали часу або терміни, до яких віднесені зйомки тієї самої території на протязі фіксованого періоду року.

Результати оброблення вимог до параметрів космічної інформації, що висувуються в різних галузях науки, промисловості та сільського господарства [4] свідчать, що для вирішення значної частини тематичних задач ДЗЗ необхідні матеріали космічної зйомки з просторовою розрізненістю до 5.0 м, а більшість (65%) задач потребує використання видових даних ДЗЗ з розрізненістю краще 15 м. Роздільна здатність матеріалів космічних зйомок помітно впливає на економічну ефективність їх використання. При високій просторовій розрізненості не тільки вирішується більшість тематичних задач, але й значна частина їх виявляється більш капіталоемними, ніж ті, що потребують матеріалів з меншою просторовою розрізненістю.

Важливою умовою ефективного використання космічної інформації споживачами є надання її у заданий термін. Вимоги щодо оперативності одержання даних визначають параметри орбіти КА, тип сенсора, склад наземних засобів оброблення даних, організаційну схему доведення інформації до споживача. Близько половини тематичних задач може бути вирішено за даними ДЗЗ, які надходять до споживача у термін від 3 до 6 місяців, інші задачі потребують космічної інформації з терміном "свіжості" менш за 3 місяця.

Удосконалення космічних інформаційно-технічних засобів, поширення ринку послуг, що пропонує сучасна космонавтика, підвищення якості цих послуг сприяє тому, що у світі постійно зростають обсяги інвестицій, бюджетних та інших асигнованій у галузь космічної індустрії.

У запусках КА, дослідженні космічного та земного простору сьогодні приймають десятки розвинутих країн світу, у тому числі, Україна. З метою міжнародної координації космічних програм, загальними цілями яких є спостереження і дослідження нашої планети, у 1984 році був створений Комітетупу супутникового спостереження Землі (CEOS – Committee on Earth Observation Satellites). Об'єднавши космічні агентства 43 країн світу, інші національні та міжнародні організації, CEOS став головним міжнародним форумом для узгодження програм супутникових спостережень Землі, а також взаємодії цих програм з користувачами супутникових даних і всесвітніми інформаційними ресурсами.

Важливими напрямками діяльності CEOS є зміцнення і поліпшення функціонування механізмів глобального комплексного спостереження за нашою планетою. Одним з таких механізмів є Інтегрована глобальна стратегія спостереження IGOS (Integrated Global Observing Strategy), яка була започаткована у 1998 році як система партнерства 14 міжнародних інституцій. IGOS призначена для комплексних спостережень глобального навколишнього середовища наземними і космічними системами з метою оптимального стратегічного планування. Партнерство з IGOS розглядається як об'єднання трьох глобальних систем спостереження (океану, суші і клімату) під егідою CEOS.

#### **Становлення ДЗЗ в Україні**

Українські вчені, конструктори та інженери традиційно були активними учасникам всіх космічних програм, що здійснювались в Радянському Союзі, і внесли істотний внесок в розвиток ДЗЗ. Зокрема, при участі інститутів НАН України в цей період було успішно проведено ряд унікальних міжнародних підсупутникових експериментів (Інтеркосмос-Чорне море, Тянь-Шань-Інтеркосмос-88, Атлантика-87 і 89, Космос-1500, Природа, по пошуках нафтогазових покладів, по оцінці наслідків Чорнобильської катастрофи та ін.).

Зараз Україна, як суверенна держава, продовжує ці дослідження у співпраці з іншими країнами та багатьма міжнародними організаціями. У 1995 році здійснено запуск першого українського природо-ресурсного супутника "Січ-1", оснащеного засобами зйомок Землі в оптичному та радіодіапазонах. В 1999 році разом з російською стороною запуснено природоресурсний КА "Океан-О". Виконано дві

Національні космічні програми. Починаючи з 2003 року в Україні виконується третя Загальнодержавна (Національна) космічна програма.

ДЗЗ було і залишається одним з трьох пріоритетних напрямів науково-практичних досліджень (поруч з телекомунікаціями та навігацією), що здійснюються в космічній галузі України. Розвиток досліджень з ДЗЗ передбачає підготовку та запуски нових КА з бортовою апаратурою, яка забезпечує одержання космічних знімків підвищеної якості, підготовку та проведення космічних експериментів, створення нових ефективних методик оброблення, аналізу та інтерпретування космічної інформації. Значна увага приділяється доведенню цих методик до технологічного рівня з наступним використанням їх при вирішенні актуальних природоресурсних та природоохоронних задач.

В останні роки проведена велика та багатопланова робота щодо підготовки до запуску українсько-російського супутника "Січ-1М", на якому встановлений комплекс наукової апаратури для проведення дистанційних досліджень Землі та природних явищ в оптичному, радіо- і мікрохвильовому діапазонах.

Під загальним керівництвом НКАУ українськими вченими розроблений проект спільної з Російською Федерацією науково-прикладної програми використання даних КА "Січ-1М", яка передбачає здійснення цілої низки космічних експериментів, а також відпрацювання методик вирішення деяких актуальних тематичних задач ДЗЗ.

Відомо, що космічна інформація набуває більшу цінність, якщо вона використовується разом з даними підсупутникових досліджень. Авіаційні системи дозволяють організувати на обмежених територіях багаторазові та регулярні спостереження, що особливо необхідно при контролі швидкоплинних процесів природних та техногенних катастроф (при розлитті нафтопродуктів на морській поверхні, повінях, лісових пожежах тощо). Крім цього, зондування з літака дозволяє оперативно оптимізувати умови зйомки по висоті, напрямку, кутам освітлення тощо.

Для подібних спостережень та досліджень сьогодні Україна має принаймні два авіаційних комплекси.

Один з них - авіаційний комплекс дистанційного зондування природного середовища АКДЗ-30, створений зусиллями фахівців ЦРЗЗ ім. А.І. Калмикова НАНУ та НКАУ в співпраці з фахівцями ЦАКДЗ ІГН НАНУ, АНТК ім. О.К. Антонова. Комплекс складається з узгоджених за своїми тактичними характеристиками недорогих систем - двохчастотної радіолокаційної (РБО 8-мм діапазону та РСА 23-см діапазону) системи, сканеру інфрачервоного діапазону "Малахіт", багатоканального відеоспектрометра, цифрової відеокамери, приймача системи глобального позиціонування, комплексів бортової та наземної обробки та інтерпретації даних.

Комплекс розміщено на борту літака АН-30 та призначено для вирішення широкого кола практичних та наукових завдань і, перш за все, прогнозування, попередження та моніторингу наслідків природних і антропогенних критичних ситуацій та катастроф, контролю стану природного середовища, пошуку корисних копалин тощо.

Інший авіаційний комплекс знімальної апаратури створений і успішно використовується ЦАКДЗ, він містить у собі такі апаратні засоби дистанційного зондування:

- скануючий інфрачервоний радіометр “Малахіт-М”;
- багатоканальний трасовий оптико-акустичний спектрометр «Кварц-3102»: кількість спектральних каналів – 100, діапазон довжин хвиль 400-800 нм;
- НВЧ-вологорівнемір, що працює на довжині хвилі 70 сантиметрів, який має смугу огляду 20 метрів (при висоті польоту 150 метрів);
- інтегральний гама-радіометр;
- відеокамера.

Цей комплекс використовується для вирішення різноманітних проблем вивчення навколишнього середовища, таких як:

- екологічний моніторинг довкілля;
- оперативний моніторинг повеней, підтоплень, лісових пожеж та інших природних катастроф;
- швидке виявлення нафти та нафтопродуктів на водній поверхні;
- оцінка стану трубопроводів та систем теплопостачання;
- пошуки корисних копалин;
- оцінка стану ґрунтів та рослинного покриву;
- оцінка стану сільськогосподарських угідь та прогнозування врожаю.

Значна увага в останні роки приділялась розробленню нормативної та науково-методичної бази ДЗЗ, проведенню наукових досліджень.

У 2002–2003 р.р. НКАУ спільно з ДКБ “Південне”, ЦАКДЗ та ДП “Дніпрокосмос” розроблений перший український національний стандарт з ДЗЗ “Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять”, який затверджений і чинність якому надано наказом №155 Держспоживстандарту України від 15.09.2003 р. У 2003 році НКАУ розпочато роботу над створенням чергового Національного стандарту з ДЗЗ “Дистанційне зондування Землі з космосу. Оброблення та інтерпретування даних”.

На протязі 2003 року колективом фахівців з ЦАКДЗ, УЦМЗР, ДП “Дніпрокосмос” та Київського національного університету будівництва і архітектури підготовлений Словник з ДЗЗ, який був виданий на початку 2004 року [2]. Словник містить систему термінів та понять, що використовуються у галузі ДЗЗ, та їх тлумачення. Надано тлумачення близько до 1100 термінів-слів та термінів-словосполучень, якими охоплюються фізичні основи цієї галузі науки, методи і системи формування та реєстрації аерокосмічних зображень, оброблення та інтерпретування знімків, цифрова фотограмметрія, геодезичне і топографічне забезпечення, просторові бази даних та кадастр, системи супутникового позиціонування, методи прогнозування та прийняття рішень. До кожного терміну надані його російський та англійський відповідники. Приведено список найбільш поширених латинських скорочень, список основних форматів, стандартів та специфікацій просторових даних.

На протязі 2002 – 2003 р.р. державними та недержавними установами та організаціями України виконувався великий об'єм наукових та науково-практичних досліджень з різних напрямків ДЗЗ. Серед актуальних напрямків проведених досліджень були такі, як екологічний моніторинг довкілля; оперативний моніторинг повеней, підтоплень, лісових пожеж та інших природних катастроф; виявлення нафти та нафтопродуктів на водній поверхні; оцінка стану трубопроводів; пошуки корисних копалин; оцінка стану сільськогосподарських угідь та прогнозування врожаю з використанням космічної інформації, тощо. Частина розробок українських фахівців з ДЗЗ запатентована в Державному Департаменті інтелектуальної власності України.

### **Перспективи розвитку ДЗЗ в Україні**

Світовий і вітчизняний досвід космічної діяльності дає підстави стверджувати, що базовими принципами перспективного розвитку ДЗЗ в Україні повинні бути:

- орієнтація на потреби користувачів;
- системність та комплексність у проведенні досліджень та їх практичному впровадженні;
- функціональна завершеність комплексів та елементів ДЗЗ;
- уніфікованість, сумісність та відкритість до нарошування;
- забезпечення інтегрування з іншими програмами та системами.
- Реалізація цих принципів повинна сприяти, насамперед, досягненню таких цілей, як:
  - створення системи постійного та безперервного забезпечення даними ДЗЗ суб'єктів виробничо-господарської, наукової та управлінської діяльності державного, регіонального та місцевого рівнів, пов'язаних із захистом та контролем навколишнього природного середовища, раціональним використанням природних ресурсів, несприятливими змінами клімату, погіршенням екологічного стану, кризовими природними та техногенними процесами, включаючи ті, що мають транскордонний характер;
  - подальший розвиток аерокосмічної галузі, вдосконалення космічної системи спостереження Землі "Січ" шляхом оснащення її комплексами апаратури, які використовували весь освоєний спектральний діапазон електромагнітних хвиль, включали до свого складу прилади; побудовані з використанням тонких фізичних механізмів (поляризації, флюоресценції, інтерферометрії, тощо);
  - створення постійно діючої ефективної системи підготовки та удосконалення фахівців з ДЗЗ;
  - зміцнення міжнародного статусу України як космічної держави та створення підвалин для діяльності на світовому ринку космічних послуг, шляхом інтегрування космічної системи спостереження Землі "Січ" в європейську (GMES) та міжнародну (IGOS) системи спостереження Землі.

Першочерговими вбачаються наступні задачі:

1. розроблення та створення державної системи ДЗЗ і відпрацювання її взаємодії з державними та міжнародними системами моніторингу навколишнього природного середовища.
2. експлуатація та розвиток космічної системи для спостереження Землі “Січ”, завершення робіт зі створення, налагодження та випробування складових частин, запуск супутника, проведення льотно-технічних випробувань і дослідна експлуатація космічної системи “Січ-1М”.
3. проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт щодо перспективних космічних систем для спостереження Землі (“Січ-2, -3”).
4. оптимізація структури, вирішення організаційно-технічних питань, модернізація і відпрацювання наземного комплексу для приймання, оброблення, зберігання та розповсюдження даних з іноземних КА для спостереження Землі (НОАА, Метеосат, ТЕРРА, Аква, СПОТ та ін.);
5. виконання науково-прикладних програм з оброблення і використання аерокосмічних даних в інтересах вирішення природоресурсних та природоохоронних задач (екологічний моніторинг країни і окремих регіонів; прогнозування врожайності сільськогосподарських культур і пожежонебезпечності лісів; пошук нафтогазових покладів; оцінювання стану міських агломерацій (зсуви, підтоплення, тощо) та якості земель; вивчення сучасних геодинамічних процесів при реструктуризації вугільних шахт та ін.);
6. розроблення методичного та програмного забезпечення для підтримки державних і галузевих програм з моніторингу навколишнього природного середовища;
7. проведення наземних та підсупутникових (авіаційних) калібрувальних-завіркових робіт на українських наземних та морських полігонах, результати яких можуть становити інтерес також для калібрування матеріалів зйомок з зарубіжних та міжнародних КА;
8. налагодження взаємокорисного ефективного співробітництва з міжнародними організаціями і програмами;
9. покращання науково-методичної, інформаційної та науково-видавничої роботи: проведення конференцій, семінарів і виставок, видання науково-технічних, навчально-методичних та довідково-інформаційних матеріалів, сприяння комерціалізації даних і підготовці кадрів з ДЗЗ.

Що стосується розвитку методів дистанційного зондування морів і океанів, то одним з найбільш перспективних напрямків є створення оперативної системи діагнозу і прогнозу циркуляції екосистеми Чорного моря на основі асиміляції супутникових дистанційних (рівень моря за даними альтиметрії, температура поверхні моря, приводний вітер, колір моря) і супутніх (даних поверхневих дрейфуючих буїв і буїв – профілевимірювачів, берегових станцій і побіжних судів) спостережень у моделях екодинаміки. Кінцевим результатом функціонування створюваної системи повинна стати підготовка і надання користувачам кінцевих продуктів моніторингу, демонстрація ефективності супутникового моніторингу для

попередження або своєчасної ліквідації наслідків транспортних і екологічних катастроф у зоні відповідальності України, безпеки мореплавання й інформаційного забезпечення експлуатації ресурсів шельфу Чорного моря.

Перспективним уявляється подальший розвиток і підтримка оперативного функціонування тематичних моделей (поверхневе хвилювання, нафтові забруднення, ерозія берегів, наноси, регіональний прогноз погоди в сполученій моделі моря і атмосфери та ін.) на основі даних дистанційних вимірів.

У забезпечення ефективного функціонування апаратури дистанційного зондування океану широке розповсюдження на світовому рівні одержала ідеологія контрольно-каліброваних вимірів, оскільки високоточні спостереження з ШСЗ неможливі без зовнішнього контролю якості роботи апаратури. У цьому зв'язку є перспективною реанімація й оснащення комплексом необхідної апаратури чорноморського контрольно-калібрувального полігона на базі океанографічної платформи в сел. Кацівелі (Південний берег Криму).

Перспективним, безумовно, є використання українського радіолокатора бокового огляду для спостережень морів і океанів у рутинному режимі. Багаторічна експлуатація системи "Океан" і робота КА "Січ-1" показала високу ефективність радіолокатора, що працює в комплексі з радіометром РМ-08 і оглядовою системою видимого діапазону типу МСУ-С для моніторингу динаміки льодових полів, спостереження тайфунів і ураганів, особливостей вітрового режиму в прибережній зоні, забруднень і динамічних процесів у верхніх шарах моря. На поточний момент часу існує модернізований варіант радіолокатору бокового огляду, з підвищеними чутливістю та роздільною здатністю, поширеною смугою огляду. Без сумніву, комплексування такого радіолокатора з іншими бортовими пристроями спостереження дозволять Україні внести істотний вклад у розвиток світової системи спостережень навколишнього середовища.

### **Післямова**

Таким чином, у роботі розглянуто базові принципи ДЗЗ та його місце у науках про Землю, особливості становлення ДЗЗ і перспективи його подальшого розвитку в Україні.

### **Література**

1. Материали 1-й міжнародної конференції «Земля из космоса – наиболее эффективныс решения», Москва, 26-28 ноября 2003 г. – М.: Изд. «Бином», 2003, - с. 21-22.
2. Словник з дистанційного зондування Землі // За ред. члена-кореспондента НАН України В.І. Лялько та д.т.н. М.О. Попова. – К.: СМП "Аверс", 2004. – 170 с.
3. Попов М.О. Шляхи отримання космічної інформації в інтересах національної безпеки и оборони. // Наука і оборона, №2, 2002, с. 38-50.
4. Киенко Ю.П. Основы космического природоведения. – М.: «Картгеоцентр» - «Геодезиздат», 1999. - 285 с.

Статья поступила в редакцию 11 мая 2004 г.