

## Сучасні погляди на інтерпретацію даних аерокосмічного дистанційного зондування Землі

М. О. Попов

Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

З кожним роком неухильно збільшується кількість задач, які успішно вирішуються методами аерокосмічного дистанційного зондування Землі. Серед них дослідження природних ресурсів і явищ, оцінка та передбачення результатів господарчої діяльності, спостереження за станом навколишнього середовища, задачі воєнної безпеки, тощо. Неважко пригадати чимало прикладів успішної реалізації наукових і науково-практичних проектів у галузі дистанційного зондування Землі, які суттєво розширили наше уявлення про природні явища, діяльність людської спільноти, а також прикладів здійснення високорентабельних комерційних проектів.

Проекти такого роду та призначення зростаючою все інтенсивніше розробляються та успішно впроваджуються у багатьох розвинених країнах. Будь-який проект у галузі аерокосмічного дистанційного зондування надає величезні масиви нових даних, від змісту та якості яких і залежить ефективність самого проекту. Але, якщо говорити глибше, то ефективність проекту визначається тією інформацією, яка може бути потенційно одержана з отриманих даних. Така інформація характеризується певними показниками якості, задоволення яких залежить, в основному, від двох чинників. Перший — дані та їхні внутрішні показники: цінність, достовірність, повнота, обсяг та інші. Другий — досконалість методу інтерпретації даних та його адекватність умовам задачі.

Серед даних аерокосмічного дистанційного зондування Землі особливе місце займають відеодані, або зображення. Тому основна увага у статті приділяється саме аналізу можливостей сучасних методів інтерпретації дистанційних відеоданих та перспективних напрямків їхнього використання.

### 1. ЕВОЛЮЦІЯ ПІДХОДІВ ДО ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Загальну схему інтерпретації даних дистанційного зондування надано на рис. 1. Тут реальний світ —

це дійсність з об'єктів, явищ географічної оболонки і т. п. При вивченні або опису дійсності, додержуючись рекомендацій [8], необхідно відрізнити поняття «дані» та «інформація». Інформація — це відомості про реальний світ, що існують в описах, уявленнях фахівців тощо. В залежності від часу їх виникнення вони поділяються на поточні та апріорні й можуть носити як об'єктивний, так й суб'єктивний характер, а також мати різний ступінь достовірності. Дані створюються як безпосередній, первинний продукт дистанційного зондування. Вони, як правило, об'єктивно фіксують поточний стан обмеженої частки дійсності на момент її зондування, а той вторинний продукт, що утворюється внаслідок інтерпретації даних та прийняття відповідних рішень (семантичної обробки), будемо називати поточною інформацією. У процесі інтерпретації даних зондування та створення нової поточної інформації при необхідності залучається відповідна апріорна інформація.

Таким чином, якщо поняття інформації пов'язане зі змістом відомостей про об'єкти і явища реальної дійсності, то поняття даних — з формою відображення (подання) вимірів і спостережень, що отримуються в результаті дистанційного зондування. Зрозуміло, завжди існує деякий оператор зв'язку (відображення) між цими двома поняттями.

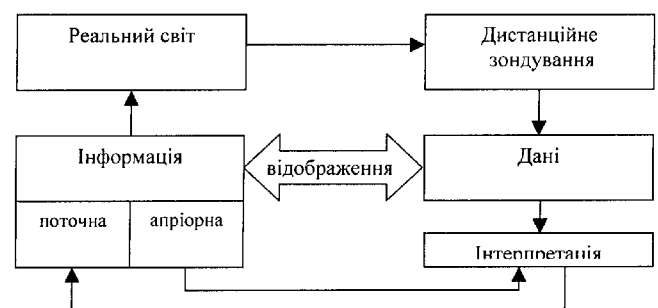


Рис. 1. Загальна схема інтерпретації даних дистанційного зондування

Серед даних, що можуть отримуватися методами дистанційного зондування, своєю потенційною інформативністю відрізняються відеодані, або зображення. Зображення може водночас вміщувати інформацію про морфологію і місцеположення природних або штучних об'єктів, їхні геометричні та оптичні характеристики, просторову структуру, а також відомості про властивості місцевості [1, 12]. Але одержання цієї інформації, або інтерпретація зображень — надзвичайно складний процес, ефективність якого залежить, з одного боку, від характеристик відеоданих, а з другого — від способу інтерпретації [12].

До 60-х років минулого століття інтерпретація зображень, здобутих методами дистанційного зондування, здійснювалась виключно людиною, іноді із залученням деяких оптичних або оптико-механічних пристроїв, а для уточнення просторово-географічної, темпоральної та іншої необхідної інформації використовувалися такі додаткові джерела, як карта, довідники та посібники.

Наприкінці 60-х років, коли розпочалося впровадження в дистанційних дослідженнях Землі багатоспектральної фото- та сканерної апаратури, виникла можливість спільної обробки та інтерпретації знімків місцевості, одержаних у різних діапазонах електромагнітного спектру випромінювань (спектральних зонах). Для оптико-геометричного суміщення кількох зональних знімків з метою виявлення додаткової інформації були розроблені і ефективно використовувалися спеціальні прилади синтезу кольорових та псевдокольорових зображень [1, 11, 12].

Тоді ж розроблено технологію оцифровки зображень і вводу їх в ЕОМ [15], а трохи пізніше, на початку 70-х років, почали створюватися електронні сховища даних [2]. Разом це дозволило автоматизувати організацію деяких процесів обробки та інтерпретації зображень. При цьому, звичайно, суттєво полегшилось залучення додаткових даних та тематичної інформації при проведенні інтерпретації знімків дистанційного зондування.

Бурхливий розвиток комп'ютерної техніки та програмних засобів значно полегшив автоматизацію процесів обробки та інтерпретації даних і сприяв підвищенню ефективності систем дистанційного зондування. У якості теоретичного підґрунтя для оцінки ефективності систем автоматизованої обробки та інтерпретації знімків, отриманих методами дистанційного зондування, створення і аналізу таких систем знайшла широке використання розроблена на межі кінця 80-х — початку 90-х років інтерактивна парадигма, сутність якої складається з раціонального розподілу зусиль людини та можливостей ЕОМ при організації роботи зі знімками в умовах обмежень (на достовірність, час

інтерпретації тощо). Вона вперше надала можливість при вирішуванні задач створення і аналізу систем автоматизованої обробки та інтерпретації відеоданих дистанційного зондування перейти від емпіричних підходів до науково обґрунтованого методу, в основу якого був покладений спеціально розроблений математичний апарат [12, 13]. На основі інтерактивної парадигми створений ряд нових на той час систем інтерпретаційного призначення, деякі з котрих описані в [9, 10] і пройшли успішну апробацію.

За останні роки у галузі дистанційного зондування Землі склалася ситуація, яка характеризується двома особливостями. По-перше, все значніша увага приділяється комерційному успіху проекту, а це на практиці означає посилення вимог до якості поточної інформації, що отримується шляхом інтерпретації даних зондування. По-друге, суттєво розширилася номенклатура засобів вимірювання та спостереження, які встановлюються останнім часом на повітряні та космічні платформи. Так, наприклад, на космічній орбіті сьогодні працюють системи, які мають понад 200 робочих спектральних каналів, а також прилади, побудовані на нових фізичних принципах [26, 27].

Усунення численних проблем, які породжуються новою ситуацією, за допомогою інтерактивної парадигми у формі, представленої в [12, 13], зустрічає певні складнощі, які обумовлюються, насамперед, такими недоліками останньої. По-перше, методологія [12, 13] передбачає використання вихідних даних виключно у формі зображень, тобто інтерпретація параметричних даних тут не передбачена. По-друге, — і це головне, — дана методологія не враховує певної неоднозначності інтерпретаційних факторів та динаміки пізнавальних процесів на формування проміжних та остаточних інформаційних рішень.

Тому йдеться про пошук підходу, який дозволяв би ефективно вирішувати проблеми, що породжуються новою ситуацією у дистанційному зондуванні Землі. Фахівці збігаються у думці, що такий підхід повинен базуватися на використанні нової, синергетичної парадигми [7, 19]. Синергетика — наука, яка вивчає самоорганізовані системи та багатокомпонентні кооперативні процеси [14, 5]. Вивчення базується на таких засадах: 1) спільність предмета аналізу, причому наголос здійснюється на внутрішніх властивостях як на джерелі саморозвитку; 2) прагматичне відношення до системи «ціле — частка», а саме розуміння, що хоча концепції редуccionізму і холізму [6]) (відповідно можливість або неможливість розкласти ціле на частки) з філософської точки зору є полярними, тобто виключають одна одну, проте з конструктивної точки зору кожна з них окремо чи обидві разом у

тонкому балансі можуть бути корисними при дослідженні системи, вибір залежить від цілей і необхідного рівня опису системи; 3) виваженість всіх дій та рішень стосовно природних закономірностей, зокрема обов'язкове врахування фізики процесів; 4) стратегія дій та приймання рішень повинна бути дуже обережною і водночас швидко пристосовуватися щодо будь-яких змін у часі-просторі.

Якщо на поточний час концептуальні засади синергетики більш-менш сформовані, то її методичне забезпечення ще тільки утворюється. Проте вже ясно, що синергетичний підхід дозволяє ефективно вивчати та моделювати природу несталих (неоднозначних) процесів та еволюційну динаміку складних систем, а саме до цього класу належать системи формування, обробки, інтерпретації зображень та прийняття інформаційних рішень.

В дистанційних дослідженнях до синергетичних відносять методи та методики спільної комплексної (у тому числі багаторівневої) обробки й інтерпретації багатоспектральних даних, які можуть відрізнятися між собою способом формування або подання, мати різне фізичне походження тощо. Саме синергетичний підхід покладений в основу побудови найсучасніших систем і технологій дистанційного зондування Землі, а серед них найвідомішою є Data Fusion Technology, або технологія злиття даних [7, 19, 25].

До технології злиття даних звертаються насамперед тоді, коли система, що вивчається методом дистанційного зондування, є слабкоструктурованою й, до того ж, змінюється з часом (певним чином еволюціонує), а дистанційні дані гомоморфні щодо дійсності й характеризуються високою кумулятивністю і асоціативністю. При цьому слабкоструктурованість означає, що зв'язки між складовими елементами системи жорстко не фіксовані. Кумулятивність даних — це їхня властивість досить повно відображати дійсність. [3]. Гомоморфізм даних — технічна складова кумулятивності — означає, що вони відображають дійсність за принципом «багато — в одному». Асоціативність свідчить про здатність даних породжувати у інтерпретатора деякі здогадки (неявні розуміння, міркування) про прями або побічні зв'язки між певними елементами системи, процесів, явищ тощо.

## 2. ЗЛИТТЯ ДАНИХ У ДИСТАНЦІЙНОМУ ЗОНДУВАННІ

Згідно з роботами [19, 28] злиття даних визначається як формалізована концептуальна схема спільного використання різних засобів, методичних прийомів, іншого інструментарію для поєднання даних з різних джерел і виявлення їхньої синерге-

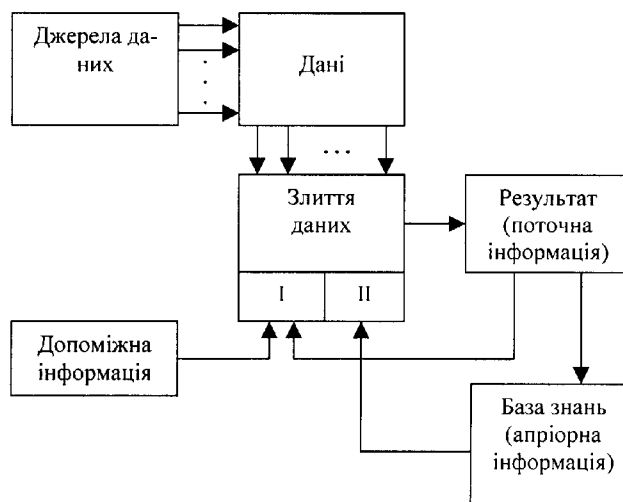


Рис. 2. Загальна схема організації злиття даних

тики з метою одержання інформації, котра іншими шляхами не одержується. Технологія злиття даних у дистанційному зондуванні виключає будь-які обмеження на форму подання вихідних даних, кількість і фізичну природу їх джерел, а об'єкти вивчення та середовище їхнього існування розглядаються тут з єдиної точки зору та з урахуванням взаємного впливу, динаміки і можливої самоорганізації процесів.

Загальна схема організації злиття даних подана на рис. 2. Згідно з цією схемою при злитті даних використовуються три зовнішніх компоненти: джерела даних, допоміжна інформація та база знань.

Таким чином, в основі злиття даних — комбінування даних та інформації. Звернемо увагу на наявність на рис. 2 зворотної петлі від результату (поточної інформації) до блоку, де здійснюється злиття даних. Це означає, що алгоритмічно процес злиття даних матиме ітеративний характер.

До першого і головного при здійсненні злиття даних компонента належать джерела даних — фотообладнання, інфрачервоні сенсори, радіолокатори, магнітометри та інша апаратура, яка може бути задіяна для зондування. Другий компонент — допоміжна інформація; вона може бути різноманітною: тактико-технічні характеристики апаратури зондування, дані її калібровки, польотні умови виконання зйомки, службові дані і т. п. Третій компонент — база знань, яка є основним постачальником апріорної інформації. Апріорна інформація використовується при управлінні процесом злиття даних, для розуміння фізичних, просторово-часових та інших обмежень на умови протікання процесів тощо. Зокрема, апріорну інформацію тематично-просторового характеру може надавати за-

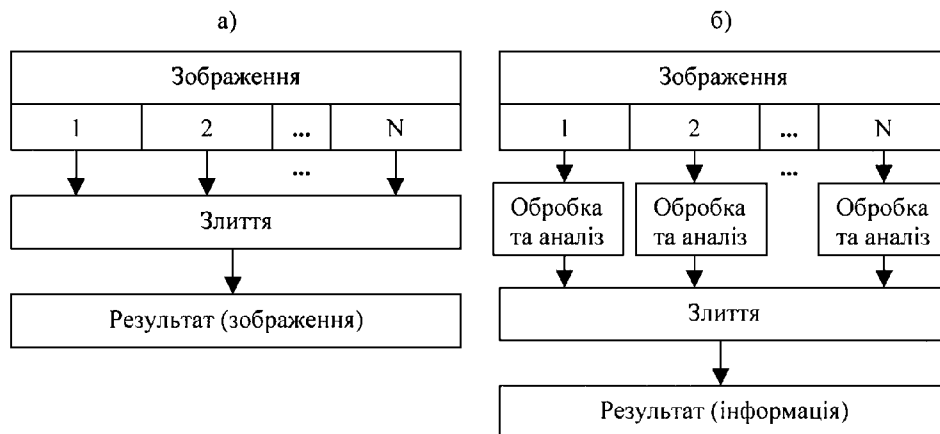


Рис. 3. Організація злиття даних на різних рівнях подання зображень

лучена до бази знань сучасна геоінформаційна система.

Злиття даних за своїми цілями може поділятися на фільтрацію певних сигналів, виявлення об'єктів та явищ, їхнє розпізнавання, встановлення ступеня вірогідності, передбачення яких-небудь процесів тощо. Саме ціль визначає, який підхід раціональніше використовувати при організації злиття даних.

У дистанційному зондуванні вирізняють етапи формування сигналу, його попередньої обробки й змістовної (семантичної) обробки [20]. Кожному етапу відповідає свій рівень подання (опису) даних і впровадження технології злиття даних.

Наприклад, якщо звернутися до дискретних (цифрових) зображень, базовим сигнальним елементом яких є піксел, то при наявності декількох первинних зображень загальною чисельністю  $N$  злиття на першому рівні та формування результату у вигляді одного узагальненого зображення здійснюється шляхом ототожнення і поєднання відповідних пікселів первинних зображень, як це показано на рис. 3, а. В результаті поєднання пікселів може утворюватися монохроматичне зображення з новими статистичними властивостями або зображення відповідної кольорової палітри.

Метою попередньої обробки зображень буває їх попіксельне коригування або підкреслення деяких властивостей та ознак, тобто перетворення зображення за формою подання відеоданих. Змістова обробка зображення пов'язана із розпізнаванням об'єктів та прийняттям інформаційних рішень. У одному випадку зливаються властивості та ознаки, у іншому — інформаційні рішення, але процес злиття на другому та третьому рівнях його впровадження організується за одною схемою (рис. 3, б).

Хоча, як вже відмічалось вище, у технології

злиття даних нема обмежень на кількість джерел даних, за різними причинами (електромагнітна несумісність, енергетичні витрати, вагові обмеження тощо) всі існуючі джерела не завжди можуть бути одночасно разом використані для аерокосмічного дистанційного зондування Землі. Тому виникає задача формування оптимального складу комплексу засобів зондування. Така задача вирішується у рамках так званого підходу «активного злиття даних», який запропоновано останнім часом [24]. Цей підхід передбачає використання механізму селекції найінформативніших джерел даних, для чого створюється спеціалізована експертна система, база знань якої наповнюється інформацією про джерела дистанційних даних, вимоги та умови обробки даних, а також правила поєднання (комбінування) даних та рішень. Особливо плідним може виявитися впровадження підходу при інтерпретації багатозональних (гіперспектральних) зображень, а також даних різної фізичної природи.

Ключова проблема злиття даних — формалізація правил комбінування і узагальнення інформації, насамперед комбінування інформаційних рішень. З цією метою розглядаються ймовірнісна модель Байєса, нечітка логіка та мережевий підхід [4, 16, 24]. Найпростіша серед них модель Байєса, але вона потребує знання статистики даних і величезних обсягів вимірювань та спостережень, які у практиці дистанційного зондування дуже важко отримати. Тому при малих вибірках даних та їхній невизначеності все частіше перевагу віддають методам нечіткої логіки, що базується на теорії нечітких множин [4]. На відміну від першої моделі тут при інтерпретації можна враховувати та оцінювати ситуації, коли взагалі немає жодних відомостей про значення ймовірностей. На заміну відсутнім відомостям

мостям при здійсненні нечітких міркувань використовують прозорі поняття міри довіри та недовіри. Найдосконалішим у нечіткій логіці є підхід по Демпстеру—Шаферу, який дозволяє маніпулювати як з нечіткою, так і з неточною або випадково проявленою інформацією.

Окреме місце займає мережевий підхід, сутність якого у тому, що дані, які формуються при зондуванні, подаються до мережі, де вони обробляються за законами, обумовленими структурою мережі і характеристиками її елементів. Якщо елементи однотипні, а зв'язки між ними (принаймні на початку функціонування мережі) випадкові, то таку мережу класифікують як нейронну. Якщо структура мережі детермінована, а структурні елементи розподіляються за своїм функціональним призначенням, і хоча б деякі з них здатні здійснювати змістовну обробку даних, то таку мережу класифікують як семантичну.

Проведений огляд свідчить, що злиття даних як новітній спосіб обробки та інтерпретації даних дистанційного зондування має свою концепцію, загальну схему організації злиття даних, на базі якої створено схеми організації злиття на різних рівнях подання даних, а також деякий технологічний інструментарій. Все це обумовило успішне використання даної технології вже на етапі її становлення. Визначимо та проаналізуємо деякі напрямки її впровадження в аерокосмічному дистанційному зондуванні Землі.

### 3. НАПРЯМКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗЛИТТЯ ДАНИХ В АЕРОКОСМІЧНОМУ ДИСТАНЦІЙНОМУ ЗОНДУВАННІ

При всіх її перевагах технологію злиття даних важко віднести до простих та дешевих, оскільки вона потребує належного технічного і алгоритмічного забезпечення, а також залучення висококваліфікованих фахівців. Це обумовлює магістральний напрям її використання в аерокосмічному дистанційному зондуванні Землі: інтерпретація даних різної фізичної природи та якості при нестаціонарності об'єктів, процесів і явищ, що дистанційно вивчаються, відсутності їхніх надійних моделей, невизначеності та малого обсягу апріорної інформації.

Серед основних напрямків, де плідно впроваджується дистанційне зондування, і при цьому інтерпретація результатів здійснюється за технологією злиття даних, — сільське господарство та лісозберігання [19, 21], пошук природних копалин [17], землекористування [25], картоскладання та міське проектування [24], надзвичайні ситуації [19, 22], виявлення та розпізнавання військових об'єктів і воєнної загрози [18, 23].

Для систем інтерпретації зображень зі злиттям даних першого або другого рівнів подання розроблені ефективні алгоритми кольорових перетворень, обчислювання головних компонентів, статистичної фільтрації тощо [25]. При злитті даних на третьому рівні подання широко використовуються алгоритми автоматичного виявлення та розпізнавання образів, методи семантичного аналізу зображень та прийняття інформаційних рішень [19].

Досвід впровадження свідчить, що кращі результати досягаються при спільному використанні багатозональних знімків (зроблених у видимій та інфрачервоній областях електромагнітного спектру) і даних радіолокаційного зондування. Хоча слід відмітити, що є проблема об'єктивної оцінки ефективності впровадження. Очевидно, найбільшу перспективу має критеріальний підхід до оцінки ефективності аерокосмічного дистанційного зондування Землі, який базується на оцінці корисності здобутої інформації.

### ВИСНОВКИ

Проаналізовано існуючі погляди на інтерпретацію даних дистанційного зондування Землі та показано, що на сучасному етапі найкращі результати можуть бути досягнуті з використанням технології злиття даних, концептуальною основою якої є синергетична парадигма. Розглянуті схеми організації обробки даних на різних рівнях їх подання, а також деякі моделі комбінування і узагальнення інформації. Наведено чисельні приклади практичного впровадження нової технології.

Подальше удосконалення технології злиття даних пов'язане з такими напрямками, як розвиток концептуально-методологічних засад; розробка механізмів виявлення знань про цільову предметну область дистанційного зондування та способів формалізації опису об'єктів, що її складають; створення алгоритмічного та програмного забезпечення для вирішування сьогоденних і перспективних наукових та практичних задач.

1. Аковецкий В. И. Дешифрирование снимков. — М.: Недра, 1983.—374 с.
2. Буров К. Обнаружение знаний в хранилищах данных // Открытые системы.—1999.—№ 5-6.—С. 67—77.
3. Дружинин Г. В., Сергеева И. В. Качество информации. — М.: Радио и связь, 1990.—С. 14—15.
4. Змитрович А. И. Интеллектуальные информационные системы. — Минск: ТетраСистемс, 1997.—368 с.
5. Кальоти Дж. От восприятия к мысли: О динамике неоднозначного и нарушениях симметрии в науке и искусстве. — М.: Мир, 1998.—221 с.
6. Клир Дж. Системология: Автоматизация решения системных задач. — М.: Радио и связь, 1990.—С. 194—199.
7. Лялько В. І. Сучасний стан космічного землезнавства і

- перспективи його розвитку // Нові методи в аерокосмічному землезнавстві. — Київ: НАН України, 1999.— С. 6—18.
8. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. — М.: Мир, 1980.—662 с.
  9. Патент RU № 2075780, МПК G 06 K 9/56. Способ тематического дешифрирования изображений и устройство для его осуществления / М. А. Попов, Ю. И. Гунько, С. А. Станкевич. — Оpubл. 20.03.97.
  10. Патент RU № 2144654, МПК G 01C 11/00. Способ измерения разрешения на местности оптико-электронной системы дистанционного зондирования / М. А. Попов, С. Ю. Марков, С. В. Балашов. — Оpubл. 19.07.99.
  11. Попов М. А. Формирование псевдоцветного изображения при комплексном дешифрировании аэроснимков // Тр. КВВАИУ.—1989.—Дып. 8.—С. 24—28.
  12. Попов М. А., Моисеев В. Л. Фотограмметрическая обработка и дешифрирование аэроснимков. — М.: МО СССР, 1991.—Ч. 1.—248 с.
  13. Попов М. О. Системологія інтерактивної обробки та розпізнавання зображень, здобутих при дистанційному зондуванні // Пр. 1-ї Всеукраїнської конф. «УкрОБРАЗ-92», Київ, 17—21 листопада 1992 р.
  14. Хакен Г. Информация и организация: Макроскопический подход к сложным системам. — М.: Мир, 1991.—240 с.
  15. Ярославский Л. П. Введение в цифровую обработку изображений. — М.: Сов. радио, 1979.—312 с.
  16. Clement V., Giraudon G., Houzelle S., Sandakly F. Interpretation of Remotely Sensed Images in a Context of Multisensor Fusion using a Multi-specialist Architecture. — <http://iris.usc.edu/vision-notes/bibliography/match-pl457.html>.
  17. Dasarathy B. V. Sensor Fusion Potential Exploitation — Innovative Architectures and Illustrative Applications // Proc. IEEE Special Issue on Sensor Fusion.—1997.—85, N 1.— P. 24—38.
  18. Duvoisin H. A., III, et al. Multi-sensor system for mine detection // Proc. SPIE.—1998.—3436.—P. 705—716.
  19. Future Trends in Remote Sensing // Proc. of 17<sup>th</sup> EARSeL Symp. on Future Trends in Remote Sensing, Lyngby, Denmark, 17—19 June 1997 / Ed. by P. Gudmansen. — Rotterdam, Blookfield, 1998.—477 p.
  20. Lillesand T. M., Kiefler R. W. Remote Sensing and image interpretation. N. Y. John Wiley@Sons, Inc., 3<sup>ed</sup>, P. 51—87.
  21. Lozano-Garsia D. F., Hoffer R. M. Sinenergetic effects of combined Landsat-TM and SIR-B data for forest assesment // Remote Sensing.—1993.—14, N 5.—P. 2677—2694.
  22. Lyalko V. I., et al. Assesment of the development of the enviroment using multi-temporal satellite data for Chernobil disaster area // EARSeL Symp. Operation Remote Sensing for Sustainable Development, Enschede, Netherlands, 11—14 May, 1998.
  23. McDaniel R. V., et. al. Image fusion for tactical applications // Proc. SPIE.—1998.—3436.—P. 685—695.
  24. Pinz A., Prantl M., Ganster H. Active Fusion — A New Method Applied to Remote Sensing Image Interpretation. — <http://citeseer.nj.nec.com/20999.html>.
  25. Pohl C., van Genderen J. L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications // Remote Sensing.—1998.—19, N 5.—P. 823—854.
  26. Geoinformation Technologies for Territorial Development Management: Proc. IV Internat. Conf., Yalta, Ukraine, May 28—June 1, 2001.
  27. Space imagine Europe <http://.www.si — eu.com>.
  28. Wald L. A European proposal for terms of reference in data fusion // Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing.—1998.—32.—P. 651—654.

## Опыт применения спутниковой интерферометрии в комплексе методов ДЗЗ

**Ю. В. Костюченко**

Центр аэрокосмических исследований Земли  
Института геологических наук НАН Украины, Киев

### ВВЕДЕНИЕ

История развития методов ДЗЗ последнего десятилетия позволяет утверждать, что спутниковая интерферометрия является одной из наиболее высокотехнологичных отраслей дистанционного зондирования. Радиолокаторы бокового обзора, установленные на спутниках серии ERS, JERS и RADARSAT, позволяют записывать не только амплитуду, но и фазу отраженного поверхностью радиосигнала. Анализ этой характеристики при совместной обработке двух радиолокационных изображений, полученных при соответствующих условиях (в зависимости от типа решаемой задачи выбирается опти-

мальный временной интервал между съемками и базовая линия — расположение сенсоров), позволяет получать информацию о высоте подстилающей поверхности.

Таким образом, эта технология дает возможность получать цифровые модели рельефа и данные о вертикальных движениях земной поверхности. Описанный подход нашел самое широкое применение при решении мониторинговых задач. В частности, цифровые модели рельефа с успехом применяются в рамках ГИС-технологий, а оперативный мониторинг малых вертикальных движений земной поверхности является ключевым элементом методик оценки природных и техногенных рисков.