

УДК 528.8(15):629.78

Огляд стану та тенденцій розвитку дистанційного зондування Землі

В. П. Зубко¹, П. Я. Іськов¹, І. Я. Подолух², Я. І. Стефанишин¹

¹Національне космічне агентство України, Київ

²Науково-технічний центр «Космоснімок», Київ

Надійшла до редакції 23.04.98

Розглянуті загальні питання дистанційного зондування Землі як одного з головних напрямків дослідження космічного простору. Проведено огляд діючих та запланованих до запуску космічних систем для отримання інформації про Землю в різних діапазонах електромагнітного спектру. Наведені основні характеристики космічної системи спостереження Землі «Січ» і запропоновані шляхи її удосконалення.

ВСТУП

Сучасний розвиток цивілізації характеризується зростанням народонаселення, підвищенням техногенного впливу на навколишнє природне середовище, збільшенням втрат від катастрофічних та не передбачених завчасно гідрометеорологічних явищ в природі і т. ін. З метою дослідження цих глобальних процесів все ширше застосовується одна із найсучасніших космічних технологій — дистанційне зондування Землі. Серед фахівців не існує єдиного терміну для визначення цього напрямку розвитку науки та технологій. В основному використовуються два терміни: «дистанційне зондування» (remote sensing) та «спостереження Землі» (Earth observation). Автори більш схильні вживати поширений серед українських науковців та фахівців термін «дистанційне зондування Землі», або ДЗЗ.

Обсяги фінансування програм ДЗЗ (за даними 1994—1996 рр.) в бюджетах організацій, які відповідають за державну космічну політику, приведені в табл. 1. Аналіз таблиці дає можливість зробити висновок, що фінансування програм ДЗЗ в країнах, які займаються дослідженням та використанням

космічного простору, займає найвищі пріоритети і складає значну частку (від 10 до 50 % загальних обсягів фінансування космічних досліджень). При цьому слід зазначити, що зменшення долі державного фінансування програм ДЗЗ, наприклад, в США, не означає зменшення уваги з боку держави, а характеризує високий ступінь розвитку приватного сектору в цій галузі. Обсяги фінансування програм ДЗЗ в Україні (біля 30 % від загальних обсягів фінансування космічних програм) свідчать про велике значення, яке надається цьому напрямку

Таблиця 1. Обсяги фінансування програм ДЗЗ (у відсотках до загальних обсягів фінансування космічних програм)

Назва організації	Обсяг, %
BNSC (Британський національний космічний центр)	50
CSA (Канадське космічне агентство)	24
DARA (Німецьке космічне агентство)	23
ESA (Європейське космічне агентство)	19
CNES (Французьке космічне агентство)	12
NASA (Національна аеронавтична і космічна адміністрація, США)	10
НКАУ (Національне космічне агентство України)	30

розвитку космічних досліджень в нашій державі.

Кінцевою метою ДЗЗ є отримання за допомогою аерокосмічних засобів достовірної інформації про геосферу у різних діапазонах електромагнітного спектру для подальшого науково-прикладного використання.

Головними складовими частинами систем ДЗЗ є космічний та наземний сегменти, а також фінансово-правові та організаційно-технічні аспекти взаємодії зі споживачами аерокосмічних даних.

До космічного сегменту відносяться космічні апарати (КА) та засоби виведення їх на орбіту — ракети-носії (РН).

До складу наземного сегменту входять:

- наземні комплекси контролю та управління (НКУ) КА;
- наземні комплекси прийому та архівації даних ДЗЗ, а також програмно-технічні засоби обробки (включаючи калібрування даних) і розповсюдження одержаної інформації.

Враховуючи те, що РН та НКУ складають самостійні напрямки космічної діяльності, в даній статті вони не розглядаються.

Таким чином, класична структурна схема системи ДЗЗ включає в себе взаємодію космічного і наземного сегментів та підсистем забезпечення етапів розробки, виготовлення і експлуатації технічних засобів. Історично ці системи розвивалися від космічного сегменту як найскладнішого елементу. Але останнім часом у зв'язку з накопиченням величезних обсягів аерокосмічних даних (сотні Тбайт), все більше уваги приділяється питанням їх ефективного використання. Тому автори вважають доцільним комплексний аналіз ДЗЗ проводити починаючи від «виходу» системи (дані) до її «входу» (космічні апарати).

При цьому за кінцеву мету можуть бути прийняті наступні цілі ДЗЗ в рамках космічної програми України:

- 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;
- розвиток аерокосмічної галузі, вдосконалення космічної системи спостереження Землі «Січ» шляхом оснащення її комплексом апаратури переважно вітчизняного виробництва;

- створення системи підготовки та перепідготовки 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 та міжнародну системи спостереження Землі (EEOS та EOS).

Запуск 31 серпня 1995 р. та експлуатація, під юрисдикцією України, КА для спостереження Землі «Січ-1» стали початком практичної реалізації зазначених цілей.

Одним із важливих параметрів, що характеризують системи ДЗЗ, є оперативність отримання даних. Чим менше часу проходить від замовлення аерокосмічних даних до їх отримання, тим краще для кінцевих споживачів. Особливої важливості це набуває при прогнозуванні та попередженні надзвичайних природних та техногенних ситуацій. Провідне значення у підвищенні оперативності одержання даних ДЗЗ відводиться сучасним високоефективним і надійним телекомунікаційним та інформаційним системам. Вони забезпечують взаємодію центрів контролю та управління КА, прийому, обробки і тематичного аналізу даних, а також дозволяють мати доступ до розподілених (як правило, по різних відомствах) банків допоміжних даних, що мають важливе значення для інтерпретації і створення кінцевого продукту.

Сучасні тематичні аспекти використання аерокосмічних даних тісно пов'язані з розвитком геоінформаційних систем (ГІС). Наприклад, центр ДЗЗ Державного департаменту сільського господарства США, який оснащено сучасним потужним програмно-технічним комплексом, дозволяє п'ятьом експертам (за числом континентів: Європа, Азія, Америка, Австралія, Африка) обробляти відповідні дані з КА NOAA, «Спот» («Ландсат», IRS), агрометеорологічні та архівні дані і кожні 10 днів складати бюлетень з оцінкою стану та прогнозом урожайності основних сільськогосподарських культур на нашій планеті. Ця інформація відіграє важливу роль в обґрунтуванні цінової політики на сільськогосподарську продукцію та плануванні експортно-імпортних операцій, що в кінцевому результаті впливає на фактори стабільності та розвитку агропромислового сектору США.

Слід зазначити, що вирішення природоресурсних і природоохоронних задач тісно пов'язане з супутниковими системами збору і передачі даних від наземних платформ. Для цього використовуються як геостационарні, так і низькоорбітальні КА ДЗЗ, а також спеціалізовані супутникові системи зв'яз-

Таблиця 2. Статистичні дані про стихійні лиха на Землі за 1960—1989 рр.

Класифікація лих	Кількість лих	Доля, %	Кількість жертв	Доля, %	Кількість потерпілих	Доля, %
Громадянські зіткнення	137	5.8	2 912 612	62.2	117 493 613	5.6
Засуха і голод	308	13.1	636 583	13.6	1 085 563 917	51.8
Землетруси, вулкани	315	13.4	497 500	10.6	42 023 615	2.1
Шторми, повені	1109	47.1	536 820	11.5	845 462 237	40.3
Пожежі, епідемії	486	20.6	96 843	2.1	4 811 138	0.2
Всього	2355	100.0	4 680 358	100.0	2 095 354 520	100.0

ку. Наприклад, космічний сегмент добре відомої системи ARGOS базується на КА спостереження Землі NOAA, а супутникова система PRODAT (призначена для підтримання зв'язку та передачі даних з рухомих об'єктів) базується на італійському супутнику зв'язку «Італсат».

Роль даних ДЗЗ важко переоцінити, особливо якщо це пов'язано з прогнозуванням стихійних лих гідрометеорологічного характеру (засух, повеней, ураганів, штормів), бо саме вони мають великий вплив на життя більшості жителів планети.

В табл. 2 наведено статистику, зібрану Бюро з надання допомоги потерпілим від стихійних лих (США). За 1960—1989 рр. більш ніж 90 % потерпілого населення постраждали від гідрометеорологічних явищ.

Крім того, своєчасне оперативне попередження та достовірне прогнозування гідрометеорологічних явищ має не тільки соціальне, а й економічне значення. Наприклад, економічні збитки від урагану «Ендрю» в 1992 р. склали 25 млрд дол. США. Тому розробка, створення і експлуатація високоефективних та надійних аерокосмічних систем ДЗЗ є актуальним завданням.

Різні країни вирішують це питання, виходячи зі своїх науково-технічних та фінансових можливостей. Одні мають лише відповідні структури і програмно-технічні засоби для обробки закуплених супутникових даних. Інші створюють власні наземні пункти для безпосереднього прийому даних від КА ДЗЗ різних країн на основі відповідних угод та контрактів. Слід зазначити, що власники наземних станцій тільки за право прийому даних повинні сплачувати сотні тисяч дол. США щорічно. Крім того, додатково нараховується плата за замовлену кількість і тривалість прийому даних (тобто їх обсяг), причому ця плата має тенденцію до зростання. Наприклад, щорічна плата за право прийому даних (ліцензія) від КА «Спот» (Франція) складає 800 тис. фр. франків (біля 150 тис. дол. США), а запланованого до запуску КА «Ландсат-7» — 600 тис. дол. США. Тільки найбільш економічно розвинені країни володіють повною системою одер-

жання даних ДЗЗ, яка включає взаємодію власного наземного та космічного сегментів і забезпечує в отриманні даних ДЗЗ незалежність від різних політичних та економічних факторів на світовому ринку космічних послуг.

В статті зроблено спробу розглянути загальні питання ДЗЗ, проаналізувати відповідні розділи космічних програм провідних зарубіжних країн, а також стан і тенденції розвитку космічного та наземного сегментів систем ДЗЗ.

Автори вдячні інженерів ДНВЦ «Природа» Хильчевській Тетяні Олександрівні за допомогу в підготовці та оформленні матеріалів цієї роботи.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАМ ДЗЗ ТА ТЕМАТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ

Космічні дослідження високорозвинених країн світу проводяться в основному в рамках національних космічних програм. В той же час існує стійка тенденція до координації досліджень між країнами шляхом виконання міжнародних космічних програм. Це пов'язано зі світовим розподілом праці та намаганням підвищити ефективність космічної діяльності.

З метою розширення міжнародного співробітництва та координації робіт з ДЗЗ в 1984 р. був створений міжнародний Комітет супутникових спостережень Землі (СЕОС). Національне космічне агентство України (НКАУ) з 1993 р. є членом цього Комітету, що підтверджує міжнародне визнання нашого науково-технічного потенціалу в галузі ДЗЗ. На поточний момент цей Комітет об'єднує 36 організацій, які представляють інтереси 18 країн, 8 міжнародних організацій і 5 міжнародних програм. Члени СЕОС планують провести більше ніж 80 запусків КА протягом наступних 15 років, на борту яких буде розміщено біля 200 різних приладів, що забезпечуватимуть вимірювання багатьох параметрів, необхідних для вивчення навколишнього середовища Землі [9].

Разом з тим ДЗЗ являє собою одну з галузей

прикладного та комерційного використання космосу, яка досить швидко розвивається. Це обумовлено різким зниженням вартості засобів обробки даних (зокрема персональних комп'ютерів), широким використанням ПС та доступністю даних високої роздільної здатності (1—5 м), які раніше використовувалися виключно у військовій сфері.

На світовому ринку спостерігається стійке підвищення попиту на дані ДЗЗ, які дозволяють вирішувати першочергові завдання екологічного моніторингу, контролю господарської діяльності, вивчення та раціонального використання природних ресурсів Землі і т. ін. За даними фірми SEAI (США) в період 1987—1997 рр. загальний обсяг світового ринку продажу даних ДЗЗ з космосу склав 7.2—9 млрд дол. США (в середньому 720—900 млн дол. щорічно [4]). Ці дані узгоджуються з даними Комісії Європейського Співтовариства (1996 р.) про світовий цивільний (невійськовий) ринок ДЗЗ, який наведено в табл. 3. При цьому наголошується, що європейський ринок даних та їх використання (за виключенням метеорологічних) на 2000 р. складе майже 270 млн єкю.

До останнього часу основними джерелами інформації для задоволення світового попиту в даних ДЗЗ були багатоцільові оптико-електронні супутникові системи «Ландсат» (США) та «Спот» (Франція). Проте все більшого застосування набувають дані радіолокаційних супутникових систем європейського космічного агентства (ERS-1, -2), а також оптичних індійських КА серії IRS. Причому радіолокаційні дані не конкурують з даними оптичних датчиків, а використовуються разом з ними, суттєво розширюючи можливості природоресурсних досліджень, контролю екологічної обстановки, і особливо моніторингу небезпечних гідрометеорологічних явищ (паводків, підтоплень) та льодового стану в районах Арктики і Антарктики.

Основними постачальниками даних ДЗЗ на світовому ринку є французька компанія «Spot Image», європейська «Eurimage», канадська «Radarsat International» та, до недавнього часу, американська компанія EOSAT, яка після об'єднання в кінці

1996 р. з компанією «Space Imaging» має назву «Space Imaging EOSAT».

Серйозним ударом для консорціуму EOSAT і для світового співтовариства споживачів даних ДЗЗ була втрата під час запуску в 1993 р. американського КА «Ландсат-6» (затрати на його створення оцінені в 260 млн дол. США), який дозволив би отримувати як панхроматичні, так і багатоспектральні дані з роздільною здатністю від 15 до 60 м. Ця подія привела до суттєвих змін на світовому ринку даних ДЗЗ, стимулюючи пошук альтернативних джерел аналогічної інформації шляхом більш ретельного аналізу можливостей діючих та перспективних (запланованих до створення) космічних засобів (наприклад, мікросупутників), вивчення та розширення можливостей використання архівів даних військових розвідувальних КА і т. ін.

Що стосується інформації з російських космічних засобів ДЗЗ, то на світовому ринку значний інтерес виявляється до знімків високого розрізнення, які отримуються з КА фотоспостереження серії «Ресурс-Ф», а також з військових розвідувальних систем, що мають геометричне розрізнення до 2 м. Однак останнім часом помітне намагання американської фірми «Space Imaging EOSAT» завоювати цю частину світового ринку шляхом створення власних комерційних систем ДЗЗ на базі військових розвідувальних КА. Адміністрація президента і конгрес США сприяють процесу комерціалізації даних ДЗЗ, виділяючи кошти на їх закупівлю для програм NASA.

Далі подамо аналіз деяких програм ДЗЗ, звертаючи особливу увагу на можливості раціонального використання набутого в світі досвіду для вирішення національних інтересів України та визначення її місця на світовому ринку цього виду послуг.

Супутникова система «Ландсат» створювалася NASA як експериментальна в зв'язку з тим, що в кінці семидесятих років панувала думка, згідно з якою дані спостереження Землі з космосу, як і топографічні карти, не повинні бути предметом комерціалізації. Однак з середини 1980-х років це правило було переглянуте і почалася комерціалізація системи шляхом передачі її в експлуатацію приватному консорціуму EOSAT. Початково було встановлено низький рівень цін на дані (близько 5 дол. США за один знімок), що сприяло широкому впровадженню їх у сфері дослідження природних ресурсів Землі та в інших галузях господарської діяльності. Після того як сформувався усталене коло споживачів та було побудовано ряд наземних станцій прийому даних в різних країнах, розпочалося підвищення цін (до 4 000 дол. США за знімок). Основними споживачами даних «Ландсат»

Таблиця 3. Світовий ринок цивільного (невійськового) ДЗЗ

Вид діяльності	Обсяг, млрд єкю
Створення супутників та їх запуск	12.0
Продаж даних	1.2
Створення та продаж наземних засобів прийому та обробки даних	4.0
Створення, продаж та експлуатація засобів та програмного забезпечення для тематичної обробки даних	12.0

стали Державний департамент сільського господарства та Міністерство оборони США, а також суб'єкти управлінської і господарської діяльності розвинутих країн.

Основними напрямками використання даних «Ландсат» є картографія, землекористування, розвідка нафти та мінеральних сировин, лісове господарство, гідрологія, сільське господарство, будівництво, океанографія та вивчення шельфів. Наприклад, компанія EOSAT мала понад 8 тисяч споживачів даних в більш ніж 100 країнах. Незважаючи на це, компанія докладала значних зусиль для розширення кола споживачів даних, сприяючи якомога повному задоволенню їх потреб шляхом створення нових видів продукції, підвищення оперативності постачання інформації та гнучкою ціновою політикою (зниження цін на всі види продукції для країн, що розвиваються, надання пільгових цін на продукцію для наукового використання, знижки при замовленні копій продукції і т. п.).

В 1995 р. EOSAT отримала виключне право на розповсюдження даних за межами Індії з індійських супутників ДЗЗ серії IRS. Цим компанія значно покращила своє становище після втрати КА «Ландсат-6» та прийняття рішення про те, що експлуатувати КА «Ландсат-7» (створюється на замовлення NASA та Пентагону, запланований до запуску в 1998 р.) буде Національна адміністрація з океанографії та атмосфери США (NOAA).

Об'єднання компаній «Space Imaging» та EOSAT, безумовно, посилює лідируючу роль американського приватного сектору в комерційній сфері ДЗЗ.

Програма «Спот» створювалася як система подвійного призначення (в інтересах Міністерства оборони та цивільних споживачів даних) і з самого початку була орієнтована урядом Франції на комерційну основу. Розраховуючи на підвищений інтерес до даних КА «Спот» та керуючись комерційними міркуваннями, для управління даними була створена компанія «Spot Image» у вигляді акціонерного товариства закритого типу. В цій компанії CNES володіє пакетом акцій в розмірі 35 %. Відразу ж було встановлено високий рівень цін на дані «Спот» (в середньому 1 дол. США за 1 км² площі досліджуваної території). На поточний час «Spot Image», як і компанія «Space Imaging EOSAT», має розгалужену мережу приймальних станцій.

Розподіл споживачів інформації КА «Спот» серед регіонів світу (у відсотках від загальної кількості) наведено в табл. 4. Як бачимо, цей розподіл має досить рівномірний характер, що свідчить про наявність розвинутого світового ринку даних ДЗЗ.

Розподіл обсягів продажу даних КА «Спот» серед основних галузей використання даних (у відсотках

Таблиця 4. Розподіл споживачів інформації КА «Спот» серед регіонів світу (у відсотках від загальної кількості)

Назва регіону	%
Близький та Середній Схід	7
Європа	30
Північна та Латинська Америка	25
Азіатсько-Тихоокеанський регіон	32
Африка	6

Таблиця 5. Розподіл обсягів продажу даних КА «Спот» серед основних галузей використання даних (у відсотках від загального обсягу продажу)

Назва галузі використання даних	%
Геологія	8
Контроль стану навколишнього природного середовища	12
Сільське та лісове господарство	22
Містобудування	10
Картографія і геоінформаційні системи	41
Інші	7

від загального обсягу продажу) наведено в табл. 5. Основними споживачами даних ДЗЗ є галузі картографії та ГІС, сільського та лісового господарства, а також контролю стану навколишнього природного середовища та містобудування.

Неприємною несподіванкою для споживачів даних стало раптове припинення в 1996 р. функціонування КА «Спот-3» (запущений в 1993 р.). Зараз на орбіті постійно працює КА «Спот-2» (запущений в 1990 р.) та, періодично, «Спот-1» (запущений в 1986 р.). Але вони вже відпрацювали свій технічний ресурс, і 24 березня 1998 р. було здійснено запуск чергового супутника цієї серії — «Спот-4».

Однією з головних переваг КА «Спот» є можливість отримання стереоскопічних зображень. Подальші перспективи розвитку програми та комерційні успіхи пов'язуються з розширенням ринків завдяки новим видам продукції та галузям застосування. Технічні нововведення на КА «Спот-5», повинні забезпечити підвищення просторової розрізняювальної здатності до 5 м в панхроматичному режимі і до 10 м в багатоспектральному режимі (при збереженні ширини смуги огляду 60 км). За прогнозами до 2002 р. це дасть можливість досягнути обсяг продажу даних до 1 млрд франків (близько 200 млн дол. США) щорічно. Разом з цим слід зазначити, що на КА «Спот-4» встановлено прилад «Vegetation», який за своїми параметрами дуже близький до приладу AVHRR (радіометр високої роздільної здатності), розміщеного на борту КА

серії NOAA. Прилад «Vegetation» має 5 спектральних каналів в діапазоні 0.43—1.75 мкм з просторовою роздільною здатністю в надирі 1.15 км і максимальною смугою огляду біля 2200 км. З цим приладом пов'язана окрема європейська програма, яка прийнята на рівні Європейської Комісії з метою використання результатів ДЗЗ в екологічних дослідженнях, сільськогосподарському та лісовому моніторингу, а також дослідженнях глобальних змін клімату на Землі.

Європейська програма ERS розроблялася і виконується європейським космічним агентством (ESA), членами якого є 14 європейських країн і Канада (на правах асоційованого члена). Запуски супутників ERS-1 (1992 р.) і ERS-2 (1996 р.), головним бортовим приладом яких є радіолокатор з синтезованою апертурою (PCA, або SAR), вважаються значним кроком до створення нового покоління супутникових систем ДЗЗ. Бортова апаратура цих КА дозволяє з високою розрізняювальною здатністю (близько 25 м) вимірювати цілий ряд параметрів навколишнього природного середовища, не охоплених існуючими оптичними супутниковими системами. За допомогою радіолокаційної апаратури отримується зображення океанів, льодового покриву і суші, а також здійснюється моніторинг поверхні Землі незалежно від наявності хмар та умов освітлення Сонцем.

Радіолокаційні дані з КА ERS покривають ділянку місцевості розміром 100 × 100 км². Комплексування цих даних з даними оптичних приладів КА «Спот», що мають невеликі геометричні похибки зображень, дозволяє ліквідувати основний недолік радіолокаційних зображень — викривлення, обумовлені впливом рельєфу місцевості.

Найбільше комерційне значення у використанні даних КА ERS мають такі напрямки:

- забезпечення розвідки і розробки родовищ нафти, газу та мінеральної сировини на шельфі;
- вибір маршрутів руху морських суден;
- раціональна організація морського рибальства;
- удосконалення проектувальних і будівельних робіт на шельфі.

Японська програма ДЗЗ направлена на систематичне і глобальне спостереження Землі в різних діапазонах спектру. З цієї метою на навколоземній орбіті, крім геостационарного КА GMS, на сонячно-синхронних орбітах знаходяться КА з оптичним бортовим обладнанням MOS-1b і JERS-1, оснащений радіолокатором з синтезованою апертурою та оптико-електронним сканером.

Одним із основних проектів Національного японського космічного агентства (NASDA) є створення перспективного супутника для спостереження Зем-

лі ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite). Слід зазначити, що ця програма оцінюється в 600—700 млн дол. США і виконується в кооперації з NASA та CNES. 17 серпня 1996 р. запущено перший супутник цієї серії, на борту якого розміщено 7 приладів для визначення кольору і температури океану, вимірювання швидкості та напрямку вітру над поверхнею океанів, спостереження за станом озонового шару, визначення поляризації і напрямку сонячного випромінювання, відбитого атмосферою, а також вимірювання параметрів атмосфери за допомогою лазерного випромінювання, переданого з наземної станції і відбитого від рефлектора, що розміщений на борту супутника. На жаль, час активного функціонування ADEOS-1 виявився менше 1 року, і NASDA після аналізу телеметрії та спроб налагодити управління в липні 1997 р. офіційно заявило про припинення його функціонування. Наступний КА цієї серії ADEOS-2 заплановано до запуску в 1999 р.

Індійська супутникова система IRS базується на оптико-електронних приладах для ДЗЗ. Продукцію з даними КА IRS за якістю зображень можна порівняти з продукцією, яка отримується на основі даних американських і французьких КА. В зв'язку з цим вона була конкурентоспроможна на світовому ринку, хоча й не мала на нього виходу до аварії з КА «Ландсат-6». Дані, записані на магнітних стримерних стрічках або на компакт-дисках, розповсюджує за межами Індії через свою мережу компанія «Space Imaging EOSAT». Формати даних IRS сумісні з форматами даних КА «Ландсат», що зручно для споживачів даних.

Основні галузі застосування інформації: раціональне використання земель, сільське та лісове господарство, гідрологія, класифікація ґрунтів, картографування зволжених земель берегової зони, вивчення природних ресурсів, моніторинг стихійних лих, картографія і т. п.

Треба також відзначити, що індійський геостационарний КА «Інсат», крім вирішення метеорологічних задач, використовується для збору та передачі даних з наземних платформ завдяки присутності на борту відповідного комунікаційного обладнання.

Концепція ДЗЗ Російського космічного агентства ставить перед собою мету вирішення задач моніторингу навколишнього природного середовища, які розділені на п'ять ключових проблем різної виробничо-господарської та наукової направленості:

- контроль факторів впливу на погоду та клімат з метою достовірного прогнозування погоди і змін клімату, включаючи і навколоземний космічний простір;

- контроль стану джерел забруднення атмосфери, води і ґрунту з метою забезпечення природоохоронних органів федерального і регіонального рівнів інформацією для прийняття адекватних управлінських рішень;
- оперативний контроль надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру з метою ефективного планування та своєчасного проведення заходів щодо ліквідації їх наслідків;
- інформаційне забезпечення проведення земельної реформи, раціонального землекористування та господарської діяльності;
- створення динамічної моделі Землі як системи з метою прогнозування порушення екологічного балансу і розробки заходів для збереження середовища життєдіяльності людини.

Вирішення цих задач на поточний момент і на найближчу перспективу здійснюється за допомогою супутникових підсистем, що базуються на КА «Метеор», «Ресурс», «Океан» («Січ»), пілотованої станції «Мир» (модуль «Природа») та геостационарного «Електро». Вважається, що такий склад угруповання космічного сегменту виправданий, а перспективність його розвитку вбачається в автономному розвитку цих підсистем на основі модернізації, створенні принципово нових КА, а також максимального врахування можливостей конверсії військових розвідувальних супутників. Подвійне використання останніх вважається доцільним для вирішення тих задач, які потребують найвищої просторової роздільної здатності та всепогодності спостереження.

Визнається, що існуючий російський наземний комплекс прийому, обробки, архівації та розповсюдження даних ДЗЗ застарів і не відповідає сучасним вимогам. В зв'язку з цим необхідно його структурно та технічно вдосконалювати. Заплановано в максимально короткий термін глибоко технічно переоснастити наземний сегмент, створити архіви і розподілені бази даних на сучасному інформаційному рівні, забезпечити стандартизацію форматів і носіїв даних та їх сумісність з супутниковими системами інших країн, створити розгалужену систему обміну і розповсюдження даних, забезпечити значне підвищення якості обслуговування споживачів даних ДЗЗ.

Принциповим моментом російської концепції ДЗЗ є всебічне використання можливостей міжнародного співробітництва. Особливим напрямком є співробітництво з країнами СНД, яке визнається доцільним забезпечувати у відповідності з наступними принципами і правилами:

- об'єднання країн СНД, зацікавлених у співробітництві з Росією, в рамках організацій за

типом європейських організацій ESA чи EUMETSAT;

- забезпечення сусідніх з Росією країн даними ДЗЗ, з відповідною компенсацією цими країнами додаткових витрат Росії на ці роботи;
- створення ліній зв'язку між російськими центрами і аналогічними службами в країнах СНД за рахунок зацікавлених країн;
- правила і процедури розповсюдження космічної інформації від російських КА ДЗЗ в країні СНД повинні бути ідентичні тим, що діють в подібних умовах в рамках ESA, WMO, EUMETSAT;
- створення і розміщення нових міжнародних та територіальних центрів, малих і автономних пунктів прийому та обробки інформації ДЗЗ, а також платформ збору даних повинно виконуватися на основі окремих угод з Росією;
- створення нових КА ДЗЗ країнами СНД (у випадку спільного їх використання Росією) доцільно здійснювати на договірній основі.

Важливе значення для вдосконалення апаратури КА та розвитку методів ДЗЗ відіграє міжнародний багатопільовий комплексний проект «Природа». Сам модуль, який повинен працювати в автоматичному режимі і на якому розміщено більше 20 приладів, успішно запущений та зістикований з орбітальною станцією «Мир» навесні 1996 р. Але пріоритетність проведення інших програм на орбітальній станції та деякі технічні проблеми на модулі «Природа» не дозволили здійснити в 1997 р. запланований обсяг робіт.

Наведений вище короткий аналіз програм ДЗЗ практично охопив всі основні аспекти цього напрямку космічної діяльності. Серед інших національних космічних програм значна увага приділяється вдосконаленню і розвитку ДЗЗ в Австралії, Аргентині, Бразилії, Ізраїлі, Китаї, Новій Зеландії, Таїланді. Особливої уваги заслуговує запуск в листопаді 1995 р. канадського КА «Радарсат», розробка і створення якого оцінені в 500 млн дол. Канади (360 млн дол. США). На його борту розміщено радіолокатор з синтезованою апертурою, який має 6 режимів роботи, що відрізняються смугою огляду і роздільною здатністю. Найвища роздільна здатність (10 м) досягається на ділянці $50 \times 50 \text{ км}^2$, а найнижча (100 м) — на ділянці $500 \times 500 \text{ км}^2$.

НАЗЕМНИЙ СЕГМЕНТ

В той час як кількість наземних центрів для управління КА дорівнює кількості діючих супутникових систем ДЗЗ, кількість наземних центрів для

прийому та обробки даних значно перевищує їх. Наземний сегмент може бути поділений на дві основні категорії, в залежності від можливостей прийому даних з:

- метеорологічних КА (геостационарних та низькоорбітальних);
- неметеорологічних низькоорбітальних КА (дослідницьких і комерційних).

Наземний сегмент для геостационарних метеорологічних КА складається з центральної станції і приймальних станцій споживачів даних. Центральна станція працює в режимі прийому—передачі таким чином, що кожні 30 хв приймає дані з КА, обробляє їх і через ретранслятор, встановлений на цьому ж супутнику, передає зображення на приймальні станції споживачів метеорологічної інформації. Дані передаються в двох режимах роздільної здатності. Найбільш поширеним серед споживачів є загальнодоступний прийом знімків низького розрізнення (5000 м) в аналоговому форматі WEFAX, який сумісний з аналоговим форматом АРТ. Дані ж високого розрізнення (2000 м) передаються в цифровому форматі, і для їх прийому потрібен декодер, який метеорологічним організаціям продається за пільговими цінами, а іншим споживачам — за комерційними.

Наземний сегмент неметеорологічних КА для ДЗЗ включає в себе:

- радіотехнічні засоби прийому даних;
- засоби реєстрації (запису), обробки (синтезування зображення), управління та архівації (каталогізація) даних;
- засоби доставки даних від центрів прийому (накопичення) до користувачів (центрів тематичної обробки);
- засоби службового зв'язку між центрами прийому та центрами управління.

Конкретна структура наземного сегменту залежить від щільності мережі приймальних станцій, ємності бортового накопичувача даних, а також наявності використання КА зв'язку для передачі інформації.

В засобах прийому даних з КА ДЗЗ наявність бортових приладів високої роздільної здатності обумовлює необхідність використання радіоліній і приймального обладнання на частотах Х-діапазону (5.2—10.9 ГГц) та швидкостях передачі даних 50—320 Мбіт/с. Тому мережа таких станцій досить обмежена в зв'язку з їх високою вартістю. На міжнародному ринку ціна створення центру прийому «під ключ» сягає близько 25 млн дол. США (залежно від типу та конфігурації обладнання), що, в свою чергу, характеризує можливість наземного приймального центру працювати з супутниками

різних систем та забезпечувати високу оперативність отримання даних.

На рис. 1 приведено географію розташування, зони покриття та перелік центрів прийому даних з КА «Спот». Процес створення центрів прийому даних з КА «Спот» динамічно розвивається, і зони покриття цих центрів охоплюють практично всю поверхню Земної кулі, що вказує на широке використання даних в різних регіонах світу.

Важливим елементом наземного сегменту ДЗЗ є технічне забезпечення та організація довготермінового зберігання прийнятих даних (архівація). Обсяги даних доволі значні, особливо якщо приймається інформація з КА, які обладнані радіолокаторами з синтезованою апертурою. Так, наприклад, згідно з японським перспективним планом розвитку центру прийому передбачається, що обсяг даних ДЗЗ складатиме 200—280 Гбайт за добу.

Необхідність накопичення таких великих обсягів інформації вимагає використання найновітніших досягнень в техніці запам'ятовуючих пристроїв.

Традиційні запам'ятовуючі пристрої на магнітних стрічках на поточний час мають неперевірені характеристики. Вважається, що найближчим часом на цих типах носіїв будуть досягнуті обсяги інформації до 1 Тбайт при швидкості вводу/виводу — 25 Мбайт/с.

На сьогоднішній день в автоматизованих архівах даних ДЗЗ використовуються WORM-, та ЕО-диски з оптичним способом запису інформації. Домен WORM-масиву складає від 300 Гбайт до 1 Тбайт інформації, а домен ЕО-масиву — 30—120 Гбайт. Незважаючи на те, що використання WORM-дисків для архівації даних дуже привабливе, на поточний час їх застосування стримується відсутністю промислового стандарту, а значить, несумісністю дисків різних фірм-виробників.

Передбачається, що розвиток технології голографічного запису дасть можливість досягти обсягу інформації до 1 Тбайт на дискеті розміром 2.5 дюйми.

В центрах прийому та обробки даних ДЗЗ скорочення найбільш тривалого процесу обробки і отримання зображення від локатора з синтезованою апертурою потребує застосування потужних і високопродуктивних обчислювальних комплексів. Так, наприклад, 10-процесорний комп'ютерний комплекс австралійського центру ДЗЗ для обробки даних локатора з синтезованою апертурою обійшовся в 11.5 мільйонів австралійських доларів (біля 8 млн дол. США). І хоча ціни на комп'ютери постійно зменшуються, вартість сучасних платформ типу Silicon Graphics складає сотні тисяч доларів США. А саме такі комп'ютерні системи для обробки даних

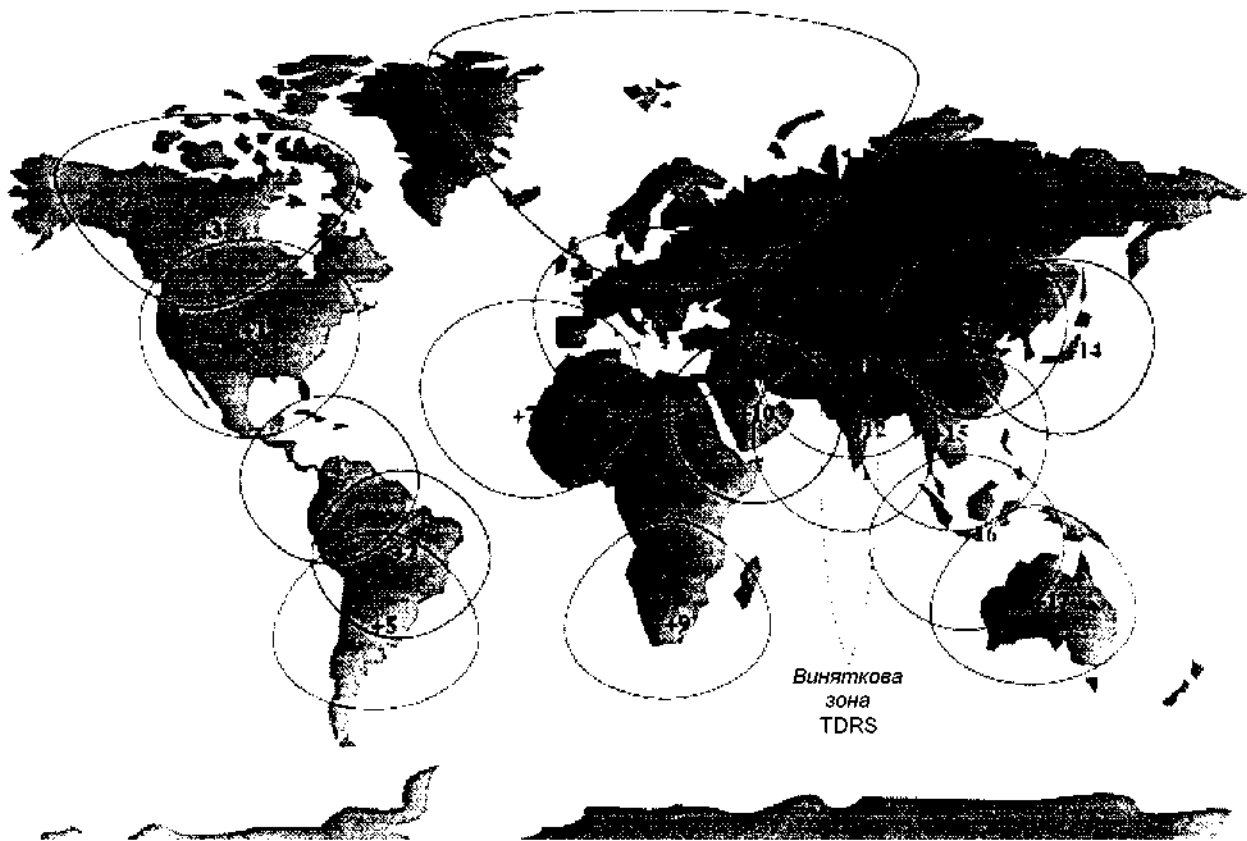


Рис. 1. Географія розташування, зони покриття та перелік центрів прийому даних з КА «Спот» (Франція): Кіруна (Швеція), Маспаломас (Канарські острови), Фучіно (Італія), Гатіно (Канада), Принс-Альберт (Канада), О'Хігінс (Антарктида, Німеччина), Вест-Фре (Великобританія), Тромсьо (Норвегія), Фербенкс (Аляска), Куяба (Бразилія), Котопахі (Еквадор), Хайдарабад (Індія), Хатояма (Японія), Кумамото (Японія), Аліс-Спрингс (Австралія), Сиова (Антарктида, Японія), Бангкок (Таїланд). Планується створення пунктів прийому: Хобарт (Австралія), Парепаре (Індонезія), Ізраїль, Ріяд (Саудівська Аравія), Сингапур, ПАР, Пекін (Китай)

ДЗЗ використовуються в європейському космічному агентстві і американській компанії «Space Imaging EOSAT». Слід також зазначити, що вартість програмного забезпечення для цього класу систем такого ж порядку, чи навіть вище вартості апаратних засобів. Це перш за все стосується операційних систем типу UNIX, систем керування базами даних типу ORACL. Необхідність використання цих програмних середовищ вимагає наявності також відповідних інструментальних обчислювальних комплексів для розробки прикладних модулів та супроводу такого класу програмно-технічних комплексів.

Засоби передачі та розповсюдження даних характеризуються, як правило, наявністю швидкісних каналів передачі даних. На поточний час на великій кількості наземних приймальних станцій вихідні необроблені дані записуються на стрічки

HDDT і кур'єром доставляються до центрів обробки, але з метою підвищення оперативності доставки достатньо широко застосовуються наземні (декілька Мбіт/с) та супутникові (до 100 Мбіт/с) канали передачі даних. Вважається доцільним використання таких каналів проводити на комерційній основі для підвищення їх рентабельності.

Як правило, доставка даних споживачам виконується поштою на дисках CD-ROM та магнітних стрічках. Найближчим часом, ці способи доставки, збережуть свої домінуючі позиції.

При наявності мережевої інфраструктури та критичності до терміну доставки даних, передача інформації споживачам може проводитись з використанням електронних засобів. Базуючись на концепції швидкісних магістралей «Data Highway», в інформаційній системі EOSDIS (Earth Observation Data and Information System), яка розробляється

під егідою NASA, планується доставляти користувачам до 8.5 Тбайт інформації щоденно. Такий спосіб розповсюдження даних також передбачається широко застосувати для розповсюдження малих та середніх обсягів даних з КА ERS-2. Вважається, що це буде найдешевший спосіб передачі. Однак зараз таке твердження справедливо тільки для файлів даних, обсяг яких не перевищує декількох Мбайт. Подальший розвиток глобальної мережевої інфраструктури та технічна політика Європейського Співтовариства визначають можливість ширшого використання електронних каналів для передачі даних ДЗЗ користувачам.

Окремо слід сказати про можливість розповсюдження даних за допомогою телекомунікаційних супутників. Такий спосіб доставки (BDDN — Broadband Digital Data Network) поки що використовується тільки в особливих випадках в Європі, тому що він передбачає встановлення дорогого обладнання на пунктах прийому та передачі даних, а також оренду супутникового каналу зв'язку, що складає значні кошти.

Ще один спосіб — це передача невеликих обсягів цифрових даних через супутникові телевізійні канали (TELETEXT), що можливо після незначної модернізації апаратури прийому телевізійних сигналів з КА. Останнім часом для доступу користувачів до каталогів про наявні бази даних ДЗЗ провідні компанії («Spot Image», «Space Imaging EOSAT», EURIMAGE) використовують мережу INTERNET.

КОСМІЧНИЙ СЕГМЕНТ

Космічні апарати ДЗЗ. Сучасні КА ДЗЗ проектуються як системи, спеціалізовані або за тематичним принципом вирішуваних завдань (атмосфера, океан, суша, геодезія, картографія), або за типом вибраних датчикових систем та діапазону спектру, в якому проводяться спостереження (оптичного, радіочастотного і т. ін.). Спеціалізація існуючих систем в багатьох випадках пояснюється обмеженими можливостями ракет-носіїв, які не завжди спроможні виводити на орбіти важкі КА, оснащені широким спектром приладів, а також світовою тенденцією підвищення ефективності витрат на космічні дослідження.

На поточний час в світі існує велика кількість КА ДЗЗ, з яких безперервно проводиться широкий комплекс досліджень в різних смугах електромагнітного спектру.

З метою найбільш ефективного огляду поверхні Землі та використання сонячної енергії для системи

енергозабезпечення, КА ДЗЗ виводяться на кругові полярні синхронно-сонячні орбіти висотою 600—900 км або на геостаціонарні орбіти висотою приблизно 36 000 км.

Геостаціонарні КА ДЗЗ постійно розташовані над певною точкою екватора, і в полі їх зору знаходиться видимий з висоти орбіти диск земної кулі. КА цього типу використовуються в основному в інтересах гідрометеорологічних служб та для прогнозу глобальних змін погоди, де висока роздільна здатність не потрібна.

Що стосується КА, які виведені на кругові полярні синхронно-сонячні орбіти, то в полі їх зору знаходиться тільки порівняно невелика смуга земної поверхні шириною від десятків до декількох тисяч кілометрів і періодом огляду всієї поверхні Землі за термін від 3 до 30 діб.

Необхідність більш ефективного використання коштів при розробці перспективних систем обумовлює впровадження цілого ряду нових технічних рішень для:

- підвищення терміну активного функціонування супутників. Термін активного функціонування майже всіх діючих КА ДЗЗ складає не менше п'яти років гарантованої працездатності, а для тих, що плануються до запуску, розраховується на 5—7 років. Забезпечення таких великих термінів активного функціонування являє собою чи не найважливіше завдання при створенні КА ДЗЗ в Україні;
- комплексності та багатофункціональності спостережень. Максимальний ефект у використанні даних ДЗЗ досягається при синхронному спостереженні датчиками різних типів (оптичні, радіолокаційні) та рівнів (космічних, авіаційних, наземних);
- сумісності ліній зв'язку та інформаційних параметрів (форматів, каталогів). Існує декілька стандартів, які визнані міжнародними в галузі ДЗЗ;
- можливості отримання даних ДЗЗ в реальному чи близькому до реального масштабі часу. Скорочення терміну від подання заявки на проведення зйомки до одержання інформації для користувача є надзвичайно важливим. Доведення його до 1—2 діб є перспективною задачею на найближчий час. Вимоги оперативного прийому інформації ДЗЗ приводять до необхідності забезпечення користувачів недорогою апаратурою прийому та обробки інформації. В той же час потік інформації, яка передається з борту КА, постійно збільшується, і в зв'язку з цим для її обробки потрібні все потужніші і дорожчі програмно-технічні засоби. Особливо

це стосується супутників, оснащених РСА, які переважно працюють з безпосередньою передачею інформації на Землю без її накопичення на борту. При цьому швидкості передачі даних з борту КА сягають 300 Мбіт/с. Зменшення потоку інформації досягається шляхом проведення попередньої обробки на борту КА та використання методів стиснення інформації. Крім того, спостерігається тенденція до освоєння нових діапазонів частот (20—40 ГГц) для передачі даних ДЗЗ на наземні пункти прийому;

- зменшення терміну створення космічних апаратів. За час розробки та запуску «класичних» КА ДЗЗ (5—7 років) застаріває сама технологія його створення, а бортові прилади вже не в повній мірі відповідають поточним задачам. В зв'язку з цим останнім часом в світовій практиці значна увага приділяється створенню вузько спеціалізованих міні- та мікросупутників ДЗЗ. Таким чином, стає економічно значно вигідніше замість великих та дорогих супутників створювати кілька невеликих (з одним-двома датчиками на борту) та запускати їх сумісно з іншими супутниками як попутний вантаж або груповим методом (декілька супутників одночасно). Сучасний стан розвитку механіки та електроніки дає можливість скоротити час між прийняттям рішення про створення та запуском міні/мікросупутника в 3—4 рази і довести цей термін до 1—2 років.

На рис. 2 приведено перелік діючих та запланованих до запуску КА ДЗЗ. Аналіз цих даних показує, що більшість космічних держав дотримуються принципів забезпечення неперервності одержання даних, комплексності та багатофункціональності спостережень.

Бортова апаратура. На перший погляд, найбільш прийнятним критерієм для класифікації датчикових систем КА має бути тематичний принцип вирішуваних задач: датчики для дослідження атмосфери, суші, клімату тощо. Однак в зв'язку з тим, що один і той же датчик використовується для вирішення декількох тематичних задач, на практиці часто вдаються до додаткових критеріїв класифікації.

Автори вважають найбільш вдалою наступну класифікацію основних типів поширених на поточний час датчикових систем КА ДЗЗ:

- системи оптичного діапазону:
 - 1) пасивні (радіометри, фотоапарати, телевізійні системи);
 - 2) активні (лідари);
- системи радіочастотного діапазону:
 - 1) пасивні (радіометри);

2) активні (радіолокатори).

Треба зазначити, що в літературних джерелах [1, 6] поняттям «оптичний діапазон» найчастіше характеризується смуга електромагнітного спектру з довжиною хвилі від одиниць нанометрів до десятих долей міліметра, що включає до свого складу ІЧ-, видимий та УФ-діапазони. Крім того, деякі автори, наприклад [8], включають в це поняття і діапазон рентгенівського випромінювання. Зважаючи на те, що датчики рентгенівського та гамма-випромінювання в практиці ДЗЗ не мають широкого розповсюдження, поділ електромагнітного спектру на дві смуги для систем ДЗЗ є доцільним.

Різноманітність типів апаратури ДЗЗ вказує на широкий фронт досліджень, які проводяться в різних смугах електромагнітного спектру.

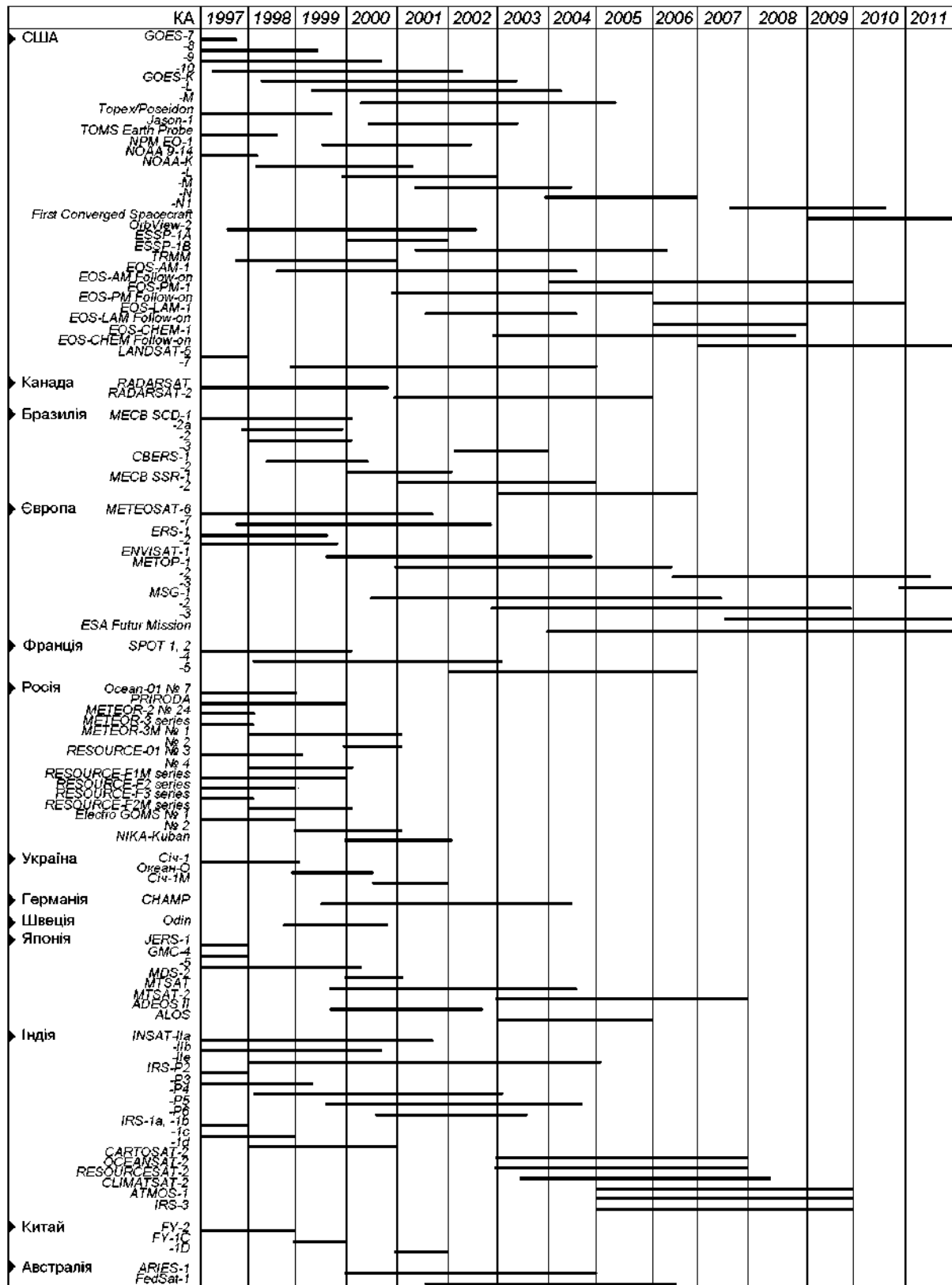
Інформація, яка отримується за допомогою систем оптичного та радіочастотного діапазонів, суттєво відмінна. Так, наприклад, оптичний чутливий до хімічного складу підстилаючої поверхні та атмосфери, в той час як радіочастотний має високу чутливість до геометричних характеристик цієї поверхні та наявності води в усіх її формах (грунтова та рослинна волога, лід, заболочені місцевості, океан і атмосферна водяна пара).

Найбільш розвиненими зараз є пасивні системи оптичного діапазону — оптичні радіометри, які історично були першими системами ДЗЗ. Тенденція розвитку радіометрів оптичного діапазону (як з механічним, так і з електронним скануванням) направлена на підвищення роздільної здатності та збільшення кількості спектральних робочих каналів. Ця тенденція прискорила завдяки конверсії авіаційно-космічної промисловості і появою можливості використання технологій створення розвідувальних супутників (роздільна здатність близько 1 м) для цивільних КА ДЗЗ. Пасивні системи оптичного діапазону успішно застосовуються також для проведення досліджень в стратосфері.

Перспективними вважаються активні оптичні системи з лазерним джерелом випромінювання (лазерні локатори). До основних переваг цих систем можна віднести:

- незалежність роботи від часу доби та освітлення;
- висока спектральна роздільність, що забезпечується монохроматичністю лазера;
- висока роздільність по висоті;
- можливість одержання тривимірних зображень об'єкта спостереження.

Поширення лазерних локаторів в системах ДЗЗ поки що обмежується технічними труднощами досягнення відповідних характеристик (середня вип-



роміювана потужність — 10—20 Вт, ресурс — до 10^9 імпульсів при частоті посилок 40 Гц, спектральна роздільність — краще 1 нм і т. ін.).

Радіочастотні радіометри мають невисоку просторову роздільну здатність (5—200 км) в зв'язку з обмеженими розмірами антени (1—3 м). Теоретично суттєве підвищення просторової роздільної здатності радіометрів радіочастотного діапазону можливе за рахунок синтезування апертури антени, але діючих моделей космічного базування поки що немає і найвірогіднішим напрямком розвитку цих систем на найближчу перспективу можна вважати механічне сканування діаграмою направленості антени. Крім того, тенденція розвитку радіометричних систем радіочастотного діапазону направлена на збільшення робочих смуг електромагнітного спектру та на підвищення роздільної здатності і радіометричної чутливості. Наприклад, на перспективні КА зарубіжних країн заплановано встановлення серії скануючих по горизонту радіометрів радіочастотного діапазону (490—860 ГГц), які призначені для спостереження O_2 , O_3 , H_2O_2 , CO_2 , H_2O та інших компонентів в атмосфері. Це дасть можливість картографування з високою роздільною здатністю десятків молекулярних складових атмосфери та реєстрації випромінювання стратосфери, мезосфери і нижньої тропосфери.

Перспективність використання активних (радіолокаційних) систем радіочастотного діапазону для ДЗЗ пов'язано з їх наступними особливостями:

- можливість отримання інформації незалежно від погодних умов, хмарності та освітлення;
- висока просторова роздільна здатність, яка наближається до оптичних систем;
- можливість одержання тривимірних зображень об'єкта спостереження.

В світовій практиці одержання радіолокаційних зображень досить широко застосовуються радіолокатори як з реальною, так і з синтезованою апертурами антен. Первинні дані РСА являють собою не звичайне зображення, а голограму, за якою воно синтезується. Це дозволяє досягнути розрізнення 10—20 м, а в перспективі — до декількох метрів. Для підвищення інформативності зображення в РСА використовуються різні види поляризації вихідного (зондуючого) та вхідного (відбитого від поверхні) електромагнітних сигналів. До основних напрямків вдосконалення РСА можна віднести:

- підвищення роздільної здатності;
- розширення кількості одночасно використовуваних частот (до трьох) з різними поляризаціями;
- розширення діапазону кутів спостереження земної поверхні.

КОСМІЧНА СИСТЕМА СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗЕМЛІ «СІЧ»

Космічна система (КС) спостереження Землі «Січ» створюється поетапно, згідно з Загальнодержавною (Національною) космічною програмою України (ЗНКПУ). Система призначена для одержання інформації про Землю в оптичному та радіочастотному діапазонах електромагнітного спектру з датчиків, розмішених на аерокосмічних носіях.

Структурна схема КС «Січ», перший етап якої базується на КА «Січ-1», приведена на рис. 3. До її складу включені всі елементи, які дозволяють одержувати дані ДЗЗ в замкнутому циклі. Разом з тим, зважаючи на обмежені фінансові можливості країни на даному етапі розвитку, а також на світові тенденції до координації і інтеграції в ДЗЗ, в створюваній КС передбачається можливість широкого міжнародного співробітництва та кооперації. За основу міжнародного співробітництва та кооперації приймається вже відпрацьовані в рамках комітету CEOS принципи:

- безкоштовного розповсюдження даних щодо вирішення оперативних задач гідрометеорологічного характеру, кризових ситуацій;
- комерційного використання даних високого розрізнення для вирішення широкого кола прикладних задач.

КА «Січ-1» запущений на орбіту з параметрами:

мінімальна висота	651 км,
максимальна висота	682 км,
нахил орбіти	82.53°,
період обертання	97.791 хв.

Основними задачами КС «Січ» першого етапу були:

- відпрацювання інфраструктури національних наземних засобів для забезпечення контролю та керування космічним апаратом за однопунктною схемою;
- створення та експлуатація наземних засобів для прийому, обробки, архівації і розповсюдження даних дистанційного зондування;
- забезпечення національних і закордонних користувачів даними дистанційного зондування та відпрацювання технології вирішення тематичних задач, а саме:

- 1) моніторинг території України з метою вирішення науково-прикладних задач в інтересах різних галузей;
- 2) контроль стану атмосфери для метеопрогнозу;
- 3) оцінка стану рослинного покриву за динамікою вегетаційного індексу;
- 4) спостереження Чорного моря та заданих районів Світового океану з метою виявлення районів, перспективних для рибного промислу;

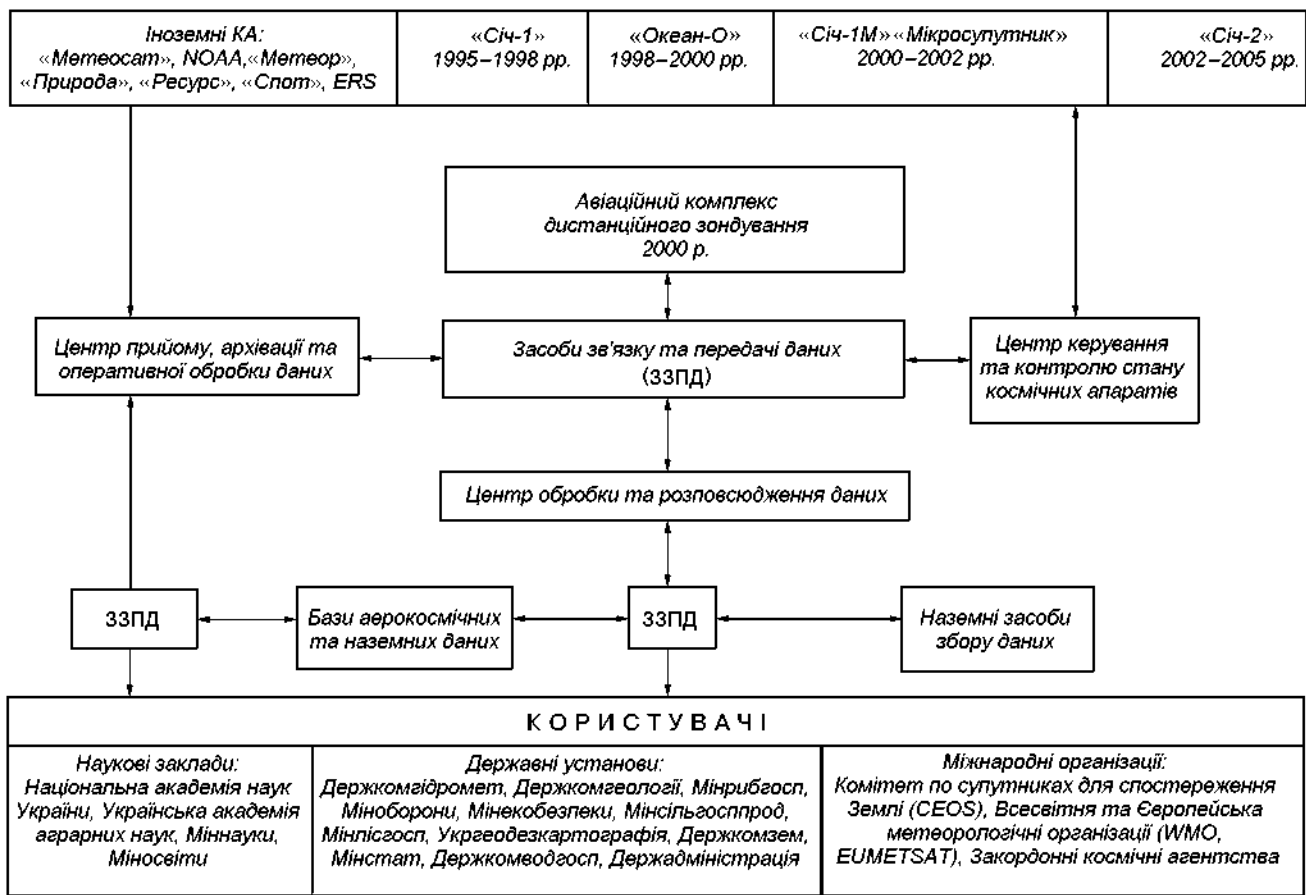


Рис. 3. Структурна схема космічної системи спостереження Землі «Січ»

- 5) забезпечення безпеки судноплавства та оптимізація маршрутів судноводіння;
- 6) дослідження геологічних структур;
- 7) контроль внутрішніх водоймищ (забруднення, повені, водозапас).

До складу бортового інформаційно-вимірювального комплексу КА «Січ-1» (загальний вигляд якого приведено рис. 4) включені [3]:

- комплекс радіофізичної апаратури в складі:
 - 1) радіолокатора бокового огляду (РЛС БО),
 - 2) скануючого НВЧ-радіометра РМ-08;
- радіотелевізійний комплекс (РТВК) в складі:
 - 1) багатозонального скануючого пристрою малого розрізнення МСУ-М (2 комплекти),
 - 2) багатозонального скануючого пристрою середнього розрізнення МСУ-С (2 комплекти).

Основні характеристики вимірювальної апаратури КА «Січ-1» приведені в табл. 6–8.

В КА «Січ-1» реалізована можливість отримання синхронної інформації РЛС БО, МСУ-М та РМ-08 з одного і того ж району земної поверхні як через

канал зв'язку 137 МГц, так і через канал 466 МГц.

Для прикладу на рис. 5 наведені радіолокаційні зображення Азовського моря, отримані за допомогою РЛС БО, а на рис. 6 — зображення центральної частини України, одержані за допомогою синтезу даних каналів багатозонального скануючого пристрою малого розрізнення МСУ-М КА «Січ-1». Радіолокаційні зображення демонструють динаміку зміни льодової обстановки, що дає змогу оперативно контролювати стан внутрішніх морів та значно раціональніше проводити організацію навігації. Зображення в оптичному діапазоні дають можливість проводити оперативний моніторинг стану території України та вивчення дії техногенезу на навколишнє середовище.

На поточний час КА «Січ-1» здійснив більше 15000 обертів навколо Землі і, незважаючи на вихід з ладу радіометра та радіолокатора, експлуатація супутника продовжується. За час активного функціонування з борту КА отримано більш як 6.5 Гбайт цінної науково-прикладної інформації

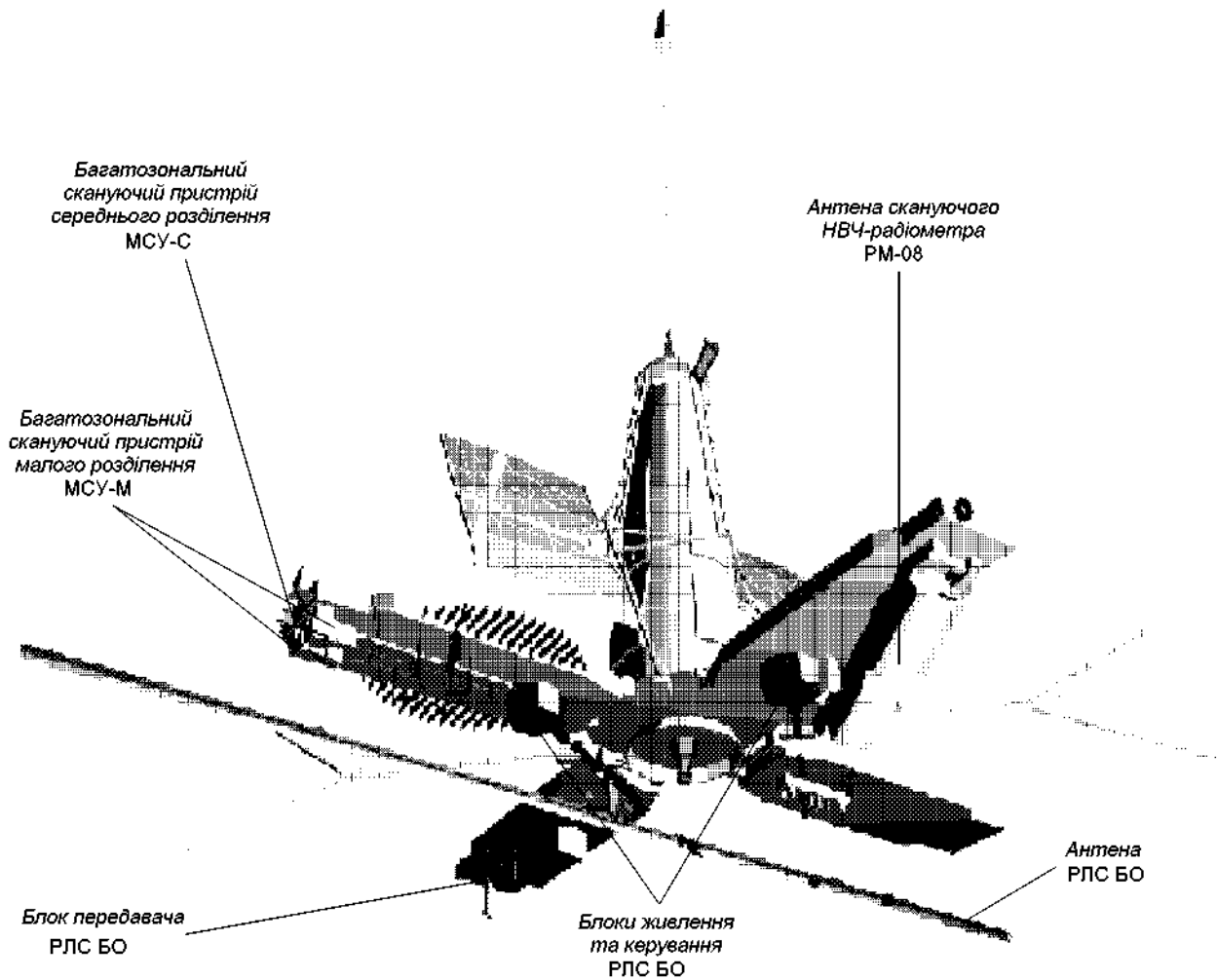


Рис. 4. Загальний вигляд космічного апарата «Січ-1»

Таблиця 6. Основні характеристики РЛС БО

Найменування	Величина
Частота випромінювання, МГц	9519
Ширина діаграми направленості антени (на рівні -3 дБ), град:	
в площині азимуту	0.183
в площині кута місця	42±2
Ширина смуги огляду ($H = 650$ км, $\alpha = 20^\circ$), км	450
Чутливість приймача, дБ/Вт	-142
Коефіцієнт підсилення антени, дБ	34
Середня роздільна здатність ($H = 650$ км, $\alpha = 20^\circ$), км:	
перпендикулярно до напрямку польоту	1.3
вздовж напрямку польоту	2.5
Тривалість зондуючого імпульсу (на рівні 0.5), мкс	3.1
Частота повторення, Гц	100
Імпульсна потужність випромінювання, кВт	106

Примітка. α — кут візування (кут між місцевою вертикаллю та напрямком на точку візування)

Таблиця 7. Основні характеристики радіочастотного радіометра РМ-08

Найменування	Величина
Робоча смуга частот (на рівні 3 дБ), ГГц	36.62±0.15
Чутливість, К	3.4
Діапазон вимірюваних температур, К:	
в 1 режимі	110—330
в 2 режимі	150—250
Ширина діаграми направленості антени (на рівні -3 дБ), град:	
в площині азимуту	0.65
в площині кута місця	0.895
Середня роздільна здатність ($H = 650$ км, $\alpha = 20^\circ$), км:	25 × 25
Ширина смуги обзору ($H = 650$ км, $\alpha = 20^\circ$), км	550
Рівень бокових пелюстків антени, дБ	-12
Сектор сканування, град	29.7
Кутова швидкість сканування, рад/с	0.581

Таблиця 8. Основні характеристики багатозональних скануючих пристроїв МСУ-М та МСУ-С

Найменування	МСУ-М	МСУ-С
Робоча довжина хвилі в спектральних каналах	0.5—0.6 мкм	0.5—0.6 мкм
	0.6—0.7 мкм	0.6—0.7 мкм
	0.7—0.8 мкм	0.7—0.8 мкм
	0.8—1.1 мкм	0.8—1.1 мкм
Кут сканування, град	105	90
Миттєве поле зору, рад: в рядку в кадрі	0.00153	0.00053
	0.00261	
Ширина смуги огляду ($H = 650$ км, $\alpha = 20^\circ$), км	1875	1380
Розрізювальна здатність ($H = 650$ км, $\alpha = 20^\circ$), в центрі/по краю рядка, м:		
	1000/1200	345/820
	1700/1700	345/515
Швидкість сканування, рядків/с	4	50
Вид сканування	однорядковий	однорядковий
Закон сканування	нелінійний по куту, лінійний по рядку	лінійний по куту

про нашу планету, яка продовжує поповнюватися даними оптичних сканерів МСУ-С та МСУ-М.

Крім того, наземний сегмент КС спостереження Землі «Січ» дозволяє отримувати, накопичувати, обробляти дані з космічних апаратів NOAA, «Метер», «Метеосат», а в найближчій перспективі — і з

тих, що оснащені приладами з високим просторовим розділенням. Загальний обсяг даних ДЗЗ, отриманих за період дії космічної програми України 1993—1997 рр. склав більше 300 Гбайт. Важливо відмітити, що створена система дозволила не тільки зберегти та використати наявний в Україні науково-технічний потенціал, а й дещо розвинути його. Так, в створеному на базі одного з підприємств ВПК центрі прийому, що розташований поблизу міста Чернігова, вперше в Україні здійснюється цілодобовий прийом даних від супутників NOAA та «Метеосат» в цифрових форматах, які забезпечують в декілька разів кращу якість зображень Землі, ніж аналогові формати.

На кінець 1998 р. заплановано реалізацію другого етапу створення КС «Січ» — запуск (спільно з Російською Федерацією) КА «Океан-О». Запуск буде виконано з метою забезпечення оперативного збору даних про стан Світового океану і суші для використання в інтересах суб'єктів господарської, наукової та адміністративної діяльності України і Росії, а також міжнародного співробітництва.

До складу бортового інформаційно-вимірювального комплексу КА «Океан-О» (загальний вигляд якого приведено рис. 7) включені:

— комплекс радіофізичної апаратури:

- 1) радіолокатор бокового огляду (2 комплекти),
- 2) трасовий НВЧ-радіометр Р-225,
- 3) трасовий НВЧ-радіометр Р-600,
- 4) багатоканальний скануючий радіочастотний радіометр «Дельта-2Д»,

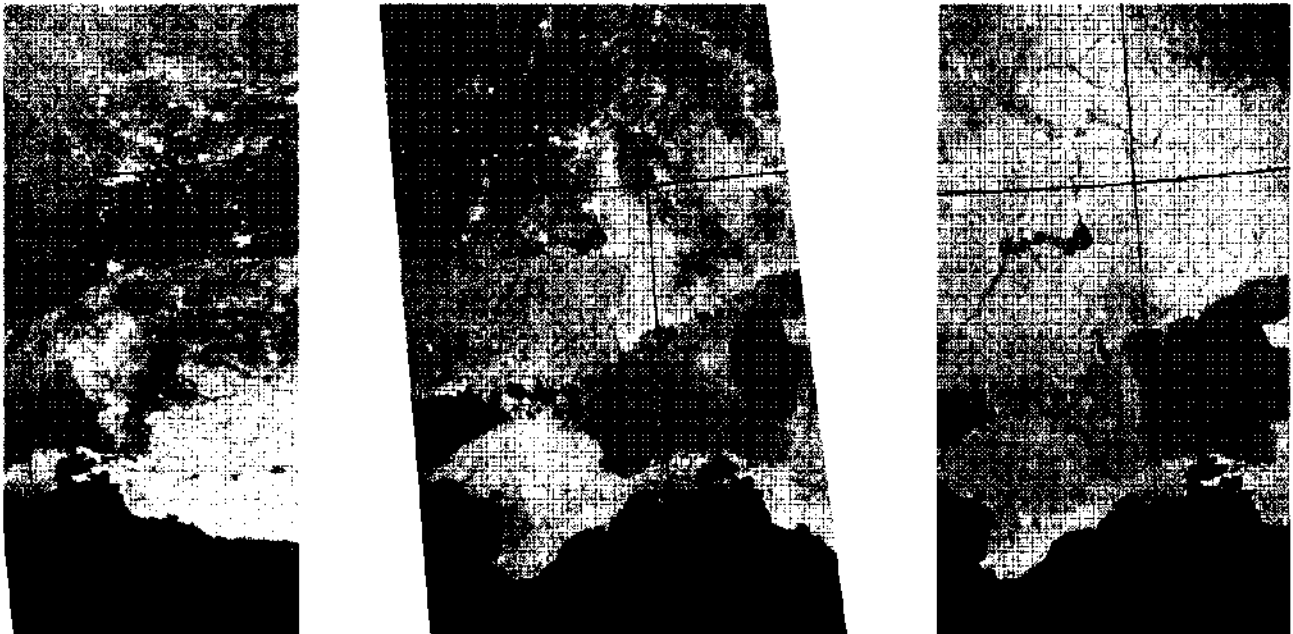


Рис. 5. Радіолокаційні зображення Азовського моря, отримані за допомогою радіолокатора бокового огляду КА «Січ-1» 18.02.1996, 24.02.1996 та 01.04.1996 р.

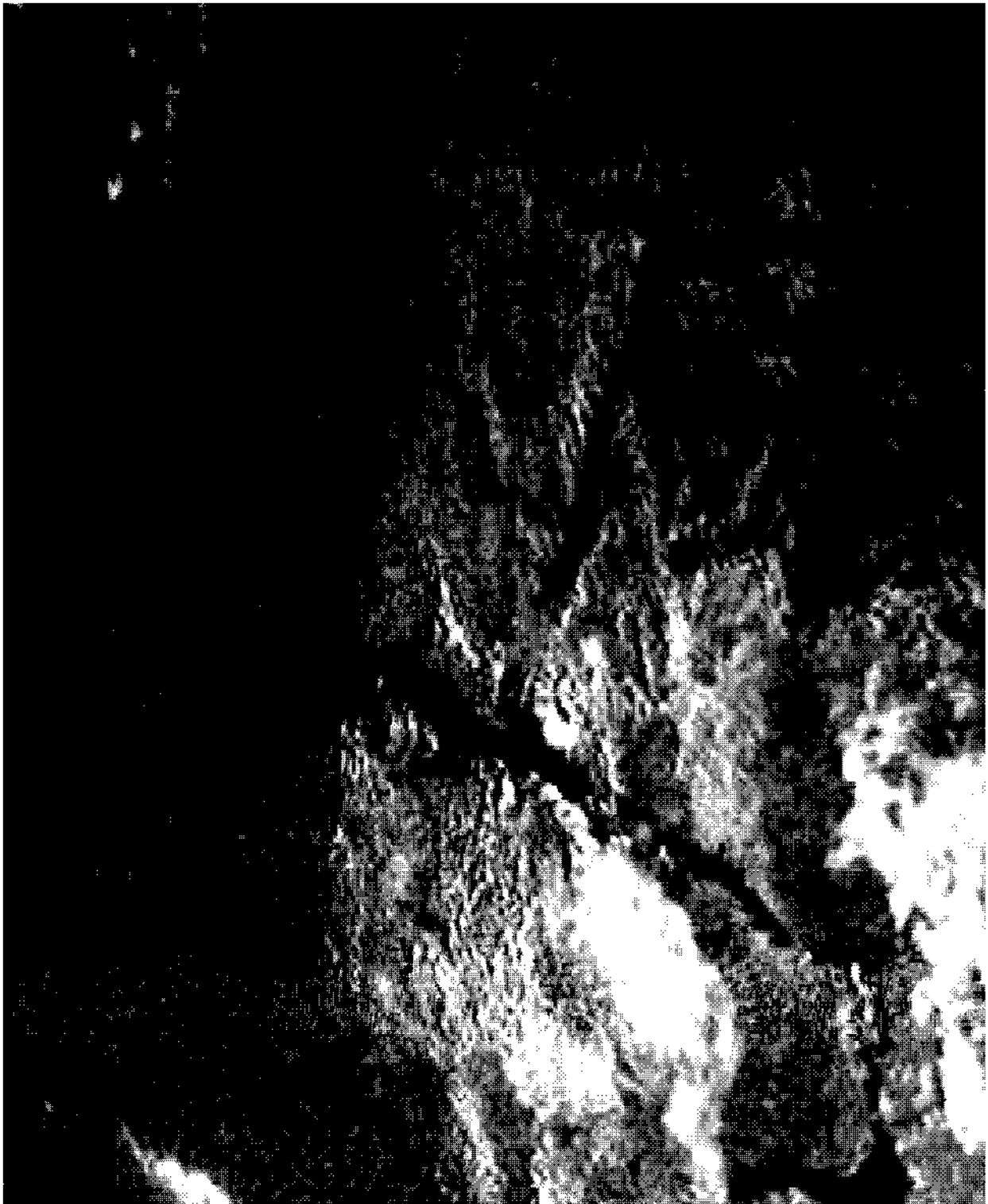


Рис. 6. Зображення центральної України (23.06.1997 р.), отримане за допомогою синтезу даних каналів 2 (0.6—0.7 мкм), 3 (0.7—0.8 мкм) та 4 (0.8—1.7 мкм) МСУ-М КА «Січ-1»

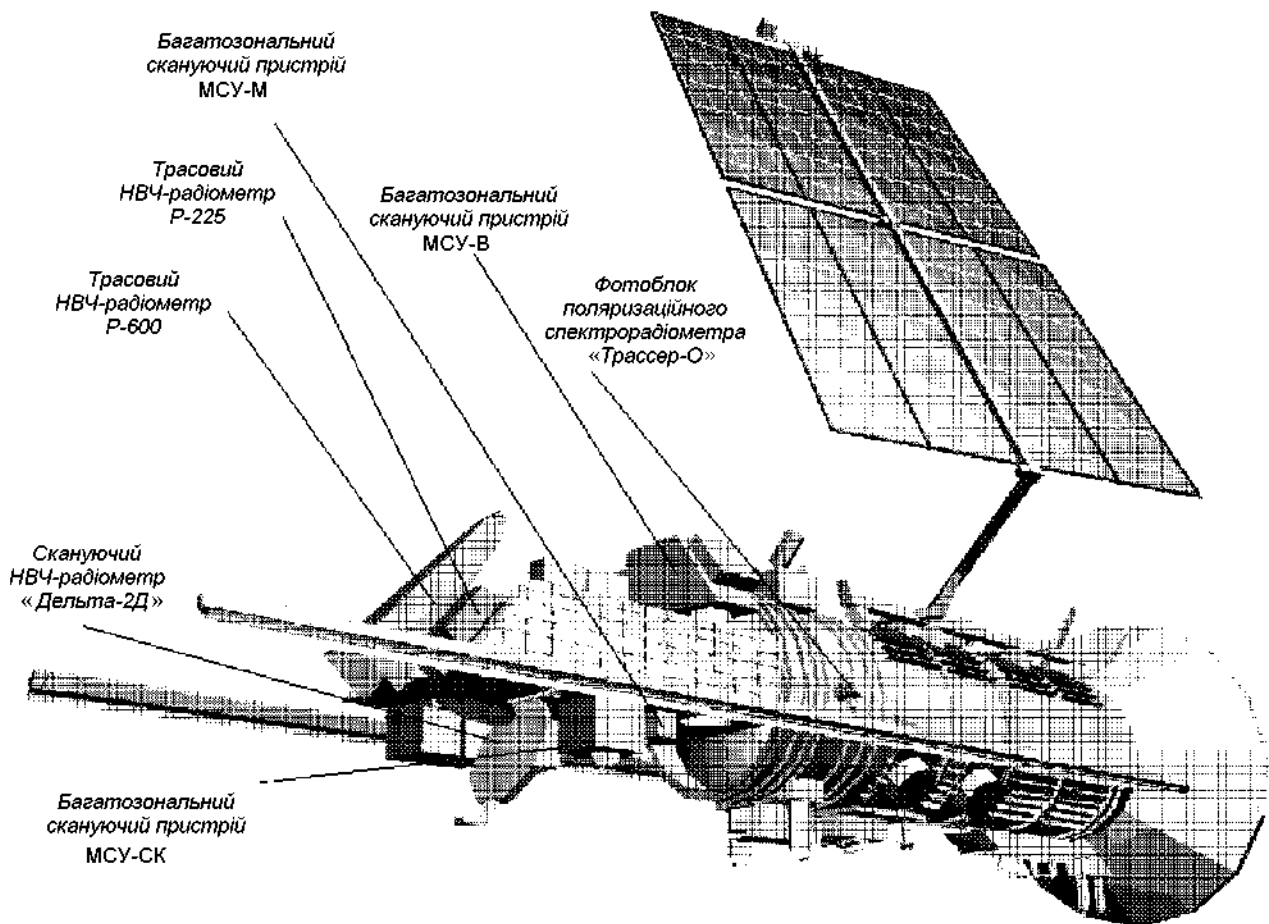


Рис. 7. Загальний вигляд космічного апарата «Океан-О»

5) багатозональний скануючий пристрій високої роздільної здатності МСУ-В,

6) багатозональний скануючий пристрій середньої роздільної здатності МСУ-СК (2 комплекти),

7) поляризаційний спектрорадіометр «Трассер-О»;

— радіотелевізійний комплекс (РТВК):

1) багатозональний скануючий пристрій малої роздільної здатності МСУ-М (2 комплекти),

2) апаратура оперативної передачі даних.

Передавання інформації від бортового радіофізичного та радіотелевізійного комплексів на наземні приймальні пункти буде проводитись за допомогою інформаційної системи БИСУ-П в діапазоні 8—8.4 ГГц. Крім того передбачена можливість передачі інформації від бортового радіотелевізійного комплексу в діапазоні 137 МГц.

Основні характеристики вимірювальної апаратури КА «Океан-О» приведені в табл. 9. Видно, що спектр вирішуваних задач ДЗЗ значно розширю-

ється (в основному за рахунок використання даних скануючих пристроїв високого та середнього розрізнення МСУ-В та МСУ-СК).

Роботи, що виконуються за розділом ЗНКУ «Дистанційне зондування Землі» отримали також міжнародне визнання. Останні два роки діяльність комітету CEOS спрямована на розробку стратегії інтегрованого глобального спостереження Землі. Метою такої стратегії є вирішення проблем людства, пов'язаних із глобальними змінами, і базується вона на тісній міжнародній взаємодії та використанні діючих і створюваних систем спостереження Землі різного рівня. Для координації зусиль у розробці стратегії інтегрованого глобального спостереження у 1997 р. видано щорічний бюлетень CEOS [10] під назвою «Towards an Integrated Global Observing Strategy» («В напрямку до стратегії інтегрованого глобального спостереження») повністю присвячено цій проблемі. Матеріали з розділу ДЗЗ космічної програми України, надані

Таблиця 9. Основні характеристики бортової апаратури КА «Океан-О»

Найменування	Смуга огляду, км	Кільк. каналів	Робоча довжина хвилі (частота)	Роздільна здатність
Радіолокатор бокового огляду (РЛС БО)	450	1	3.2 см	2.5 × 1.3 км
Трасовий НВЧ-радіометр Р-225	130	1	2.25 см	130 × 130 км
Трасовий НВЧ-радіометр Р-600	130	1	6 см	130 × 130 км
Багатоканальний скануючий радіочастотний радіометр «Дельта-2Д»	800	4	0.8 см 1.35 см 2.2 см 4.5 см	20—100 км
Багатоканальний скануючий пристрій високого розділення МСУ-В	180—200	8	0.42—0.52 мкм	50 м
			0.52—0.62 мкм	50 м
			0.62—0.74 мкм	50 м
			0.76—0.90 мкм	50 м
			0.90—1.10 мкм	50 м
			1.55—1.75 мкм	100 м
			2.10—2.35 мкм	275 м
Багатоканальний скануючий пристрій середнього розділення МСУ-СК	600	5	0.5—0.6 мкм	160 м
			0.6—0.7 мкм	160 м
			0.7—0.8 мкм	160 м
			0.8—1.1 мкм	160 м
			10.3—12.6 мкм	600 м
Поляризаційний спектро-радіометр «Трассер-О»		62	0.427—0.809 мкм	0.2 нм
Радіотелевізійний комплекс РТВК: Багатозональний скануючий пристрій малого розділення МСУ-М	1900	4	0.46—0.61 мкм 0.54—0.73 мкм 0.66—0.89 мкм 0.76—1.10 мкм	1—1.7 км
Апаратура оперативної передачі даних			137 МГц	
Уніфікована бортова інформаційна система БІСУ-П			8—8.4 ГГц	

НКАУ, увійшли складовою частиною до бюлетеня. Особливо слід відзначити, що експерти, які формували бюлетень, включили КА «Січ-1», «Океан-О», «Січ-1М» в усі категорії вирішуваних задач. А саме, дослідження атмосфери — 4 задачі (всього 10), земної поверхні — 2 (6), океану — 4 (6), льодових та снігових покривів — 3 (3). Це визнання найавторитетнішим міжнародним комітетом важливості українських супутників в складі інтегрованої системи глобального спостереження повинно розставити останні крапки над «і» у питаннях щодо доцільності створення та експлуатації КС «Січ». При цьому також слід звернути увагу на те, що в основу системи глобального спостереження Землі закладено принцип, за яким будь-які дані краще, ніж їх відсутність. Тобто дані високого та малого просторового розрізнення самі по собі не є «хороші» чи «погані», а являються тільки відповідним матеріалом для оптимального використання при вирішенні адекватних тематичних задач. Саме ця теза найкраще підходить і як відповідь для тих, хто постійно загострює питання відносно характеристик приладів КА «Січ-1».

Створення та розвиток космічної системи спостереження Землі «Січ» НКАУ здійснює з урахуванням значного науково-методичного досвіду в галузі ДЗЗ, що є, перш за все, в Центрі аерокосмічних досліджень Землі НАНУ (ЦАКДЗ), м. Київ; Морському гідрофізичному інституті НАНУ (МГІ), м. Севастополь; Центрі радіофізичного зондування Землі ім. А. І. Калмикова НАНУ та НКАУ (ЦРЗЗ), м. Харків.

ЦРЗЗ створений в 1994 р. спільно НКАУ та НАНУ на базі Інституту радіоелектроніки НАНУ. Таким же чином в 1996 р. створено Інститут космічних досліджень НАНУ та НКАУ, в структурі якого є відділ системного аналізу проблем дистанційного зондування Землі. Роботи, що виконуються цими закладами згідно з ЗНКПУ, направлені на формування вимог та напрямів розвитку і модернізації космічного та наземного сегментів, розробку та виконання науково-прикладних програм використання аерокосмічних даних, міжнародне науково-технічне співробітництво з ДЗЗ.

Наземний сегмент космічної системи спостереження Землі «Січ» складається з Центру прийому,

попередньої обробки та архівації даних, який функціонує на базі Державного науково-виробничого підприємства «Обрій», розташованого неподалік Чернігова, та центру обробки і розповсюдження даних, функції якого виконує Державний науково-виробничий центр «Природа» в м. Вишгороді Київської області. Зазначені центри, а також центр планування і координації НВП «Орбіта» (Дніпропетровськ), є складовими частинами наземного спецкомплексу (НСК) і забезпечують:

- взаємодію зі споживачами аерокосмічних даних;
- формування плану роботи бортового інформаційного спецкомплексу і взаємодію з центром управління польотом;
- прийом, обробку і зберігання аерокосмічних даних;
- інформування споживачів про наявні аерокосмічні дані та потенційні можливості їх отримання;
- визначення організаційно-правової та цінової політики забезпечення споживачів аерокосмічними даними;
- сприяння розширенню тематичного використання аерокосмічних даних;
- міжнародне співробітництво та інтегрування з зарубіжними системами ДЗЗ.

Крім центрів ДЗЗ, що є складовими частинами НСК системи «Січ», НКАУ сприяє створенню галузевих, міжгалузевих та регіональних центрів обробки і тематичного аналізу аерокосмічних даних, що діють згідно з державними програмами, положеннями про системи моніторингу навколишнього природного середовища, раціонального природокористування, контролю кризових ситуацій, а також забезпечує їх аерокосмічними даними.

За підтримкою НКАУ в 1996 р. у Луцьку створено Державний Поліський регіональний науково-виробничий центр екологічного та аерокосмічного моніторингу (ДНВЦ «Полісся»). Засновниками ДНВЦ «Полісся», крім НКАУ, є Міністерство охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки, Державний комітет по гідрометеорології та Волинська обласна державна адміністрація. Зона діяльності цього центру охоплює регіон українського Полісся. В рамках виконання ЗНКПУ 1998—2002 рр. планується поширення цього досвіду на інші регіони України. Треба сказати, що на даному етапі розвитку держави при створенні подібних центрів більш важливе значення мають не організаційно-технічні і науково-методичні питання використання аерокосмічних даних, а фінансове забезпечення та якісне підвищення ефективності їх роботи. Результати обробки та тематичної інтер-

претації даних ДЗЗ, що виконані в ЦАКДЗ, МГІ, ЦРЗЗ [2, 7] дозволяють зробити висновок, що дані, які уже надходять і будуть отримуватися в перспективі за допомогою КС ДЗЗ «Січ», дають можливість вирішувати широке коло задач, актуальних для нашої держави та всього людства.

ВИСНОВКИ

1. Космічна система спостереження Землі «Січ» має всі необхідні передумови, щоб бути реально інтегрованою в стратегію глобального спостереження Землі.

2. З метою найбільш ефективного використання коштів, що виділяються державою на космічну діяльність в Україні, доцільно розвивати ті напрямки, де можна досягти світового рівня в наступні 3—5 років. Це передусім відноситься до створення:

- КА серії «Січ» з більш досконалішими параметрами бортової апаратури шляхом модернізації відпрацьованих систем і вузлів;
- космічних апаратів для міні- та мікросупутників ДЗЗ з терміном активного існування на низькій навколосезонній орбіті 5—7 років;
- авіаційного комплексу для відпрацювання засобів ДЗЗ, а також оперативного та комерційного використання.

3. Розповсюдження та використання даних ДЗЗ в Україні повинно базуватися на принципах:

- запровадження міжнародних стандартів на формати та каталоги;
- формування кола споживачів на відомчо-територіальній основі;
- методичного забезпечення вирішення тематичних задач;
- поступового переходу до забезпечення користувачів даними на комерційній основі.

1. Артоболевский И. И. Политехнический словарь. — М.: Изд-во Сов. энцикл., 1976.—608 с.
2. Досвід використання інформації космічної системи спостереження Землі «Січ-1» (Розробка ЦРЗЗ ім. А. І. Калмикова за сприяння МГІ НАНУ; рекламний буклет).
3. Космічна система спостереження Землі «Січ» (І етап). — Київ: ДНВЦ «Природа», 1995.—(Рекламний буклет; НКАУ).
4. Моисеенко А. Е. Современное состояние и перспективы использования средств дистанционного зондирования Земли из космоса в целях изучения природных ресурсов и экологии (по материалам зарубежной печати). Обзорная информация. — М.: ШНИИГАНК, 1995.—104 с.
5. Панов В. А. Справочник конструктора оптико-механических приборов. — Л.: Машиностроение, 1980.—744 с.
6. Прохоров А. М. Физический энциклопедический словарь. — М.: Изд-во Сов. энцикл., 1983.—928 с.
7. Україна з космосу (Атлас дешифрованих знімків території

України з космічних апаратів) / Під ред. В. І. Лялька, О. Д. Федоровського // Додаток до журналу «Космічна наука і технологія».—1997.—3, № 3/4.—37 с.

8. Committee on Earth Observation Satellites (1993 CEOS Dossier). Volume A: Satellite Missions, Volume B: Space Agency Ground Segment and Data Products, Volume C: The Relevance of Satellite Missions to Global Environmental Programmes.
9. Committee on Earth Observation Satellites: Coordination for the next decade (1995 CEOS yearbook).
10. Committee on Earth Observation Satellites: Towards an Integrated Global Observing Strategy (1997 CEOS yearbook).

THE PRESENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF THE REMOTE SENSING OF THE EARTH

V. P. Zubko, P. Ya. Is'kov, I. Ya. Podoliukh, Ya. I. Stefanyshyn

We discuss some general problems in the remote sensing of the Earth — a major present-day space technology. Various space systems, operational at present as well as scheduled to be launched, designed for obtaining information about the Earth in different spectral regions are reviewed. Main features of the Sich space system for Earth observation are given, and ways for the system development are proposed.