

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Головна геофізична обсерваторія імені О.І. Воєйкова  
Комісія з екології науково-методичної ради МОНУ

*Навчально-наукова серія  
«Бібліотека еколога»*

**А. Н. Некос, Г. Г. Щукін, В. Ю. Некос**

## **Дистанційні методи досліджень в екології**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для студентів екологічних  
спеціальностей вищих навчальних закладів*

# Харків – 2007

УДК 504:627.728(072.8)

ББК 28.080 я7

Н 47

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як  
навчальний посібник для студентів екологічних  
спеціальностей вищих навчальних закладів  
(Лист № 14 / 18-Г-1/7)*

**Рецензенти:** д-р с. г. наук, професор кафедри ґрунтознавства Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва Булигін С. Ю.; канд. геогр. наук, доцент кафедри геоєкології Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського Личак О. І.; доктор фіз.-мат. наук, професор, зав. кафедри експериментальної фізики атмосфери Російського Державного гідрометеорологічного Університету (м. Санкт-Петербург, Росія) Кузнецов А. Д.

<b>Науково-консультативна редакційна колегія навчально-наукової серії «Бібліотека еколога»</b>	Балюк С.А., д.с.-г.н.;	Сафранов Т.А., д.г.-м.н.;
	Дорогунцов С.І., д.е.н.	Степаненко С.М., д.ф.-м.н.;
	Крайнюкова А.М., д.б.н.;	Степко М.Ф., к.ф.-м.н.;
	Левківський К.М., к.іст.н.;	Тимошенко Н.І.;
	Некос В.Ю., д.г.н.	Шевчук В.Я., д.е.н.
<b>Редакційна колегія навчально-наукової Серії «Бібліотека еколога»</b>	Бондар О.І. проф.;	Панасенко А.І. проф.;
	Баскакова Л.В. (секретар);	Сафранов Т.А. проф. (відповідальний редактор);
	Данилишин Б.М. проф.;	
	Кисельов М.М. проф.;	Степаненко С.М. проф. (співголова);
	Клименко М.О. проф.;	
	Макаренко Н.А. проф.;	Соколов Ю.М. проф.
	Некос В.Ю. проф. (співголова)	

**Некос А. Н., Щукін Г. Г., Некос В. Ю**  
**Н 47** Дистанційні методи досліджень в екології: Навчальний посібник. – Х.:  
Х НУ імені В.Н. Каразіна, 2007. - 372 с.

**ISBN 966-623-349-5**

У навчальному посібнику представлені сучасні методи і основні напрямки дистанційних досліджень в екології. Автори мали за мету створення цілісного уявлення про весь комплекс технологій дистанційних досліджень екологічних проблем компонентів довкілля. Особливо висвітлені проблеми забруднення довкілля внаслідок експлуатації космічної техніки.

Навчальний посібник може бути корисним для студентів, аспірантів, що вивчають екологію та спеціалістів, що працюють у різних галузях науки.



УДК 504:627.728(072.8)


ББК 28.080 я7

**ISBN 966-623-349-5**

© Харківський національний університет  
імені В.Н. Каразіна, 2007  
© Некос А.Н., Щукін Г.Г., Некос В.Ю., 2007  
© Дончик І. М., Воробйова О.Я., макет обкладинки, 2007

## **ЗМІСТ**

<b>ВСТУП</b>	5
 <b>Модуль 1</b> Застосування різних видів аерокосмічної зйомки у екологічних дослідженнях	9
<b>Програмні матеріали до модуля 1</b>	9
<b>Навчальні матеріали до модуля 1</b>	13
1.1 Аерокосмічне зондування – історичний огляд.	13
1.2 Отримання екологічної інформації за допомогою космічних знімків	54
1.3 Застосування аерокосмічних знімків з метою екологічних досліджень	59
1.4 Види аерокосмічної зйомки	69
1.4.1 Технічні засоби аерокосмічної зйомки	75
1.4.2 Фізичні основи аерокосмічної зйомки	91
1.4.3 Фотографічна зйомка	99
1.4.4 Цифрова зйомка	101
1.4.5 Телевізійна зйомка	103
1.4.6 Інфрачервона зйомка	107
1.4.7 Радіотеплова зйомка	116
1.4.8 Спектротрична зйомка	118
1.4.9 Багатозональна зйомка	120
1.4.10 Радарна зйомка	123
1.4.11 Голографічна зйомка	128
1.4.12 Основні принципи лазерного зондування	132
1.4.13 Дистанційні гамма-спектральні виміри	134
1.4.14 Сканерна зйомка	137
<i>Контроль-колоквиум з модуля 1</i>	140
<i>Тест-контроль з модуля 1</i>	142
 <b>Модуль 2</b> Застосування дистанційного зондування для вирішення екологічних проблем	146
<b>Програмні матеріали з модуля 2</b>	146
<b>Навчальні матеріали до модуля 2</b>	150
2.1 Дистанційні методи вивчення забруднень атмосфери	150
2.2 Дистанційні методи вивчення забруднення вод світового океану	169
2.3 Дистанційні методи вивчення ґрунтового покриву	189
2.4 Аерокосмічні дослідження агроландшафтів	212
2.5 Застосування дистанційних методів при вивченні лісів	215
2.6 Аерокосмічний моніторинг динаміки екосистем	249

2.7 Аерокосмічний моніторинг тваринного світу	265
2.8 Моніторинг природних стихійних явищ за допомогою дистанційних досліджень	267
2.9 Дистанційні методи вивчення екологічних проблем урбанізованих територій	280
<b>Контроль-колоквіум з модуля 2</b>	299
<b>Тест-контроль з модуля 2</b>	301
 <b>Модуль 3 Використання геоінформаційних систем для обробки та дешифрування аерокосмічної інформації</b>	305
<b>Програмні матеріали з модуля 3</b>	305
<b>Навчальні матеріали до модуля 3</b>	308
3.1 Сучасні геоінформаційні системи	308
3.2 Основи дешифрування знімків	316
3.3 Еталонування зображень антропогенних утворень та їх комплексів на космічних знімках	329
3.4 Картографічне зображення стану компонентів довкілля за матеріалами аерокосмічної зйомки	331
3.5 Антропогенне забруднення довкілля в результаті експлуатації космічної техніки	338
<b>Контроль-колоквіум з модуля 3</b>	349
<b>Тест-контроль з модуля 3</b>	350
<b>Підсумковий контроль-колоквіум</b>	353
<b>Підсумковий тест-контроль</b>	355
<b>СПИСОК СКОРОЧЕНЬ</b>	360
<b>ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК</b>	361
<b>ЛІТЕРАТУРА</b>	363

## ВСТУП

У зв'язку з загостренням регіональних і глобальних екологічних проблем виникла необхідність інформаційного забезпечення сучасних екологічних програм, основна увага в яких приділяється можливостям вивчення антропогенного впливу на природне середовище за допомогою аерокосмічних знімків. На них своєрідно відображаються промисловий, транспортний, меліоративний, сільськогосподарський, рекреаційний вплив, різноманітні несприятливі зміни природного середовища, пов'язані з діяльністю людини.

Як найбільш яскраві приклади, можна виділити чітке відображення на аерокосмічних знімках видів еродованих ґрунтів, форм водної та вітрової ерозії, стан пасовищ, порушення лісової рослинності – вирубок, згарищ, лісових пожеж; розораність ґрунтів, наслідки розробки кар'єрів і гірських виробіток, забудованість території. З'являються на аерокосмічних знімках і форми сприятливого впливу людини на природне середовище, його діяльність, спрямована на відновлення втрачених природних багатств або покращення несприятливих умов. Добре видно лісо-смуги, зрошувальні системи, застосування таких засобів антропогенного впливу, як протиерозійні заходи, насаджування деревинно-чагарникової рослинності на схилах ярів, наслідки сіво-змін тощо.

Дистанційним зондуванням Землі називають процес отримання даних про об'єкт зондування на відстані безбезпосереднього контакту з ним з метою вивчення його (фізичного, геологічного, біологічного та іншого) стану. Дані про об'єкт зондування отримують з використанням властивостей електромагнітних хвиль, які випромінюються, відбиваються, поглинаються чи розсіюються об'єктами зондування.

Застосування дистанційних методів дає можливість спостереження за змінами природних умов великих регіонів, екологічних лих і катастроф. Деякі наслідки антропогенного впливу, що мають глобальний характер, наприклад, скорочення площі тропічних лісів, опустелювання багатьох регіонів потребують особ-

ливої уваги. В останні десятиріччя до них відносять африканські савани, зони Сахеля й аридні регіони Середньої Азії.

У зв'язку з забрудненням стоку р.Сирдар'ї значно знизився рівень ґрунтових вод, що, як підтверджують аерокосмічні знімки різних років, призводить до опустелювання території. Плями опустелювання в Кизил-Кумах з'являються також через надмірне навантаження на пасовища, знищення рослинності на паливо. У результаті розвиваються процеси дефляції і барханні масиви. З космічних знімків визначаються межі рухомих пісків, ареали перевипасу худоби, площі солончаків, такирів, контури локальних оазисів, забруднення водних акваторій нафтовими плівками тощо.

Завдяки чіткій фіксації особливостей екологічного стану до-вкілля аерокосмічні знімки можуть виконувати ревізійну роль. Для такого використання знімків істотне значення має створення системи еталонів зображення різних видів антропогенного впливу на довкілля. Так були зроблені космічні знімки на території радіаційного забруднення у районі Чорнобильської АЕС, а потім складено карти радіаційного забруднення регіону.

У системі комплексного картографування природних ресурсів передбачається картографічне вивчення їх антропогенної динаміки, для чого використовуються карти, що складаються за знімками, карти ландшафтів, сучасного використання ґрунтів і, створені в результаті їх аналізу, карти антропогенно змінених ландшафтів чи оцінки антропогенного впливу на ландшафт. За знімками виявляються природні або антропогенні процеси, що визначають напрям чи характер змін природних ресурсів, реструктуруються також зміни за певний проміжок часу, виявляються тенденції їх подальшого розвитку при існуючому характері впливу.

Особливості антропогенного впливу і природних умов у різних регіонах проявляються в специфіці малюнка зображення на аерокосмічних знімках. Це є добрим підґрунтям для класифікації ландшафтів, змінених людиною. За знімками вдається дослідити низку катастрофічних явищ, викликаних антропогенним впливом. До них належать, наприклад, піщані бурі. При оцінюванні значення аерокосмічних знімків для охорони лісів від пожеж слід знати, що лісові пожежі надійно дешифруються за димовими шлейфами.

Поряд із вагомими практичними дистанційними дослідженнями антропогенного впливу на природне середовище розвивається і теоретична база – вчення про антропосферу як середовище існування людини, що може бути об'єктом аерокосмічного екологічного моніторингу. Аерокосмічні знімки забезпечують можливість стеження, наприклад, за динамікою атмосфери і прогнозування негативних явищ.

Вочевидь, різноманітні форми антропогенного впливу на довкілля займають значну частину площі Земної кулі. З кожним роком площі антропогенних ландшафтів зростають швидше, а антропогенний вплив на довкілля підсилюється. У зв'язку з цим можна припускати, що в найближчому майбутньому аерокосмічний екологічний моніторинг довкілля стане найбільш розвинутою частиною прикладних дистанційних досліджень, навіть більш важливою і актуальною, ніж вивчення природних ресурсів.

Проблемам використання аерокосмічної інформації з метою вивчення екологічних проблем присвячено багато наукових праць. Так, питанням дистанційних досліджень в екології приділялась велика увага ще у виданнях 80-х років ХХст. (Андронніков, 1979; Виноградов Б.Г., 1981, Baibey, Hogg, 1986; Roller, Colwell, 1986, Waring et al, 1986). Пізніше з'явилося поняття «екологічна інформативність космічних знімків» (Востокова О.А, 1990), під яким розуміється та кількість вірогідних даних про довкілля, яку можливо отримати при дешифруванні знімків. Особливістю дистанційних методів досліджень, які підвищують екологічну інформативність космічних знімків, є можливість отримання повторних знімків на одну і ту ж територію через задані проміжки часу, що дозволяє об'єктивно відстежити зміни в екологічній ситуації, їх динаміку та встановити головні її тенденції. У подальшому це надасть можливість прогнозувати майбутні зміни у навколишньому середовищі. Екологічна інформативність космічних знімків та покриття ними усієї поверхні Землі дозволять створити серії екологічних карт на усі райони світу. Такі карти можуть забезпечити вирішення низки глобальних задач, наприклад: управління використанням та охорона природних ресурсів; прийняття прогнозних рішень щодо можливого антропогенного або стихійного лиха, вивчення

антропогенних змін і динаміки у природних системах і т. ін. Така карта у подальшому може використовуватися як базова щодо здійснення космічного картографічного моніторингу біосфери в цілому.

Автори щиро вдячні за допомогу при підготовці рукопису до видання: молодшому науковому співробітнику ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» УААН Дрозд Олені; Гладких Євгенії, Воробйовій Олені, Недоцюку Олегу бакалаврам екології та Новоселову Артему, Іюдіній Тетяні, Глушко Ользі магістрам екології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна.



## МОДУЛЬ 1

### *ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ АЕРОКОСМІЧНОЇ ЗЙОМКИ У ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ*

#### Програмні матеріали до модуля 1

Сучасні дистанційні методи досліджень навколишнього середовища міцно увійшли у наукову літературу, як вивчення об'єктів, процесів, явищ, що здійснюється на відстані вимірювальними приладами, які не мають безпосереднього контакту з об'єктом дослідження. Ведуче місце тут займає аерокосмічне зондування, яке здійснюється з космічних апаратів, ракет, літаків, гелікоптерів спеціальною знімальною апаратурою. За значний період розвитку дистанційних методів досліджень змінювалися методи, удосконалювалася знімальна апаратура, з'являлися нові носії, засоби реєстрації випромінювання, розширювався спектральний діапазон зйомок. Людина крок за кроком удосконалювала методи фіксації того, що її оточувало.

У процесі взаємного розвитку людської спільноти та природи її корінний початковий вигляд почав змінюватись. Це викликало занепокоєння та дало початок пошуку засобів за допомогою яких можливо контролювати та відстежувати зміни навколишнього природного середовища.

Аерокосмічне зондування змінених територій виявилось найальтернативнішим засобом для встановлення усіх антропогенних змін навколишнього середовища. Вирішення багатьох екологічних задач стало неможливим без використання аерокосмічних методів, які допомагають забезпечити об'єктивність інформації, широту охоплення і оперативність надходження. Створення космічної системи дослідження екологічних компонентів навколишнього середовища дозволяє забезпечити моні-

торинг стану навколишнього середовища і прогнозувати зміни його якостей.

### **▲ Нормативні навчальні елементи з МОДУЛЯ 1:**

1. Знімки
2. Рисовані зображення
3. Фотознімки
4. Супутникові системи позиціювання GPS
5. Супутникові системи позиціювання ГЛОНАСС
6. Інфрачервона зйомка
7. Багатозональна зйомка
8. Кольорова фотографічна зйомка
9. Телевізійна зйомка
10. Фотографічна зйомка
11. Фотоелектронна зйомка
12. Геофізична зйомка
13. Фототелевізійний метод зйомки
14. Радіотеплова зйомка
15. Спектрометрична зйомка
16. Багатозональна зйомка
17. Сканерна зйомка
18. Лазерне зондування
19. Візуальні дослідження
20. Активні методи зйомки
21. Пасивні методи зйомки
22. Коефіцієнт спектральної яскравості
23. Планова зйомка
24. Перспективна зйомка
25. Планово-перспективна зйомка
26. Панорамна зйомка
27. Геостационарні супутники
28. Геліостационарні супутники (сонячносинхронні)
29. Орбіти супутників (екваторіальні, полярні орбіти, похилі орбіти (прямі та зворотні), квазіперіодичні орбіти)
30. «Вікна прозорості» атмосфери
31. Екологічна інформативність космічних знімків

**▲ Додаткові нормативні навчальні елементи до  
МОДУЛЯ 1:**

1. Стереоскоп
2. Стереоскопатор
3. Кольорокодування зображення
4. Технічні засоби аерокосмічної зйомки
5. Носії знімальної апаратури
6. Авіаційні носії
7. Космічні носії
8. Дослідницькі штучні супутники землі
9. «Блакитний» шлейф
10. Службова обробка космічних знімків
11. Просторова прив'язка
12. Радіаційна корекція
13. Тематична інтерпретація
14. Оптична генералізація

***Література***

***для вивчення модулю та підготовки до колоквиуму***

- *Буров М. И., Краснопецев Б. В., Михайлов А. П.* Практикум по фотограмметрии. Учеб. пособие для вузов. – М.: Недра, 1987. – 302 с.
- *Виноградов Б. Г.* Космические методы изучения природной среды. – М.: Мысль, 1976. – 273 с.
- *Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС/ Под ред. В. Н. Харисова, А. И. Перова, В. А. Болдина.* – М.: ИПРЖ, 1998.
- *Измерение атмосферного озона ультрафиолетовым лидаром / В. П. Гусаров, А. К. Комтко, А.П. Прохоров, Н. Д. Смирнов.* – Томск: Риа, 1980. – С. 82-93.

- *Израэль Ю. А.* Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 196 с.
- *Книжников Ю. Ф.* Основы аэрокосмических методов географических исследований. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. – 137 с.
- *Лурье И. К., Косиков А. Г.* Теория и практика цифровой обработки изображений /Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Под ред. А. М. Берлянта. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.
- *Красовський Г. Я., Петросов В. А.* Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст. – Київ: Наукова думка, 2003. – 224 с.
- *Ляткин И. А.* Спутниковые навигационные системы. – М.: Вузовская книга, 2001.
- *Мактериалы* 1-й международной конференции «Земля из космоса – наиболее эффективные решения», Москва, 26-28 ноября 2003 г. – М.: Изд. «Бином», 2003. – С. 21 – 22.
- *Основи екологічної безпеки – військовий словник./* С. В. Мінка, І. І Попов, А.З. Гризунов та ін. – Х.: ХВУ, 2001. – 298 с.
- *Попов М. О.* Шляхи отримання космічної інформації в інтересах національної безпеки та оборони. // Наука і оборона, 2002. – №2 – С. 38 – 50.
- *Лысак А. В.* Проблема дальнего переноса загрязнителей // Журн. хим. общество им. Д. И. Менделеева, 1979. - №1.
- *Салищев И.Н.* Исследования природной среды космическими средствами. Методы космической фотосъемки. – М.: Изд-во АН СССР, 1975. – 225с.
- *Сердюков В. М., Патыченко Г. А., Синельникове Д. А.* Аэрокосмические методы географических исследований. – К.: Вища шк. Главное изд-во, 1987. – 223 с.
- *Синельников Д. А., Сердюков В. М., Патыченко Г. А.* Аэрокосмические методы изучения окружающей среды. – К.: Вища школа, 1988. – 134 с.

- *Словник з дистанційного зондування Землі // За ред. члена-кор. НАН України В. І. Лялько та д.т.н. М.О. Попова. – К.: СМП «Аверс», 2004. – 170 с.*

## **Навчальні матеріали до модуля 1**

### **1.1 АЕРОКОСМІЧНЕ ЗОНДУВАННЯ –**

#### **ІСТОРИЧНИЙ ОГЛЯД**

Теоретичне і практичне становлення дисципліни має довгу історію. За більше ніж двохсотрічний період її розвитку змінювалися засоби реєстрації випромінювання, розширювався спектральний діапазон зйомок, удосконалювалася знімальна апаратура, з'явилися нові носії апаратури.

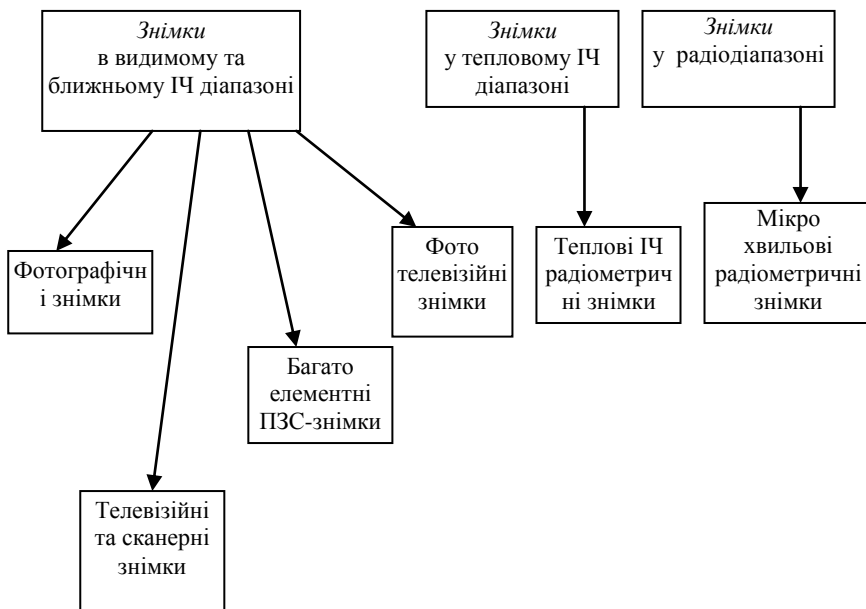
У аерокосмічному зондуванні основним джерелом інформації є **знімок**.

**Знімок** – зображення об'єктів, яке одержується в результаті дистанційної реєстрації їх власного або відбитого випромінювання і призначається для виміру і дешифрування. Знімки одержують в результаті зйомок з літаків та космічних апаратів.

При роботі зі знімками, як матеріалами для тематичного картографування, доцільно використовувати комплексну класифікацію. За основу сучасної класифікації знімків прийнято спектральний діапазон зйомки – що визначає сутність наданих знімкам характеристик об'єктів (рис.1) [54].

Сучасна різноманітність знімків з'явилася не відразу, в історії їх розвитку можна виділити 4 великих етапа – **період рисованих зображень, фотографічних, електронних та цифрових знімків**.

**Рисовані зображення.** Цей період (передісторія) почався у XVIII столітті, хоча елементи рисованих знімків можна бачити і на більш давніх зображеннях (рис.2).



**Рисунок 1 - Схема комплексної багатоступеневої класифікації космічних знімків**

Такі найдавніші географічні засоби передавання просторової інформації, як рисунок, креслення, картографічний план не завжди використовувалися окремо.



## Рисунок 2 - Рисовані зображення

Такі найдавніші географічні засоби передавання просторової інформації, як рисунок, креслення, картографічний план не завжди використовувалися окремо. На рисунку з зображенням фараона Осаріса, складеному 3,5 тисяч років тому, фігури показані в ортогональній проекції на вертикальну площину, але в найбільш інформативних для різних частин тіла ракурсах, а планове окреслення штучного водоймища, означено простим виразним умовним знаком – на горизонтальну. Зображення дерев і виноградної лози дане в проекції, що нагадує центральну. Якщо скористатися цим найдавнішим засобом при монтажуванні великомасштабних аерофотознімків гірської долини: взяти планові знімки для днищ долин, а перспективні для її бортів, то фотосхема вийде найбільш інформативною для географічного аналізу. Давньоєгипетські графічні джерела заслуговують на детальне їх вивчення картографами.

Задача складалася у дистанційному визначенні розмірів і просторового положення об'єкта за його мальованим зображенням в центральній проекції, які одержували за допомогою камери-обскури з підвищених місць, а також з судна (М.В. Ломоносов, 1764, Б. Бопре, 1791). Науковою складовою цих топографічних **оптикографічних робіт** була теорія вимірюваної перспективи (І. Момберт, 1759). Дослідник отримував знімки-малюнки (які деякі автори називають пара-картами), графічно фіксуючи оптичне зображення. При цьому відповідно до поставленого завдання вже при зйомці проводився відбір і узагальнення деталей зображення.

**Фотографічні знімки.** Найбільш ефективною зйомкою є **фотографічна**. Вона ґрунтується на реєстрації відбитого і власного електромагнітного випромінювання Землі в видимій та найближчих невидимих ультрафіолетовій та інфрачервоній зонах. Фотографічна зйомка найуніверсальніший метод відносно об'єму одержуваної інформації, широти її застосування в народному господарстві і наукових дослідженнях, пов'язаних із вивченням і використанням природних ресурсів.

Так, наприклад, у Росії в різних фондах міститься велика кількість фотографічних космічних знімків високого дозволу,

що отримані з Російських штучних супутників землі (ШСЗ). Сканування цих знімків виконують ГЦ ПРИРОДА, СОВІНФОРМСУПУТНИК та ін. організація. Характеристики різних знімків з вказаним типом фотокамери та супутника наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Характеристики фотографічних знімків з російських ШСЗ**

Камера	МК - 4	КАТЕ - 200	КФА - 100	КФА - 3000
Супутник	Ресурс – Ф2	Ресурс – Ф1	Ресурс – Ф1	Ресурс – Ф1
Висота зйомки	270 км	270 км	270 км	270 км
Кількість кадрів	2500	2500	3600	3600
Розмір негативу	18×18 см	18×18 см	30×30 см	30×30 см
Дозвіл	8 – 10 м	20 м	5 м	2-3 м
Роки зйомки	1988-1995	1974-1993	1974-1993	1978-1993
Перекриття	60 %	60 %	60 %	30 %
Зони, мкм	0,515-0,565 0,580-0,800 0,635-0,690 0,810-0,900	0,480-0,600 0,600-0,700 0,700-0,850	0,57-0,81 спектрозон.	Панхром.
Площа охоплення	30000 км <sup>2</sup>	50000 км <sup>2</sup>	6400 км <sup>2</sup>	440 км <sup>2</sup>

**Електронні й цифрові знімки.** Використання для реєстрації випромінювання електронних світлових та теплових приймачів розширило спектральний діапазон зйомки до 12 мкм та до-



зволило застосовувати для отримання зображення сканерний принцип. Стало можливим оперативно передавати з носія на наземні прийомні станції відеоінформацію, яка при візуалізації представляється у вигляді знімка.

Електронні, цифрові та фотографічні знімки вдало доповнюють один одного. Для отримання знімків був освоєний радіодіапазон електромагнітного спектру, почали використовуватись радіолокатори бічного огляду, які встановлювались не лише на літаках, але й на важких космічних апаратах. Для обробки знімків розробляються автоматизовані методи на базі комп'ютерних технологій [72].

## **Історія розвитку дистанційних методів дослідження**

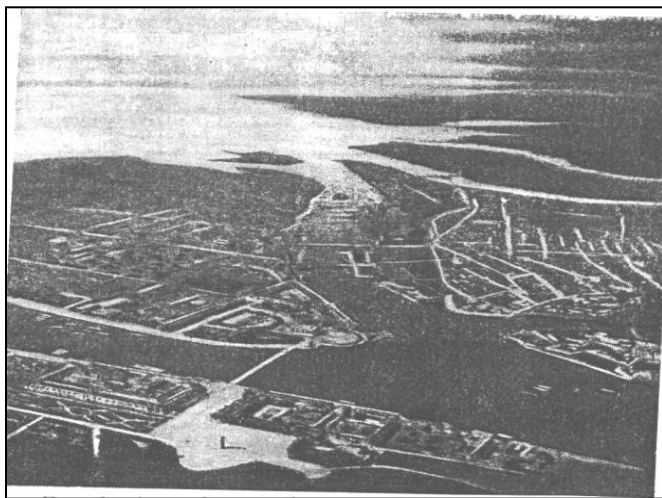
**I етап.** Початок XIX сторіччя. Характеризується розвитком механізованої зйомки. Наприкінці першого етапу Ж. Даггер, Н. Ньєпс і Ф. Талбот винайшли фотографії (світопис), а Ч. Уїттон пояснив механізм зорового сприйняття трьохмірного простору і винайшов **стереоскоп** для розглядання мальованих за визначеними правилами стереопар (1838). Розрахований і виготовлений фотографічний об'єктив, що складається з декількох лінз (Петцваль, 1841). З'являються перші стереоскопічні фотографічні знімки (Дюбоск, 1844; І.Ф. Олександровський, 1852).

**II етап.** Середина XIX ст. – перша чверть XX ст. З'являються військові топографічні загони. У гірських районах виконується **наземна фототеодолітна зйомка**. Починається фотографування місцевості з вишки і повітряних куль, повітряних зміїв.

У другій половині XIX століття використовуються в основному **стереоскопічні малюнки і фотознімки**. Винайдення дагеротипів (Ф. Араго, Ж. Гей-Люсак, 1839) вказало на велику користь фотографії і використання фотознімків для створення карт. У 1859 році Е. Лосседа реалізував засіб фотограмметричних засічок на знімках, який пізніше застосовувався для фотографічних фототеодолітних зйомок гірських районів Європи і Канади ( П. Паганіні, 1878; М. Ф. Віллер, 1891; Р. Гюбль, 1895).

Фотографічна реєстрація оптичного зображення дозволила отримувати практично миттєві знімки, які відрізнялися об'єктивністю, детальністю і точністю. Фотографії місцевості, зроблені з висоти пташиного польоту з повітряних куль, одразу ж отримали високу картографічну оцінку. Француз Г. Ф. Турнашон, широко відомий під псевдонімом Надар, у 1856 р. зробив перші знімки околиць Парижу з повітряної кулі з висоти 80 і 200 м. У 1862 році під час громадянської війни у Північній Америці з повітряної кулі виконані знімки осадженої фортеці Річмонд.

16 травня 1886 року одержані перші повітряні знімки в Росії головою повітряно-плавальної команди воєнного відомства поручиком О. І. Кованько, який здійснив знімання з повітряної кулі, що пролетіла над Петербургом на висоті 600-1400 м



(рис. 3).

**Рисунок 3 - Аерофотознімок Петербурга, зроблений з повітряної кулі 16 травня 1886 року поручиком О. І. Кованько**

Велику роль у розвитку аерофотознімання відіграла Російська технічна спільнота, що володіла власними аеростатами, душою і організатором повітряноплавального відділу, якого був геніальний Д. І. Менделєєв.

У 1783 р. брати Монгольфє винайшли повітряну кулю. Вона була змайстрована з полотна, в діаметрі мала більше 10 м. Демонстрація цієї кулі відбулася 5 липня 1783 р. Куля піднялась на висоту до 500 м. та протрималась в повітрі близько 10 хвилин, пролетівши при цьому 2 км.

**22 грудня 1896 року стався перший в літописах повітроплавання політ повітряної кулі** (рис.4) технічної спільноти з метою визначення кількості електрики в атмосфері. На кулі летіли В. А. Семковський і Е. С. Федоров. Виміри були розпочаті на висоті 700 футів і продовжувалися до найвищої точки, але електрики у повітрі не виявилось.

24 травня 2005 р. вперше в історії повітряплавання повітряна куля досягла Північного полюсу. Рекордний переліт був здійснений екіпажем теплового аеростату «Святая Русь» під командуванням відомого російського мандрівника Валентина Єфремова. На подолання 980 км. від миса Арктичний до полюса в експедиції пішло 38 днів. Під час польоту була реалізована унікальна науково-практична програма, яка допоможе оновити сучасні наукові знання з екології, формування клімату Землі, життєдіяльності людини у екстремальних умовах.



**Рисунок 4 - Політ повітряної кулі**

Наприкінці 90-х років XIX ст. капітан російської армії

С. О. Ульянін продовжив конструкцію повітряного змія для підйому фотоапарата у повітря з метою складання планів місцевості, який неодноразово і з успіхом застосовувався (рис. 5).

У 1886 р. Л. М. Зверинцев виконав повітряні зйомки **першим спеціальним фотоапаратом** В. І. Срезневського. Для складання планів, необхідних при прокладанні залізниць, отримали практичне застосування і перспективні знімки, зроблені **аерофотоапаратом**, встановленим на прив'язаному аеростаті. Це зробив інженер Р. Ю. Тіллі у 1898 р. Він використовував аеростати і змії, сконструював перший у світі багатооб'єктивний **аерофотоапарат** «Панорамограф» – прототип усіх наступних конструкцій, який складався з 7 об'єктів. Один із них мав суворо вертикальну оптичну вісь, а інші розташовувалися навколо цього центрального і мали похилі оптичні вісі. Це забезпечувало велике охоплення території, що знімалася. Р. Ю. Тіллі створив спеціальну аерофотознімальну конструкцію, завдяки якій з'явилася можливість переміщати фотоапаратуру за допомогою повітряної кулі чи змія і отримувати безперервну панораму місцевості.

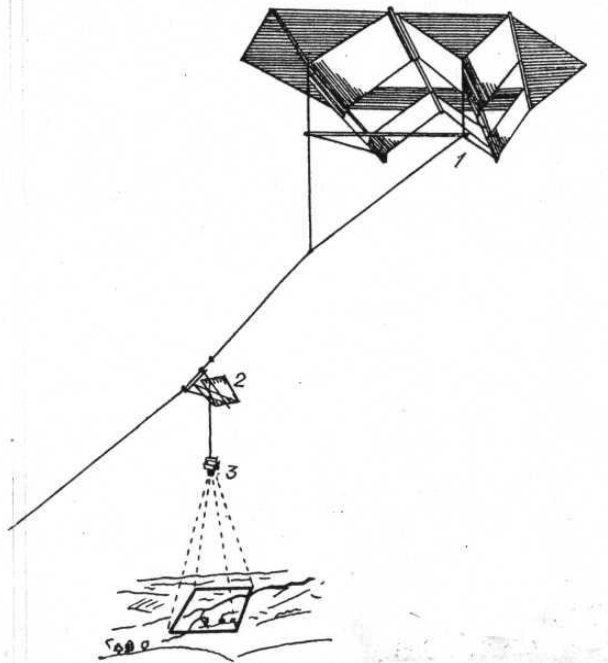
Поряд із розвитком повітряного фотографування розвивалося наземне застосування фотографії для складання планів місцевості. Отримані при цьому перспективні знімки перетворювалися в план відповідно до законів теорії перспективи.

Для стереовимірів пари знімків, отриманих за допомогою фототеодоліта, створено стереокомпаратор, в якому засновано засіб марок (К. Пульфрік, 1901), що використовується і в сучасних стереоприладах.

*На початку ХХ століття процес фотографування земної поверхні з літака почав називатися **аерофотозніманням**.*

У жовтні 1902 року Р. Ю. Тіллі за допомогою прив'язаного аеростату зняв і обробив план річки з закрутами. Він пропонував використовувати аерофотозйомку для знімання річок (для потреб проектування остових переходів) і одержання точних планів річкових заплавл за допомогою зйомки окреслень урізу води при різних висотах рівня. Він також пропонував використовувати аерофотозйомку для рекогносцировки важкодоступних з землі районів.

У 1903 році були опубліковані роботи К. Є. Ціолковського, присвячені теорії космічного польоту, але тільки в середині



40-х років вони стали практично можливими.

**Рисунок 5 - Повітряний змій для піднімання аерофотоапарату**

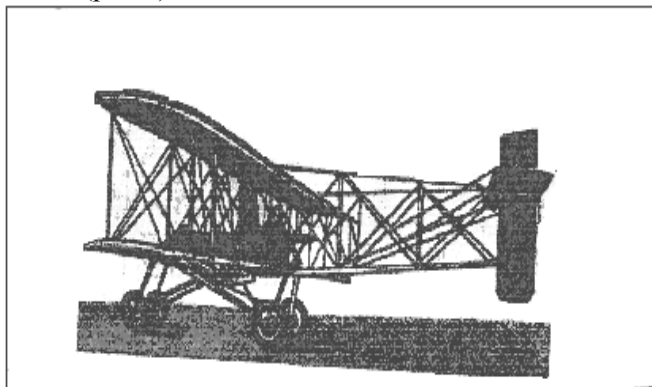
*1 повітряний змій*

*2 парус для піднімання аерофотоапарату по тросу*

*3 аерофотоапарат*

У 1904-1905 роках у період російсько-японської війни робилися спроби застосування аерофотозйомки. Було

сформовано три повітроплавательних батальйони під керівництвом інженера-полковника Найдьонова. До цьог ж часу Ульянов створив телеапарат, що дозволяв проводити зйомку з великих відстаней. В 1908-1909 роках – Р. Ю. Тілле видав тритомну працю «Фотографія в сучасному розвитку». У 1910 році під час маневрів російського флоту уперше було зроблено зйомку з літака (рис.6).



**Рисунок 6 - Літак, з якого були зроблені перші в Росії аерофотознімки (1910р.)**

***У Росії відбувся перший дослідний аерофотознімальний польот.*** У 1908-1914 роках проводяться перші дослідження за допомогою аерофотознімального польоту; розробляються засоби аерофотознімання. З'являються перші аерофотознімальні спеціальні прилади – аерофотоапарати.

Піонерні польоти аеропланів були з успіхом використані для фотографування земної поверхні В. Райтом у 1909 році, В. Ф. Гельгардом і В. Ф. Дибовським у 1910 році. У той же час Г. А. Тихоновим одержані перші спектрзональні фотографії. У російській армії з метою розвідки почали застосовувати повітряні перспективні і планові знімки. Під час Першої світової війни для цього використовувалися оригінальні аерофотоапарати

С. А. Ульяніна для зйомки на фотопластини.

У 1913 р. російський конструктор - полковник В. Потте створив перший у світі **напівавтоматичний аерофотоапарат** з

**роліковою фотоплівкою.** Конструкція аерофотоапарату Потте була настільки вданою, що застосовувалася до 30-х рр. і лише потім була замінена більш досконалою, хоча інколи використовувалася і наприкінці ХХ століття. Було вирішено задачу розв'язання перспективних знімків у планові, а потім і їх фототрансформування (В. Ф. Найденов, 1917). У ті роки використовувався термін «тлумачення» знімків, який потім був замінений терміном «дешифрування».

Немало успішних намагань застосування аерофотозйомки було зроблено в Першу світову війну. Жодна бойова операція не виконувалася без попередньої аерофотозйомки.

У жовтні 1916 р. відбувався перший з'їзд представників аерофотографічних частин російської армії, і з 1917 р. у ній заснована перша спеціальна аерофототопографічна служба. За період Першої світової війни російська авіація зробила більше ніж півтора мільйона аерофотознімків.

Становлення громадської аерофотозйомки у колишньому СРСР відбувалося в 20-ті роки. Організатором геодезичної служби, яка завідувала аерофотозйомкою, був М. Д. Бонч-Бруєвич. Автоматичні аерофотоапарати, надбаний досвід аерофотознімального літакокерування дозволили вкривати аерофотознімками території в тисячі квадратних кілометрів. Однією з перших таких великих робіт була аерофотозйомка Маріїнських лісів з виготовленням з аерофотознімків уточнених фотосхем.

У 1922 р. були виконані перші зйомки щодо вивчення лісових ресурсів, у 1925 р. у колишньому Радянському Союзі почалися експериментальні знімання міст, приміських та сільськогосподарських угідь, загальнотопографічні зйомки у різних масштабах, які заклали основу широкого використання аерофотозйомки з господарською метою.

**III етап.** Середина ХХ століття. Розпочинається виробнича зйомка поверхні Землі з літаків – *період активного аерофотознімання.*

У 1925 році була здійснена перша дослідницька робота «Доброльоту» з аерофотознімання в районі м. Можайська на площі в 400 га. На Україні було створено спільноту «Укрповітрялля», що взяла на себе виконання аерофотознімальних робіт з метою землевлаштування. З'явився перший **стереопланіграф** – склад-

*ний оптичний прилад для складання карт місцевості на підставі одержання стереоскопічного ефекта (об'ємного зображення місцевості, її об'ємної моделі). 1926 рік - з'явилися роботи професора О. С. Скиридова, що дали аналітичне вирішення задачі взаємного орієнтування аерофотознімків.*

Для виконання аерофотозйомки необхідна ясна сонячна погода. Тому спочатку втілюється в картографічне виробництво комбінована зйомка (О. М. Алексапольський, Г. Ф. Гапочко, 1930), при якій за аерофотознімками складалася тільки контурна частина карти, а потім і стереотопографічна зйомка, що передбачала малювання рельєфу за стереопарами аерофотознімків шляхом трасування горизонталей на оригінальному стереоприладі – стереометрі (Ф. В. Дробишев, 1934). Розраховано і виготовлено ширококугільний отоскопічний з достатньою світлосилою аерознімальний об'єктив (М. М. Русинов, 1935). З'являється у 1936-1937 рр. шільовий аерофотоапарат, сконструйований В. І. Семеновим, який дозволяв отримувати суцільну панораму місцевості. Тільки за один 1930 р. у колишньому Радянському Союзі було виконано стільки ж зйомок, скільки за все попереднє п'ятиріччя. Великий обсяг аерознімальних робіт було виконано під час фінської компанії 1939-1940 рр. У період Другої світової війни аерофотозйомка знайшла широке застосування при виконанні різноманітних військових операцій.

Розширюється застосування аерознімків у різних галузях господарства і науки. За ініціативи академіка О. Є. Ферсмана в Академії наук заснована Комісія аерозасобів, організований науково-дослідний інститут і проводиться перша Загальносоюзна нарада з аерофотозйомки (1929). Створюються спеціалізовані підприємства: «Сільгоспаерознімання» (1931), «Аерогеологія» (1946), ВНІЦ «Лісресурс» (1947).

Отримують розвиток спектрометричні дослідження (Е. Л. Крінов, 1947). Забезпечується виробницьке застосування кольорових і спектрзональних аерофотознімків. З'явилися перші **багатозональні аерофотознімки** (І. Р. Заїтов, 1962). Розвивається тематичне дешифрування. Одержано стратосферний фотознімок (О. Б. Власенко, стратостат «Осовіахім 1», 1934), розпочаті зйомки з ракет.



У 1945 р. одержані перші фотографії Землі з балістичної ракети «ФАУ-2», що була запущена на висоту 120 км. американськими дослідниками.

1947 р. ознаменувався розвитком спектрометричних досліджень. Хімічна промисловість освоїла випуск кольорофотографічних матеріалів, що забезпечило виробниче застосування кольорових та спектрональних аерофотознімків [42].

На початку 50-х рр. одержана інформація для вивчення верхніх шарів атмосфери і «ближнього космосу».

У той же час вже випробувані «Фау-2», «Вікінг», «Аероби» (США), а також радянські метеорологічні ІРА-Е, Р-2А, Р-5В.

У 1945-1955 р.р. – створюються спеціальні топографічні аерофотоапарати, а також сучасні засоби і прилади для обробки аерофотознімків.

До 1955 р. в основному на усю територію колишнього СРСР були підготовлені дрібномасштабні карти і розпочато виконання карт середнього і великого масштабів шляхом середньомасштабних та великомасштабних аерофотозйомок.

**IV етап.** Друга половина ХХ століття. Починаються глобальні аерокосмічні дослідження Землі і планет на базі космонавтики. З'являються знімки, отримані у оптичному, УФ, ІЧ і радіохвильовому діапазонах. Запуски перших супутників були пов'язані з уточненням геодезичних і топографічних параметрів координат.

*4 жовтня 1957 р. стався запуск першого штучного супутника Землі на території колишнього Радянського Союзу.*

У 1958 р. у США виведено на орбіту перший супутник «Експлоер-1».

Початок 60-х років – запущені перші серії експериментальних метеорологічних супутників «Тирос», «Німбус», «Есса», «СМС», «НОАА» (США), «Метеор».

У 60-ті рр. були сконструйовані нові високоточні стереофотометричні прилади для складання карт за аерофотознімкам. Удосконалюється методика і технологія картографування за аерофотознімками. З'явилися плівки для кольорової і спектрональної зйомки, втілюються нові фотоелектронні види зйомок, створюються методологічні основи дешифрування знімків. По-

дальшим розвитком дистанційних засобів стала зйомка Землі з космосу.

**Перші знімки зі штучних супутників Землі (1960) і пілотуємих кораблів** (Г. С. Тітов, серпень 1961) поклали початок стрімкому розвитку космічних засобів і широкому розповсюдженню нових видів знімків. Цю дату слід розглядати як початок планомірної космофотозйомки Землі. Крім поверхні Землі автоматичні міжпланетні станції (АМС) 14 вересня 1959 року сфотографували поверхню Місяця.

У 1961 р. стартував перший у світі пілотуємий космічний корабель «Восток-1». У 1962 р. перший космічний корабель «Маринер-2» (США) пролетів поблизу планети Венера.

Фотографування Землі і її поверхні з космічного простору було здійснене вперше радянськими космонавтами Є. В. Хруновим та О. С. Єлисеєвим.

Перше телезображення Землі було одержане за допомогою штучного супутника Землі «Блискавка» у 1966 році з відстані 40 тис. км. Приблизно в цей же час був створений супутник зв'язку «Блискавка – 1» у колишньому Радянському Союзі. Після розгортання наземної мережі станцій «Орбіта» всі регіони колишнього Радянського Союзу одержали доступ до Центрального телебачення, а крім того, була вирішена проблема організації надійного і якісного телефонного зв'язку. Супутники зв'язку «Блискавка» розміщалися на високоеліптичних орбітах з апогеєм в 39000 км. Для цілей безперервного віщання було розгорнуте ціле угруповання супутників «Блискавка», що літали в різних орбітальних площинах. Наземні станції мережі «Орбіта» були забезпечені досить великими антенами, які за допомогою сервеприводів відслідковували рух супутника по орбіті, періодично перемикаючись на той, котрий перебуває в зоні видимості. Але й донині угруповання супутників сімейства «Блискавка-3» забезпечують передачу інформації із всієї території Росії й за її межі.

Створення потужних ракет-носіїв типу «Протон» й «Дельта» дозволило забезпечити доставку супутників зв'язку на геостаціонарну кругову орбіту. Її особливість полягає в тому, що на висоті 35 800 км кутова швидкість обертання супутника навколо Землі дорівнює кутовій швидкості обертання самої Землі. Тому

супутник, що перебуває на такій орбіті в площині земного екватора, як би висить над однією точкою, а 3 геостационарних супутника, розташованих під кутом  $120^\circ$ , забезпечують огляд всієї поверхні Землі, за винятком тільки приполярних районів. Оскільки завдання підтримки свого заданого положення на орбіті покладає на сам супутник, то використання геостационарних космічних апаратів дозволило істотно спростити наземні засоби прийому-передачі інформації. У кінці-кінців наземна мережа користувачів виявилася істотно розширеною, і інформація стала надходити безпосередньо споживачеві. Свідченням того є безліч параболічних антен-тарілок, розташованих на житлових будинках як у великих містах, так й у сільській місцевості.

Поступово почали з'являтися інтернаціональні проекти. Один з них - створена наприкінці 1970-х років загально доступна система глобального зв'язку ІНМАРСАТ. Основним її призначенням було надання морським судам стійкого зв'язку при знаходженні у відкритому морі й координація дій під час рятувальних операцій. Зараз мобільний зв'язок через систему супутникового зв'язку ІНМАРСАТ забезпечується за допомогою переносного терміналу розміром з невеликий кейс. Сьогодні чотири сучасних супутники забезпечують зв'язок уже не тільки на морі, але й на суші, охоплюючи величезну територію, що простирається від Північного до Південного полярного кола.

Космічними станціями «Салют» у січні 1969 р. поставлений великий обсяг інформації про будову Землі і її природні ресурси. Цю інформацію у вигляді кольорових і чорно-білих космічних фотознімків, отриманих у різних зонах спектру, та маса інших цінних відомостей можливо було опрацювати лише за допомогою комп'ютерних технологій.

**У 1971 р. одержані перші фотографії Марсу**, передані космічним апаратом «Маринер-9». Радянський корабель «Марс-3» успішно здійснив посадку на Марсі. У колишньому СРСР запущено першу в світі орбітальну станцію «Салют». У 1973 р. сконструйовано перший космічний апарат, відправлений до Юпітеру. «Піонер-10» успішно виконав завдання. У США запущено станцію «Скайлеб».

У 1975 р. космічний апарат «Піонер-11» (США) пройшов поблизу Сатурна. Супутники «Венера-9» і «Венера-10» передали фотографії поверхні Венери на Землю.

На сучасному етапі наприкінці ХХ століття і початку нового тисячоліття програми космічних польотів неодмінно включають зйомки. Людина не тільки вперше наочно побачила цілком нашу Землю, зворотній бік Місяця, планети, отримала за допомогою знімків нову наукову інформацію про них. Планомірно запускаються, змінюють одне одного спеціальні супутники-зйомники, утворюючи постійнодіючі космічні системи, що забезпечують різних споживачів сканерними і фотографічними знімками (NOAA, 1970; Landsat, 1972; Метеор-Природа, 1974, Ресурс Ф., 1975; SPOT, 1986; Ресурс О., 1989 та ін.). Використання для реєстрації електронних світових і теплових приймачів розширило спектральний діапазон зйомки до 12 мкм і дозволило застосувати для отримання зображення сканерний принцип. Стало можливим оперативно передавати з носія на наземні приймальні станції відеоінформацію, яка при візуалізації представляється також у вигляді знімків.

У середині 1980-х років NASA була прийнята програма створення чотирьох астрономічних обсерваторій, розташованих у космосі. З тими або іншими затримками всі чотири телескопи були запуснені на орбіту. Першим почав свою роботу «ХАББЛ» (1990 рік), призначений для дослідження Всесвіту у видимому діапазоні довжин хвиль, за ним пішов «КОМПТОН» (1991 рік), що вивчав космічний простір за допомогою гамма-променів, третім був «ЧАНДРА» (1999 рік), що використав рентгенівські промені, а завершив цю велику програму «СПИТЦЕР» (2003 рік), на частку якого довівся інфрачервоний діапазон. Назви всім чотирьом обсерваторіям були надані на честь видатних американських учених [11].

До 1995 р. повністю розгорнута міжнародна система геостационарних супутників, що здійснюють космічне патрулювання планети. Космонавти на пілотуємих кораблях та орбітальних станціях регулярно здійснюють експериментальні зйомки. Електронні і фотографічні знімки добре доповнюють одне одного.

Для одержання знімків засвоєний радіодіапазон електромагнітного спектру. Різнопогодні радіолокатори бокового огляду стали встановлювати не тільки на літаках, але й на важких космічних апаратах. Широко використовуються багатозональні знімки. Для їх обробки розробляються автоматизовані засоби на базі комп'ютерних технологій. Формується стійкий світовий ринок космічних знімків, який поповнюється конверсійними знімками, накопиченими у військових відомствах США і Росії. Для координатної прив'язки знімків починають застосовуватися портативні приймачі супутникових систем позиціювання (місце визначення) – **GPS (1993) (США), ГЛОНАСС (Росія)**.

Можливості сучасної космічної індустрії призвели до сталих тенденцій постійного технічного та технологічного удосконалення космічних засобів, зростання обсягів ринку послуг та кількості користувачів і, як наслідок, поширення товарообігу світової космічної індустрії [64].

За даними Satellite Industry Association, товарообіг світової космічної індустрії з 53 млрд. дол. у 1998 році збільшився у 2003 році до 96 млрд. дол., у тому числі обсяги послуг щодо використання штучних супутників Землі змінився з 24 млрд. дол. до 56 млрд. дол., тобто збільшився у 2,3 рази. Одна з таких послуг пов'язана з дистанційним зондуванням Землі (ДЗЗ); за різними оцінками загальна сума, на яку виконуються послуги ДЗЗ у світі, складає сьогодні від 500 до 700 млн. дол. щорічно, втім існують прогнози її зростання до величини 1 млрд. дол. вже через декілька наступних років [33].

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

У запусках космічних апаратів, дослідженні космічного та земного простору сьогодні приймають участь десятки розвинутих країн світу, у т.ч. Україна. З метою міжнародної координації космічних програм, загальними цілями яких є спостереження і дослідження нашої планети, у 1984 році був створений Комітет супутникового спостереження Землі (CEOS – Committee on Earth Observation Satellites). Об'єднавши космічні агентства 43 країн

світу, інші національні та міжнародні організації, CEOS став головним міжнародним форумом для узгодження програм супутникових спостережень Землі, а також взаємодії цих програм з користувачами супутникових даних і всесвітніми інформаційними ресурсами.

Важливим напрямком діяльності CEOS є зміцнення та поліпшення функціонування механізмів глобального комплексного спостереження за нашою планетою. Одним з таких механізмів є Інтегрована глобальна стратегія спостереження IGOS (Integrated Global Observing Strategy), яка була започаткована у 1998 році як система партнерства 14 міжнародних інституцій. IGOS призначена для комплексних спостережень глобального навколишнього середовища наземними та космічними системами з метою оптимального стратегічного планування. Партнерство з IGOS розглядається як об'єднання трьох глобальних систем спостереження (океану, суші і клімату) під егідою CEOS [65].

Літаючі в космосі рентгенівські й оптичні телескопи вже подарували вченим чимало відкриттів. Тепер же до запуску готуються цілі орбітальні комплекси, оснащені цими приладами. Такі системи дозволять провести масове дослідження зірок нашої Галактики на предмет наявності в них планет.

Ні для кого не секрет, що сучасні радіотелескопи земного базування одержують картинки зоряного неба з дозволом, на порядки переважаючої досягнуте в оптичному діапазоні. Сьогодні для такого роду дослідницьких інструментів настала пора виведення в космос. Ці радіотелескопи будуть запуснені на високі еліптичні орбіти з максимальним видаленням від Землі на 350 тис. км, що дозволить не менш чим в 100 разів поліпшити якість одержуваних з їхньою допомогою зображень радіовипромінювання зоряного неба.

Недалекий той день, коли в космосі будуть побудовані заводи з виробництва особливо чистих кристалів. І це стосується не тільки біокристалічних структур, так потрібних медицині, але й матеріалів для напівпровідникової та лазерної промисловості. Навряд чи це будуть супутники - тут скоріше знадобляться відвідувані або роботизированні комплекси.

Не за горами й початок колонізації інших планет. У таких тривалих польотах без створення замкнутої екосистеми ніяк не

обійтися. І біологічні супутники (літаючі оранжереї), що імітують далекі космічні перельоти, з'являться на навколосемній орбіті в самому недалекому майбутньому.

Одного із самих фантастичних завдань, при цьому ж сьогодні з технічної точки зору абсолютно реальної, є створення космічної системи глобальної навігації й спостереження земної поверхні з точністю до сантиметрів. Така точність позиціонування знайде застосування в самих різних областях життя. У першу чергу в цьому бідують сейсмологи, що сподіваються, відслідковуючи найменші коливання земної кори, навчитися проорокувати землетруси.

На сьогоднішній момент найбільш економічним способом виводу супутників на орбіту є одноразові ракети-носії, причому, чим ближче до екватора перебуває космодром, тим дешевше виявляється запуск і тем більше виведене в космос корисне навантаження. І хоча нині вже створені й успішно функціонують плавуча, а також літакова пускові установки, добре розвинена інфраструктура навколо космодрому ще довго буде основою для успішної діяльності землян по освоєнню навколосемного простору.

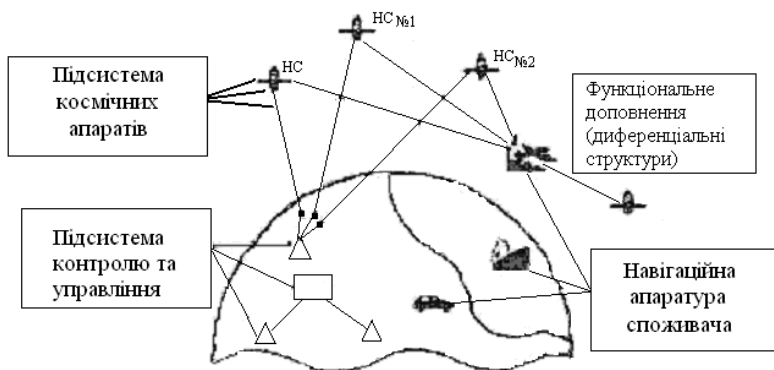
## Глобальні супутникові радіонавігаційні системи

Розвиток супутникової системи позиціонування (рис. 7) має вже майже сороколітню історію, початком якої вважають запуск 4 жовтня 1957 р. в колишньому Радянському Союзі першого в історії людства штучного супутника Землі (ШСЗ). В той час була поставлена задача - **щодо визначення координат пункту нагляду** за відомими координатами ШСЗ. Так почала працювати супутникова радіонавігаційна система.

Структура, способи функціонування й необхідні характеристики підсистем супутникової радіонавігаційної системи багато в чому залежать від заданої якості навігаційного забезпечення й обраної концепції навігаційних вимірів. Для досягнення таких найважливіших якостей, як безперервність і висока точність навігаційних визначень, у глобальній робочій зоні в складі сучас-

ної супутникової радіонавігаційної системи типу ГЛОНАСС та GPS функціонують три основні підсистеми (рис.6):

- **космічних апаратів** (ПКК), що складаються з навігаційних ШСЗ (надалі її називаємо космічним сегментом);
- **контролю й керування** (ПКУ) (наземний командно-вимірювальний комплекс (КОК) або сегмент керування);
- **апаратури споживачів** (АС) СРНС (прийоминдикатори (ПІ) або сегмент споживачів). Розмаїтість видів прийоминдикаторів СРНС забезпечує потреби наземних, морських, авіаційних й космічних (у межах ближнього космосу) споживачів.



**Рисунок 7 - Глобальна супутникова радіонавігаційна система**

Основною операцією, що виконується в супутниковій радіонавігаційній системі за допомогою цих сегментів, є **визначення просторових координат місця розташування споживачів і часу**, тобто просторово-тимчасових координат (ПТК). Цю операцію здійснюють відповідно до концепції незалежної навігації, що передбачає обчислення навігаційних параметрів безпосередньо в апаратах споживача. У рамках цієї концепції в супутниковій радіонавігаційній системі (СРНС) обраний позиційний спосіб визначення місця розташування



споживачів на основі пасивних далекомірних вимірів за сигналами **декількох навігаційних штучних супутників Землі** з відомими координатами.

Вибір концепції незалежної навігації й використання пасивних вимірів забезпечили можливість досягнення необмеженої пропускну здатності СРНС. Висока точність визначення місця розташування споживачів обумовлена багатьма факторами, включаючи взаємне розташування супутників і параметри їхніх навігаційних сигналів. Структура космічного сегмента забезпечує для споживача постійну видимість необхідного числа супутників.

### ГЛОНАСС.

**ГЛОНАСС** (ГЛОбальна НАвігаційна Супутникова Система) - призначена для безперервного й високоточного визначення просторового (тривимірного) місця розташування, вектора швидкості руху, а також часу космічних, авіаційних, морських і наземних споживачів у будь-якій частині Землі або навколоземного простору.

Навігаційні визначення у ГЛОНАСС здійснюються на основі дослідних вимірів в апаратурах споживачів псевдодальності й радіальної псевдошвидкості до чотирьох супутників (або трьох супутників при використанні додаткової інформації) ГЛОНАСС, а також з обліком прийнятих навігаційних повідомлень цих супутників. У навігаційних повідомленнях, переданих за допомогою супутникових радіосигналів, утримується інформація про різні параметри, у тому числі й необхідні відомості про положення й рух супутників у відповідні моменти часу. У результаті обробки цих даних в АП ГЛОНАСС звичайно визначаються три (дві) координати споживача, величина й напрямок вектора його земної (шляхової) швидкості, час (місцеве або в шкалі Держеталона Координованого Всесвітнього Часу UTC(SU) або, по ін-

шому, УТ(ДЕЧЧ) (ДЕЧЧ - Державний еталон часу й частоти). Для визначення просторових координат та точного часу необхідно прийняти та обробити навігаційні сигнали не менше ніж від 4 супутників ГЛОНАСС. Повна орбітальна структура системи ГЛОНАСС складається з 24 супутників, рівномірно розміщених в трьох орбітальних площинах.

Створення цієї навігаційної системи було визначено вимогами нових потенційних користувачів, які мали потребу у високоточній прив'язці свого положення в часі й просторі. В якості таких користувачів виступали: авіація, морський флот, космічні апарати, наземні транспортні засоби, а також спеціальні бойові комплекси.

Льотні дослідження системи ГЛОНАСС були розпочаті 12 жовтня 1982 р. запуском першого КА 11Ф654 «Ураган» №11л. Потім в наступних шести запусках на орбіту виводились два штатних КА. Це було пов'язано з неготовністю електронної апаратури супутників. Тільки з восьмого запуску у межах розгортання системи ГЛОНАСС (16 вересня 1989р.) разом з двома КА «Ураган» на орбіту виводились пасивні геодезичні КА «Еталон». Для льотних випробувань було виділено 22 космічних апарати (9-10 запусків). Ця кількість КА була використана до 16 вересня 1987 р. Але до цього моменту система не була розгорнута навіть для обмеженого використання. Лише після запуску 4 квітня 1991 р. в складі ГЛОНАСС виявилось одночасно 12 робочих КА. За оцінками, проведеними у 1997 р, на розгортання системи ГЛОНАСС було витрачено майже **2,5 млрд доларів**.

Супутник ГЛОНАСС складається з циліндричного гермокоптейнера з приладним блоком, приладів системи орієнтації, панелей сонячних батарей з приводом.

**У склад бортової апаратури входять:**

- навігаційний комплекс;
- комплекс управління;
- система орієнтації та стабілізації;
- система корекції;
- система терморегулювання;
- система електропостачання.

**Навігаційний комплекс** забезпечує функціонування супутника як елемента системи ГЛОНАСС. До складу комплексу входять: синхронізатор, формувач навігаційних радіосигналів, бортовий комп'ютер, приймач навігаційної інформації та передавач навігаційних радіосигналів.

**Комплекс управління** забезпечує управління системами супутника та контролює вірність їх функціонування. До складу комплексу входять: командно-вимірвальна система, блок управління бортової апаратури та система телеметричного контролю.

**Система орієнтації та стабілізації** забезпечує заспокоєння супутника після відділення від ракети носія, початкову орієнтацію сонячних батарей на Сонце та прокольні осі супутника на Землю, потім орієнтацію прокольної осі супутника на центр Землі та націлювання сонячних батарей на Сонце, а також стабілізацію супутника в процесі корекції орбіти.

**Система корекції** забезпечує приведення супутника в задане положення в площині орбіти та його утримання у даних межах за аргументом широти.

**Система терморегулювання** забезпечує необхідний тепловий режим супутника.

**Система електрозбереження** включає сонячні батареї, акумуляторні батареї, блок автоматики та стабілізації напруги.

Для забезпечення надійності на супутнику встановлюються по два чи по три комплекти головних бортових систем.

Управління супутниками ГЛОНАСС відбувається в автоматизованому режимі. Виведення супутників ГЛОНАСС на орбіту відбувається носієм важкого класа «ПРОТОН» [13, 55].

## GPS

**GPS (Global Position System)** – супутникова радіонавігаційна система, чи як вона ще називається, глобальна система визначення місцерозташування, яка забезпечує високоточне визначення координат та швидкості об'єктів в будь-якій точці земної поверхні, в будь-який час доби, в будь-яку погоду, а також точне визначення часу.

У 1993 році система була повністю розвернута. Затрати на її реалізацію перевищували 15 млрд. доларів. Принцип роботи

Американська система GPS працює аналогічно принципу роботи російської системи ГЛОНАСС та європейської цивільної системи „Галілео”.

Спочатку передбачалося використовувати систему GPS тільки у навігаційних цілях, та дослідження що проводились у Масачусетському технологічному інституті у 1976-1978 р.р., показали можливість геодезичного застосування GPS, тобто визначення координат з міліметровою точністю. З того часу почалось використання системи для геодезичних вимірювань.

Супутники в СРНС розподілені по декількох орбітальних площинах: у ГЛОНАСС їх три, в GPS - шість. У системах у повній конфігурації діють 24 супутника (плюс три резервних).

Різноманітні типи й модифікації GPS-приймачів широко використовуються на морських і повітряних засобах, у системах мобільного й супутникового зв'язку. Більше того, приймач GPS, як і передавач системи «Кос-пас-Сарсат», є обов'язковим устаткуванням для будь-якого плавзасобу, що виходить у відкрите море. Створений Європейським космічним агентством вантажний космічний корабель ATV, що вийшов у космос в 2005 році й полетів до МКС, свою траєкторію зближення зі станцією також корегував за даними систем GPS і ГЛОНАСС.

Незважаючи на складність і масштабність системи глобального позиціонування, компактний GPS-приймач сьогодні може придбати будь-який бажаючий. За сигналами з супутників цей прилад дозволяє не тільки визначити місце розташування людини з точністю до 5-10 метрів, але й постачати їй усі необхідні данні: географічні координати з вказівкою місця на карті, точний час, швидкість руху, висоту над рівнем моря, положення сторін світу, а також цілий ряд сервісних функцій, що є похідними від первинної інформації.

Достоїнства космічних навігаційних систем настільки незаперечні, що Об'єднана Європа, незважаючи на гігантські витрати, планує створити власну навігаційну систему GALILEO («Галілей»). Систему своїх навігаційних супутників планує розгорнути й Китай.

Застосування мініатюрних GPS-приймачів дозволило істотно вдосконалити роботу ще однієї категорії космічних апаратів - так званих супутників дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Якщо раніше знімки Землі з космосу було досить важко зв'язати з певними географічними координатами, то тепер цей процес не представляє ніяких проблем. А оскільки наша планета постійно видозмінюється, то її фотографії з космосу, що ніколи не повторюються, будуть завжди актуальними і необхідними, надаючи незамінну інформацію для вивчення найрізноманітніших аспектів земного життя.

При використанні приймачів GPS вдається одержувати дані з точністю до декількох метрів. Використання послуг GPS дуже швидко зростало, тому як було доступним для звичайних користувачів (рис.8,9).

Про динаміку росту цього сегмента ринку можна судити з рис.8 й 9. Недавно військове відомство США запросило додаткове фінансування в розмірі 90 млн дол. для модифікації 20 нових супутників GPS, запуск першого з яких відбувся в 2004 р., а повністю система почало функціонувати у 2006 р. Затверджується, що це приведе до підвищення потужності сигналів і підвищення їхньої стійкості до атмосферних перешкод, а також до перешкод, створюваних навмисно можливим супротивником. Таким чином, нові радіопередавачі підвищать потужність випромінюваних супутниками сигналів у вісім разів. Деякі експерти вважали, що ціль підвищення потужності передавачів - зберегти перевагу американської системи супутникового позиціонування над європейською цивільною системою «Галілео», що на той час давала сигнал більшої потужності, ніж забезпечували супутники системи GPS.

Теоретично найвищу точність визначення місця розташування дає використання сигналів супутників одночасно й американської, і російської систем. Але на практиці ситуація виглядає трохи складніше. Можна сказати, що ГЛОНАСС не виправдав очікувань. При необхідності одночасної роботи не менш 24 супутників їх (у працездатному стані) ніколи не було більше 11-15. Наприклад, за станом на січень 1999 р. на орбіті працювало 24 американських супутника, а російських - усього 16, причому 5 з них - у неробочому стані (рис. 10).

До того ж в цей період реальна точність виміру місце розташування за допомогою російської ГЛОНАСС коливалася від 100 до 24 000 м, що не повною мірою відповідає потребам високоточної навігації й геодезії. Як наслідок, федеральне авіаційне керування США FAA призупинило процес вироблення технічних стандартів на використання ГЛОНАСС. Зараз супутників залишилося всього вісім, і не всі з них працюють. За даними на 5 травня 2003 р. працювало сім супутників, нерівномірно розподілених у орбітальних площинах.

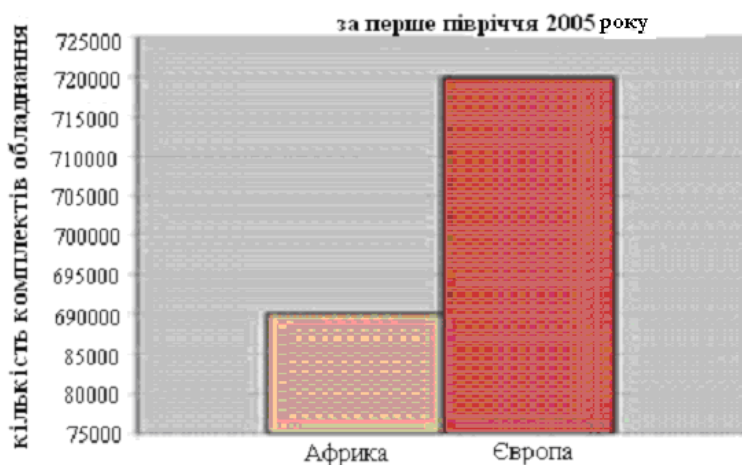
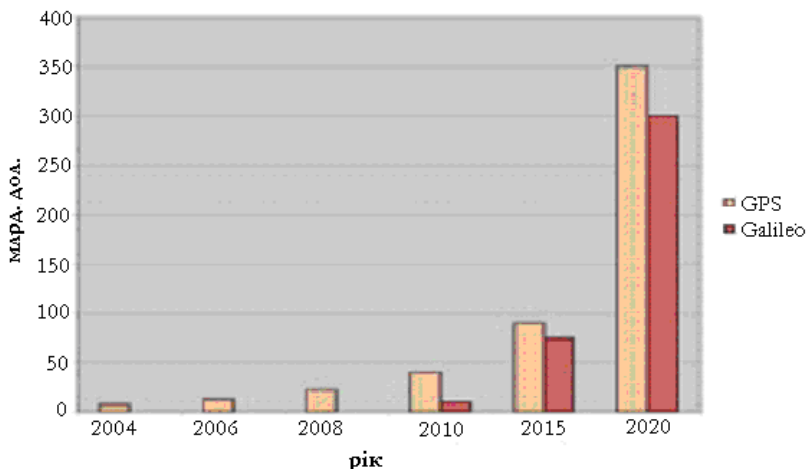
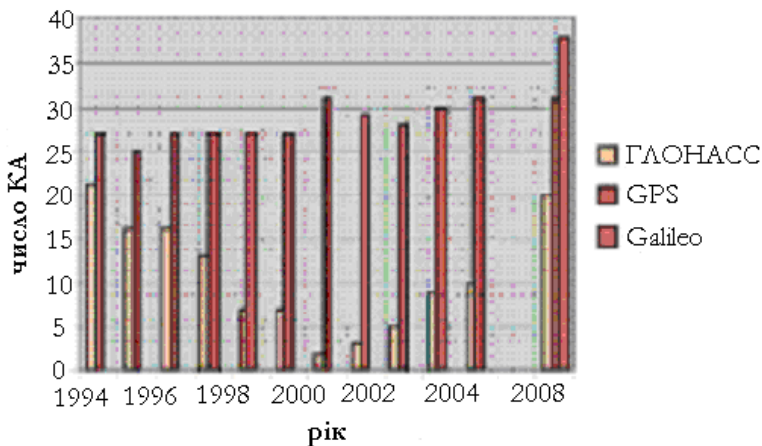


Рисунок 8 - Ріст обсягу продажів навігаційних приймачів GPS на прикладі країн Європи й Африки.



**Рисунок 9 - Планований дохід ринку устаткування й послуг у Європі від використання систем GPS й «Галілео» (за даними західних аналітиків)**



**Рисунок 10 - Сучасний та спрогнозований стан космічного сегмента систем GPS, ГЛОНАСС і «Галілео»**

Стан російської системи позиціонування на цей час не дає можливості експлуатувати її відповідно до пропонованих технічних вимог з банальної причини - у країни немає на це ко-

штів, і в доступному для огляду майбутньому не передбачається. Вартість експлуатації складних супутникових систем буде багато в чому визначатися тривалістю роботи самих супутників і частотою їхньої заміни. Щодо цього ГЛОНАСС знову явно уступає GPS.

## Історія і сучасний стан космічної індустрії на Україні

Україна була і залишається країною з розвиненою ракетно-космічною індустрією, вона міцно закріпила за собою у світовому співтоваристві місце у першій трійці космічних держав. Але через секретність у минулому, сьогодні у світі Україну, як космічну державу, мало хто знає. Навіть не всі жителі України знають історію розвитку космічної промисловості своєї країни.

Дуже цікавою і важливою для розвитку космонавтики є історія життя і наукових досліджень **Юрія Кондратюка (Олександра Гнатовича Шаргея)** (фото 1), механіка-самоука, котрий ще п'ятдесят років тому вважав, що найліпшим способом дістатися на Місяць є спосіб ЛОР – відокремлення посадочного апарата від корабля-матки. Однак радянський уряд ігнорував його.

У березні 1969 року в американському журналі «Life» з'явилася стаття Девіда Шерідана про одну з дивовижних космічних ідей. У публікації йшлося про найскладнішу і найважливішу в задумі з усіх рукотворних конструкцій, яка помандрувала в космос на борту ракети «Аполло-9» для перевірки готовності до виконання завдання: доставити двох американських астронавтів на поверхню Місяця й потім безпечно повернути їх на Землю. Ідея полягала в тому, щоб опуститися на небесне тіло з корабля, залишеного на орбіті, а потім знову здійснити запуск із Місяця на ризиковане randevу з кораблем – перед тим, як рушити в напрямку Землі. Закінчувалася стаття добримі словами про інженера Джона Губольдта, автора космічного польоту, якому NASA (національне управління з астронавтики й дослідження космічного простору США) присудило свою нагороду за видатні наукові досягнення, відзначаючи його «далекоглядність і наполегливість у захисті проекту Лунар Орбіт Рандеву».



Та найбільша нагорода, писав Шерідан, чекала на сорокаодно-річного інженера на мисі Кеннеді. Спостерігаючи за запуском ракети «Аpollo-9», яка виносила в перший політ його дітище, він думав про іншого інженера, чії мрії наразилися на іронію та нерозуміння.

Олександр Гнатович Шаргей народився у Полтаві 21 червня 1897 року в сім'ї православних: студента Київського університету Гната Бендетовича Шаргея і його дружини, вчительки географії Києво-Подільської жіночої гімназії Людмили Львівни Шліппенбах.

У свої дев'ятнадцять юнак закінчив 2-гу Полтавську чоловічу гімназію 1916 року. Атестат зрілості майже відмінний, лише з російської та латинської мов – «четвірка». В атестаті окремо відзначалися успіхи гімназиста, особливо – у фізико-математичних науках. Вступив до Петроградського політехнічного інституту. Але невдовго там провчився – всього місяць і десять днів. У жовтні 1916-го студента-першокурсника призвали в армію й направили в школу прапорщиків при Петроградському юнкерському училищі.



**Фото 1 – Юрій Васильович Кондратюк**

Потім куди тільки не кидала нещасливця доля. Закавказький фронт і запруджений деніківцями Київ, уже мирна, після громадянської війни, Мала Виска і знову Кавказ. Тут, на станції Кирилівській Північно-кавказької залізниці упродовж року вже не Олександр Шаргей (мусив змінити документи аби убезпечити себе від більшовицького переслідування за перебування у денікінській армії), а Юрій Кондратюк працював механіком елеватора. А невдовзі шлях його проліг аж у Сибір, де Юрію Васильовичу доручили зведення хлібоприймальних сховищ в Омській, Новосибірській областях та Алтайському краї. Було тоді Юрію Васильовичу тридцять років. За якихось дев'ять років без вищої освіти він виріс від кочегара котельної цукрового заводу в Малій Висці до визнаного інженера-будівельника і винахідника. Адже ще наприкінці 1917 року вчорашній гімназист уже мав сто чотири сторінки праці, в якій зокрема пропонував спосіб досягнення поверхонь великих небесних тіл за допомогою відокремленого від космічного корабля невеличкого посадочно-злітного модуля.

«Щоб не витратити великої кількості активної речовини, – писав він тоді, – можна не зупиняти всього снаряда, а лише зменшити його швидкість, аби він рівномірно рухався по колу якомога ближче до тіла, на якому має бути здійснена зупинка. Після цього відокремити від нього неактивну частину з такою кількістю активної речовини, яка необхідна для зупинення неактивної частини і для того, щоб потім вона змогла наздогнати (знову приєднатися) до снаряда...»

Восени 1919-го уже в Києві Кондратюк завершує другий варіант свого рукопису, озаглавивши його: «Тим, хто читатиме, щоб будувати». В ньому ширше йдеться про міжпланетні бази на орбітах штучних супутників Землі та Місяця, розглядаються варіанти конструкцій частин «снаряда», його двигуна, систем стабілізації та керування, подається схема приладу, що утилізує сонячну енергію. Тут же приділяється увага вірогідності використання сил тяжіння небесних тіл для коригування, дорозгону або гальмування космічного корабля.

Третій варіант рукопису, значно досконаліший за структурою і викладом, був названий «Про міжпланетні подорожі» й відправлений у червні 1925 року в Головнауку.

Наприкінці 1927 року професор В.П. Ветчинкін завершить редагування тієї праці, уже під назвою «Завоювання міжпланетних просторів», і в передмові напише: «Пропонована книга Ю.В. Кондратюка, безсумнівно, є найповнішим дослідженням міжпланетних подорожей з усіх, що писалися в російській і зарубіжній літературі до останнього часу... У книзі з вичерпною повнотою висвітлено всі питання, про які йдеться в інших творах, і окрім того, вирішено цілу низку нових – першорядного значення, про які інші автори не згадують».

Але Держвидав повернув відредагований рукопис. Причини? Нестача коштів. Юрій Васильович проживає на той час у Новосибірську і вирішує видати книгу власним коштом! А в друкарських касах не те що знака інтеграла, звичайних квадратних дужок не було.

І все-таки у січні 1929 року книга Юрія Кондратюка побачила світ. Усе тут є: від даних ракети, формули навантаження й типів траєкторій до загальних перспектив освоєння космосу. Власне, це був проект широкої програми освоєння міжпланетних просторів, наслідком якого мала стати, як писав автор: «...безсумнівна можливість для людини оволодіти ресурсами, за допомогою яких можна буде найдосконалішим чином поліпшувати умови існування на земній поверхні... Саме в можливості у недалекому майбутньому почати по-справжньому господарювати на нашій планеті слід бачити грандіозне значення для нас завоювання просторів Сонячної системи».

Книга вийшла тиражем всього дві тисячі примірників. Та Юрій Васильович був радий і такій кількості. Один із примірників він надіслав К.Е. Ціолковському. Ознайомившись із ним, Костянтин Едуардович потім напише: «Сорок років я працював над реактивним двигуном і думав, що прогулянка на Марс почнеться через багато сотень літ. Та строки міняються.»

У 1967 році у Москві на ВДНГ СРСР у павільйоні «Космос» другим після К.Е. Ціолковського висів портрет нашого земляка, в Новосибірську ставилася п'єса про нього, на станції Кирилівській вдячні краснодарці відкрили меморіальний комплекс теоретика космонавтики, іменем космічного провидця було вже названо кратер на зворотному боці Місяця, а в Україні про Юрія Кондратюка – ні слова! Ні в пресі, ні по радіо, ні по телебаченню. На сторожі

стояв Головліт, котрий керувався одним аргументом: є рішення партії, яке ніхто не відміняв.

Восени 1941 року, коли гітлерівські полчища підступали до Москви, Кондратюк одним із перших добровільно став бійцем дивізії Народного ополчення столиці.

Але де й коли востаннє ступив по землі незбагненний Кондратюк - Шаргей, який зачинав нову еру в історії людства – еру космічних польотів, який творив поза межами сучасних йому наукових уявлень, поки що ніхто не знає.

Ні попередники, ні сучасники Ю. Кондратюка не додумалися до його ідей. Багато інших ідей Кондратюка знайшли застосування у практичній космонавтиці. Це ідея багатоступінчастої ракети й поняття «пропорційного пасиву», без якого немислимий сучасний аналіз космічних апаратів, конструкція крісла, що дає змогу витримувати значні перевантаження та приземлятися за допомогою парашутів, можливість створення безпілотних систем ракетно-артилерійського постачання із Землі довгострокових космічних баз.

Пам'ять про Ю. Кондратюка зберігає і м. Харків, де на центральній вулиці Сумській на одному з будинків висить меморіальна дошка з барельєфом невизнаного у свій час вченого-винахідника.

У середині 50-х років на Україні проводиться розробка і запускаються в серійний випуск ракети Р-12, Р-14, Р-16. Одноступінчасті ракети Р-12, Р-14, двоступінчаста та міжконтинентальна ракети Р-16 стали основою для організації ракетних військ стратегічного призначення. Перший (і відразу успішний) пуск ракети Р-12 відбувся **22 червня 1957 року**. А у березні 1959 р. комплекс із цією ракетою, що мала дальність польоту 2000 кілометрів, уже був узятий на озброєння. У 1961 р. була взята на озброєння нова ракета Р-14 із дальністю польоту 4500 кілометрів, а через якийсь час і перша балістична ракета Р-16, як і попередні, на компонентах висококипячого палива, але вже з міжконтинентальною дальністю польоту 13 тисяч кілометрів.

У 1952 р. на основі реконверсованого Дніпропетровського автозаводу почалося виготовлення ракет, розроблених С. П. Корольовим.

**Корольов Сергій Павлович (1907 - 1966 рр.)** видатний український учений, генеральний конструктор ракетно-косміч-

них систем колишнього СРСР. Починаючи з 30-х років ХХ століття очолював розробку і запуск балістичних геофізичних ракет-носіїв, космічних кораблів та автоматичних міжпланетних станцій різних модифікацій (у т.ч. Восток, Восход, Космос, Зонд). Його звать «батьком вітчизняної космонавтики». Так, справді вітчизняної бо в утворення того, що називали радянською наукою, культурою, технічним прогресом, неоціненний внесок зробили українці за походженням, за народженням – такі, як Олександр Шаргей (Юрій Кондратюк), Ігор Сікорський, Сергій Корольов, Павло Попович... Пам'ять про Корольова С.П., цю видатну людину вшановано на Україні. Він жив і працював на Україні (Житомир, Ніжин, Одеса, Київ) 1907 – 1938 роки називає українським періодом життя його донька – Н.С. Корольова у своєму тритомному виданні «С.П. Корольов. Отец», що вийшло у світ 2007 р. з нагоди 100-річчя від дня народження. У Житомирі вже давно працює музей С.П. Корольова, на території Національного технічного університету (КПІ) в Києві встановлено пам'ятник С.П. Корольову під час урочистостей, присвячених 100- річчю з дня народження. Багато вулиць та проспектів в українських містах носить ім'я такої неординарної постаті, як С.П. Корольов.

10 квітня 1954 р. постановою Ради Міністрів СРСР було прийнято рішення про створення Спеціального конструкторського бюро (КБ) № 586 для проектування і розробки ракет стратегічного призначення. Створене на базі серійного КБ Дніпропетровського ракетного заводу (колишнього автозаводу), воно за короткий час стає головним у галузі бойової, а потім і космічної техніки колишнього Радянського Союзу, перетворивши ракетно-космічну галузь України в головну не тільки в СРСР, але й у світі. Пізніше КБ одержало власне ім'я – «Південне».

На початку 60-х рр. на основі бойової ракети Р-12 створюється носій 63С1. З його допомогою 16 березня 1962 р. був виведений на орбіту перший Дніпропетровський супутник ДС-1 (виготовлений на заводі «Південмаш» – перейменований Дніпровський ракетний завод), що поклав початок серії супутників «Космос». Він був запущений із космодрому Капустін Яр. А сама ракета (носіїв), що також набула назви «Космос» стала другою в історії космонавтики колишнього

СРСР, що забезпечувала виведення космічних апаратів на орбіти штучних супутників Землі. З цього етапу фактично почалося і міжнародне співробітництво КБ (Південне) у галузі космічних досліджень – за програмами «Космос», «Інтеркосмос» та ін. Створюються космічні носії 11К65 («Інтеркосмос»), 11К68 («Циклон-3»), 11К69 («Циклон-2»), носії 11К77 (його модифікації використовувалися як чотирибічні прискорювальні системи «Енергія - Буран»).

Після цього на орбіті вже побувало близько 400 супутників Землі, виготовлених на «Південмаші», приблизно 50 різних типів, у тому числі 23 із серії «Інтеркосмос» успішно виконували своє завдання на орбіті.

Була спроба заявити про себе й у галузі створення надважких ракетноносіїв із кінцевою метою організації експедиції на Місяць. У першій половині 60-х розробляється досить перспективна ракета-носій Р-56. Пізніше розробляється ракета Н-1, за допомогою якої передбачалося висадити космонавта на Місяць. Був спроектований, виготовлений і цілком відпрацьований найвідповідальніший у проєкті блок Е, що являв собою посадковий щабель із двигунами місячного корабля. Однак з запуски ракетноносія Н-1 з аварійними наслідками вирішили долю проєкту.

Україна завжди була гідним і серйозним партнером у тій системі кооперації, що функціонувала в колишньому Радянському Союзі. За оцінками незалежних експертів, 28 % космічного потенціалу країни належало Україні. Після розпаду СРСР, Україна зіткнулася з чисельними проблемами: пошуком нових кооперацій, відновленням інститутів галузевої спрямованості, притягненням теоретичної науки, підняттям престижу машинобудування і приладобудування.

Сьогодні в архівах накопичується усе більше знімків поверхні Землі, що або дешифровані частково, або залишаються ззовсім некорисною інформацією. Як відомо, кожен знімок потенційно несе в собі багато інформації, але кожен фахівець підходить до неї зі свого боку. Погано те, що немає такої методики та апаратури, за допомогою яких можна було б ці космічні скарби прочитати цілком.

Учені центру аерокосмічних досліджень Землі, Інституту геологічних наук АН України поки активно удосконалюють сис-

теми і технологію фіксації інформації, але менше уваги приділяють опрацюванню вже отриманої. Тому сьогодні необхідно переорієнтуватися: не просто фотографувати, а кожну зйомку націлювати на вирішення конкретного завдання.

Учені – члени наукової ради АН України з вивчення природних ресурсів дистанційними методами – мріють здійснити **космічний моніторинг території України**. Інакше кажучи, зробити так, щоб кожна зйомка несла комплексну інформацію про екологічний стан даної території – і не тільки України, але і просторів за її межами.

Ще з 1979 р. почалася реалізація космічних програм в інтересах народного господарства й екологічного моніторингу з використанням космічних апаратів ДКБ «Південне» серії «НГ» (народногосподарських) і серії «Океан». Це дало можливість запустити в 1995 р. перший під юрисдикцією України супутник «Січ – 1».

Супутником «Січ – 1», який продовжив серію «НГ», спостерігалася територія всієї земної кулі, в тому числі Україна сфотографована у видимому діапазоні понад 30, а в радіодіолокаційному – понад 40 разів. Наступним на 660-кілометрову навколоземну сонячно-синхронну орбіту українським ракетоносієм «Зеніт – 2» був виведений 17 липня 1999 р. супутник «Океан – О». Цей створений ДКБ «Південне» та виготовлений ВО «Південний машинобудівний завод» космічний апарат важкого класу продовжив дослідження Землі, розпочаті супутниками «Океан – О1», «Ресурс – О1» і «Січ – 1». Маса апарату «Океан – О» – понад 6 тонн, що майже втричі перевищує масу апарату «Січ – 1». «Океан – О» – це супутник комплексного вивчення океану, задуманий ще наприкінці 70-х років. Від його роботи неабияку користь отримує с/г, гідрометеорологічна наука, екологія, геологія. Можна контролювати та попереджувати надзвичайні ситуації природного і техногенного характеру. Відмінність двох супутників не лише у вазі. Автоматична «космічна лабораторія» близько 12 м завдовжки, з діаметром корпусу 3,5 м, несе на борту унікальний вимірювальний комплекс з 11 приладів, які доповнюють один одного за своїми інформаційними можливостями. Вимірювання і фотографування виконуються у видимому, інфрачервоному, мікрохвильовому та радіолокаційному діапа-

зонах. За час польоту супутника (він і нині працює на орбіті) одержані космічні знімки високої якості, багатократно відзнята всіма класами приладів Україна: Чорне море, Чорнобильська зона, Придніпров'я та інші регіони країни, різні регіони Росії, Антарктика, Африка, екваторіальні зони під час проходження ураганів, Тайвань одразу після землетрусу та ін.

Крім того підготовлено запуск українсько-російського супутника «Січ-1М», на якому було встановлено комплекс наукової апаратури для проведення дистанційних досліджень Землі та природних явищ в оптичному, радіо- і мікрохвильовому діапазонах.

Під загальним керівництвом НКАУ українськими вченими розроблений проект спільної з Російською Федерацією науково-прикладної програми використання даних КА «Січ-1М», яка передбачає здійснення цілої низки космічних експериментів.

В останній час метод аерокосмічного контролю за станом довкілля поширюється все більше, але ці дослідження дещо грішать на фрагментарність, що не тільки не в змозі дати повну картину, але іноді і псує її. В Україні в інститутах у межах проєктів «Укркосмосресурси» і «Космос» створено і випробувано методику й апаратуру, що надають можливість при зондуванні у діапазонах від УФ до мікрохвильового, вирішувати чимало екологічних проблем. Це зокрема оцінка насичення водою, підтоплення і засолення ґрунтів, виявлення активних розломних зон, ділянок ушкоджень нафто-, газо-, тепло-, водогонів, земель і водоймищ, заражених важкими металами, нітратами, нафтопродуктами, пошук підземних джерел води, нафтогазових, рудних родовищ, прогнозування погоди за результатами зйомок акваторій морів та ін.

На сучасному етапі розвитку космічної індустрії сила у завоюванні космосу вимірюється рівнем кооперації. Той, хто цікавитиме партнерів більше, матиме найбільшу вдачу. Україна зберегла майже всю кооперацію з Росією і вийшла на шлях міжнародного розподілу праці із США, Італією, Францією, Німеччиною.

Один із перших комерційних проєктів у космічній галузі України був пов'язаний з фірмою «Спейс Системз Лорал» на запуск супутників «Глобалстарт» носієм «Зеніт» з космодрому



Байконур. Під час виконання цього контракту були знайдені і реалізовані оригінальні технічні рішення, що забезпечували можливість встановлення на ракету одночасного виведення 12 супутників.

Спільно з італійською фірмою «Фіат-Авіо» розроблено великий проект «Циклон-4», який передбачає розробку на базі ракети «Циклон» нової триступінчатої ракети.

Особливо важливим і перспективним напрямом робіт є конверсійне використання для запуску космічних апаратів цивільного призначення, знятих з бойового призначення міжконтинентальних балістичних ракет. Унаслідок тривалих спільних зусиль російсько-української кооперації створена міжнародна космічна компанія «Космотранс» з розробки та експлуатації космічного комплексу «Дніпро» на базі бойового ракетного комплексу Р-36М. До складу «Космотрансу» з боку України увійшли НКАУ, ДКБ «Південне», ВО «Південний машинобудівний завод», АТ «Хартрон», АТ «Асконд», КБ спеціального машинобудування, КБ транспортного машинобудування. З 2001 р. використання ракети-носія «Дніпро» пов'язане в основному з виведенням космічних апаратів, масових низькоорбітальних систем зв'язку, поповненням цих угруповань космічними апаратами замість тих, що вийшли з ладу.

Одним із найважливіших досягнень космічної галузі України є її участь у міжнародному проекті «Морський старт». Сутність цього проекту полягає в тому, щоб з екватора здійснювати запуск супутників на геостационарні орбіти за допомогою ракети-носія «Зеніт-3SL». При цьому в ролі стартового комплексу використовується плаваюча платформа, а як монтаживипробувальний центр і пункт управління стартом космічних апаратів – спеціальне складально-командне судно. У міжнародний консорціум «Морський старт» входять російська РК «Енергія» (25 %), українські КБ «Південне» і ПО «Південмаш» (разом 15 %), а також норвезька Kvaerner (20 %). Уперше в історії космонавтики в межах цього проекту ракетно-космічним носієм був виведений на геоцентричну орбіту макет космічного вантажу масою 4450 кг. Другий запуск ракети з космічним апаратом прямого телемовлення «Direct TV-IR» здійснено 10 жовтня 1999 р. Сьогодні офіційно визнано в світі, що ракета – носій «Зеніт»

ДКБ «Південне» є найкращим у світі екологічно чистим носієм з повністю автоматизованим стартом. Всього ж за роки незалежності 49 ракет на замовлення організацій вивели на орбіту 70 космічних апаратів.

Оскільки екологічний стан різних регіонів України та інших територій постійно змінюється, національне космічне агентство й АН України у рамках Національної Космічної програми створили 5 центрів наземних станцій прийому й переробки інформації, кожний із яких несе відповідне функціональне навантаження: у Севастополі на базі Морського гідрофізичного інституту, у Дніпропетровську – НПО «Орбіта», у Харкові – інститут радіофізики й електроніки АН України, у Києві – центр аерокосмічних досліджень Землі АНУ і у Львові – відділення інституту кібернетики АНУ.

У результаті реформування космічної галузі в Україні близько 30 підприємств, а також військово-космічних частин передали у відомість НКАУ. Зараз Україна володіє потенціалом для нового циклу досліджень – фундаментальні дослідження і проектування всіх видів техніки і систем, агрегатів, комплексів ракет, конструювання, експериментальне відпрацювання, серійне виробництво і експлуатація. Україні є що запропонувати – ракети «Циклон», «Зеніт-3SL», «Дніпро» повністю конкурентоспроможні. В усьому світі Україну визнали як космічну державу. Наша країна почала підтримувати партнерські відносини з багатьма іншими країнами світу. Вона вийшла на міжнародний ринок космічних послуг, на якому зараз працює 10 найрозвиненіших країн світу. Отже входження до клубу «космічних держав» – факт надзвичайно престижний.

Також в останні роки в Україні значна увага приділяється розробленню нормативної та науково-методичної бази для дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), проведенню наукових досліджень.

У 2002-2003 рр. НКАУ суспільно з ДКБ «Південне», ЦАКДЗ та ДП «Дніпрокосмос» розроблений перший український національний стандарт з ДЗЗ «Дистанційне зондування Землі з космосу. Терміни та визначення понять», який затверджений і чинність якому надано наказом №155 Держспоживстандарту України від 15.09.2003 р. У 2003 році НКАУ розпочато роботу над

створенням чергового Національного стандарту з ДЗЗ «Дистанційне зондування Землі з космосу. Обробка та інтерпретування даних» [64].

Україна належить до сучасних держав світу, які активно досліджують і використовують космічний простір, розробляють і виготовляють ракетно – космічну техніку (Ю. Алексєєв, Генеральний директор Національного Космічного агентства України. Урядовий кур’єр № 38 від 28.02.2007).

Для цього Україна має потужні наукові й конструкторські організації з розробки ракетноносіїв і космічних апаратів, серійний завод, який виготовляє космічні ракети й супутники, оснащені всім необхідним підприємства сучасного приладобудування, Національний центр управління та випробувань космічних засобів.

Протягом останніх 15 років цю діяльність очолює Національне космічне агентство України (НКАУ), створене указом Президента України 29 лютого 1992 року.

Україна приєдналась до основних актів у сфері дослідження й використання космічного простору, прийнятих у рамках ООН, і стала повноправним суб’єктом міжнародного космічного права.

Для України залишається важливим співробітництво із Російською Федерацією, головним науковим, технічним і технологічним партнером. Космічна діяльність України і Росії має спільні корені та традиції.

Позитивні приклади співробітництва з космічних проектів, що склалася роками. Це дало можливість здійснити прорив ракетноносія «Зеніт» в міжнародний проект «Морський старт» за активною участю РФ, забезпечити участь України в створенні Міжнародної космічної станції, створити ракетно–космічний комплекс «Дніпро». Почався процес інтегрування РН «Циклон–4» в спільний з Бразилією проект щодо здійснення пускових послуг з космодрому Алкантара за участю в цій роботі російських підприємств. На стику космічних програм двох країн формується українсько–російська програма співробітництва з мирного дослідження та використання космічного простору.

Дедалі значимішими партнерами стають США, Китай, Бразилія, Єгипет, держави ЄС і Європейське космічне агентство.

Україна бере активну участь у широкомасштабних міжнародних космічних проєктах: «Морський старт» – спільно з Росією, США й Норвегією; «Наземний старт» – спільно з Росією й США; «Дніпро» – спільно з Росією; «Циклон-4» – спільно із Бразилією.

За 15 років роботи НКАУ й підприємств української космічної галузі забезпечено понад 100 пусків ракет–носіїв і виведено в космос понад 180 космічних апаратів за замовленнями 10 країн світу.

Важливим є прийняття нової Космічної програми України на 2008–2012 роки, в основі якої будуть три основні складові: розширення використання космічного простору, подальший розвиток міжнародного співробітництва, зміцнення національного космічного потенціалу.

Подальший розвиток передбачається в ширшому використанні наявних космічних технологій та їхній комерціалізації. Із цією метою створюватиметься галузевий центр комерціалізації технологій.

Зараз міжнародним співтовариством розпочато роботи зі створення постійно діючих космічних систем для глобального моніторингу навколишнього середовища й навколосемного простору, прогнозу, контролю й оцінки надзвичайних ситуацій.

Нові ініціативи провідних космічних держав світу передбачають у першій половині цього століття реалізацію масштабних космічних місій до планет Сонячної системи, включаючи будівництво дослідницьких баз на Місяці, політ людини на Марс, постійне спостереження об'єктів далекого космосу, активізацію пошуку життя на інших небесних тілах, дослідження закономірностей походження Всесвіту.

Розвиток ДЗЗ в Україні передбачає досягнення наступних цілей:

- надасть можливість створити 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 та техногенними процесами, включаючи ті, що мають транскордонний характер;

- розвивати аерокосмічну галузь, вдосконалювати космічну систему спостереження Землі «Січ» шляхом оснащення її комплексами апаратури, які використовували увесь освоєний спектральний діапазон електромагнітних хвиль, включали до свого складу прилади; побудовані з використанням тонких фізичних механізмів (поляризації, флюоресценції, інтерферометрії, тощо);
- створювати постійно діючі ефективні системи підготовки та удосконалення фахівців з ДЗЗ;
- зміцнювати міжнародний статус України як космічної держави та створювати підвалини для діяльності на світовому ринку космічних послуг, шляхом інтегрування космічної системи спостереження Землі «Січ» в європейську (GMES) та міжнародну (IGOS) системи спостереження Землі;  
Першочерговими вбачаються наступні задачі:
- розроблення та створення державної системи ДЗЗ і відпрацювання її взаємодії з державними та міжнародними системами моніторингу навколишнього природного середовища;
- експлуатація та розвиток космічної системи для спостереження Землі «Січ» та дослідна експлуатація космічної системи для спостереження Землі («Січ-1М»);
- проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт щодо перспективних космічних систем для спостереження Землі («Січ-2,-3»);
- модернізація і відпрацювання наземного комплексу для приймання, оброблення, зберігання та розповсюдження даних з іноземних КА для спостереження Землі (НОАА, Метеосат, ТЕРРА, аква, СПОТ та ін.);
- виконання науково-прикладних програм з оброблення і використання аерокосмічних даних в інтересах вирішення природно – ресурсних та природоохоронних задач;
- проведення наземних та підсупутникових (авіаційних) калібрувальних-завіркових робіт на українських наземних та морських полігонах, результати яких можуть стано-

вити інтерес також для калібрування матеріалів зйомок з зарубіжних та міжнародних КА;

- створення оперативної системи діагнозу і прогнозу циркуляції екосистеми Чорного моря на основі асиміляції супутникових дистанційних буїв;
- активне використання і подальша модернізація українського радіолокатора бокового огляду для спостережень морів і океанів у рутинному режимі. Комплексування такого радіолокатора з іншими бортовими пристроями спостереження дозволять Україні внести істотний вклад у розвиток світової системи спостережень навколишнього середовища [58].

## **1.2 ОТРИМАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ**

У роботах з проблем використання аерокосмічної інформації з метою вивчення екологічних умов розробляються і висвітлюються конкретні аспекти відбиття на космічних знімках тих або інших екологічних параметрів природного середовища.

**Екологічна інформативність космічних знімків** - кількість вірогідних відомостей про екологічне середовище, тобто умови життєдіяльності живих організмів (у т.ч. людини), які можна отримати при дешифруванні

*При вивченні екологічної інформативності космічних знімків необхідно виділити такі чинники:*

- об'єкт, що вивчається;
- вимоги об'єкту до екологічних умов;

- вхідні матеріали (вид знімання, можливості отримання диференційованого відображення екологічних умов, що вивчаються, або індикаторів).

У межах вивчення земних покривів виникають різноманітні проблеми, пов'язані з антропогенною і природною зміною (порушуються межі природних комплексів, міліють або висихають річки) екологічних умов (наземні, водні, едафічні екосистеми). Одні з цих умов можуть бути виявлені за космічними знімками безпосередньо, інші - лише шляхом побічного виявлення взаємозв'язків, треті потребують аналітичних засобів дослідження. З цього можна зробити висновок, що екологічна інформативність одних і тих же матеріалів космічного фотознімання різноманітна для різних природних об'єктів.

Наприклад, екологічна інформативність космічних знімків найбільш повно вивчена для рослин, тобто відомі їхні вимоги до абіотичних умов середовища і реакції на антропогенний вплив. До того ж рослинність є найяскравішим індикатором екологічного стану природних комплексів різного ієрархічного рангу.

До екологічних умов, необхідних рослинам, належать: забезпеченість світлом, мінеральне харчування і необхідна кількість води. Ці умови визначаються рельєфом місцевості, літологічним складом поверхневих відкладень, геохімічними особливостями, едафічними умовами, глибиною залягання ґрунтових вод.

Визначення екологічної інформативності космічних знімків для вивчення рослинності можна звести до визначення можливості розпізнавання на знімках цих параметрів середовища. Однак при вивченні **екологічних умов довкілля** не можна не враховувати зміни, пов'язані з антропогенним впливом. Це особливо важливо через те, що в результаті господарської діяльності людини відбувається не тільки прямиий, але і побічний вплив на прилеглі ділянки. Всі ці наслідки впливу знаходять відображення на космічних знімках, ускладнюючи завдяки цьому встановлення природних екологічних умов.

На практиці для отримання екологічної інформації найбільш широко використовуються знімки, отримані у **видимому і ближньому інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектру** (рис. 11). На цих знімках знаходять відображення тільки ті об'єкти, що утворюють поверхневу оболонку, тобто є фотофізіономічними, через те, що тільки завдяки їхнім спектральним властивостям, вони відображаються на фотознімках у тоні, кольорі та структурі малюнку.

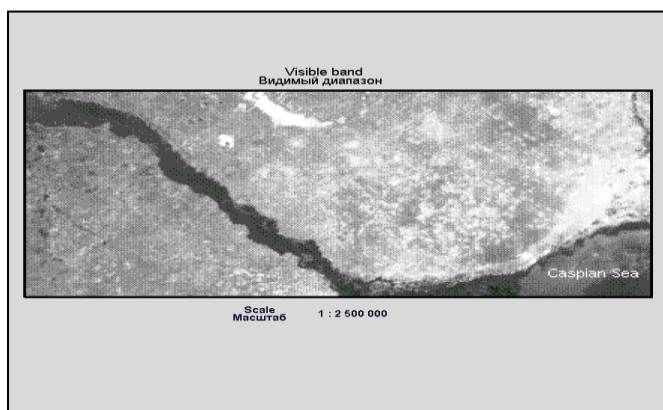


Рисунок 11 - Знімок у видимому діапазоні



Використовуючи різноманітні апарати, плівки, світлофільтри, технології при первинній обробці матеріалів космічних знімків можна одержувати різноманітні за екологічною інформативністю знімки.

Космічні знімки, отримані з пілотованих кораблів і орбітальних станцій апаратами КАТЕ-140, характеризуються дрібним масштабом і розрішаючою здатністю цих матеріалів на місцевості від 40 м і менше. Тому вони використовуються на практиці лише при різноманітному збільшенні відбитків здебільшого при вирішенні екологічних задач великого регіонального рівня. Ці знімки надають добре уявлення про екологічні умови мега- і мезохор рослинності, що займають великі рівнини простору; відомості про мезорельєф, ґрунтовий покрив, характер зволоження.

*Знімки, отримані зі штучних супутників Землі у масштабі 1:1.000.000, мають більш високий дозвіл і за технічними якостями витримують значне збільшення без істотного погіршення якості.* Ці знімки можуть використовуватися для вирішення екологічних завдань конкретних районів і областей, для вивчення екологічних умов окремих природно-територіальних комплексів.

Окрім космічних знімків, виконаних у широкому діапазоні електромагнітного спектру зараз виконується і **багатозональна зйомка. Дослідження знімків, виконаних у вузьких зонах електромагнітного спектру, дозволяє отримати різні показники екологічної інформативності.** Наприклад, при вивченні загальних екологічних умов розвитку рослинності найбільш інформативними є знімки, виконані у зоні 600-740 нм. При вивченні екологічних умов гідро- і гігрофітів цікавим є використання серії знімків, отриманих у ближній інфрачервоній зоні для вираховування заростей рослинності від водної поверхні і в зоні 450-530 нм для вивчення складу даних відкладень.

Для вивчення усіх компонентів природних комплексів найбільш цікаві синтезовані кольорові зображення, одержані при синтезі матеріалів багатозональної зйомки. Незважаючи на погіршення розрішаючої спроможності таких зображень, вони дають широкі можливості для екологічної оцінки кожного компоненту завдяки кольоровій гамі, дешифрувати яку набагато

легше, ніж чорно-білі знімки. Можливі варіанти вхідних матеріалів і фільтрів при синтезуванні дозволяють підібрати найбільш сприятливі поєднання для вивчення екологічних умов. Цим багатозональні синтезовані матеріали кращі за спектрональні знімки, а також передають особливості території в умовних кольорах.

При оцінці екологічної інформативності космічних знімків необхідно враховувати, що вони можуть дати об'єктивне уявлення про екологічні умови великих територій за станом на єдиний момент часу. Тобто жоден з традиційних засобів вивчення і просторового відбивання екологічних умов не може дати таких відомостей.

Особливістю дистанційних засобів досліджень, що підвищують екологічну інформативність космічних знімків, є можливість отримання повторних знімків однієї і тієї ж території через задані проміжки часу, що дозволяє об'єктивно простежити миттєві зміни екологічних умов, їх динаміку і встановити основні її тенденції. У подальшому це дасть можливість прогнозування майбутніх змін природного середовища. На основі аналізу екологічної інформативності окремих космічних знімків і їх якості можна говорити про те, що найбільш повне уявлення про зміну екологічних умов можна отримати, використовуючи лише різноманітну і різночасову космічну інформацію.

Отримання вірогідних відомостей про екологічні умови неможливо без урахування або без визначення на знімках ступеня і характеру антропогенних змін довкілля, тобто при визначенні екологічної інформативності космічних знімків необхідно враховувати можливість дешифрування антропогенних модифікацій екологічних умов. До того ж можливо встановлення як всього комплексу екологічних умов, так і окремих параметрів. Наприклад, аналіз екологічної інформативності чорно-білих космічних знімків, виконаних у широкому діапазоні електромагнітного спектру, показав, що за цими знімками встановлюються антропогенні зміни не тільки фізіологічних компонентів середовища, але і таких важко спостережуваних, як гідрогеологічні умови. Для досліджень у середніх масштабах ці знімки мають достатню екологічну інформативність.

Оцінка й аналіз екологічної інформативності різноманітних матеріалів космічного фотознімання, дослідження можливостей їхнього використання для вивчення цих умов і особливостей розподілу їх за площею показали, що найбільш ефективним засобом дешифрування космічних знімків є **ландшафтно-індикаційний**. Цей засіб базується на встановленні взаємозв'язків між параметрами, що вивчаються, екологічними і фотофізіологічними компонентами ландшафту, що визначають тон, кольорову гаму і структуру малюнків фотозображення. Він знайшов широке розповсюдження не тільки при дешифруванні аерознімків, але і при різноманітних видах тематичної інтерпретації космічних знімків.

Поєднання ландшафтно-індикаційного підходу при інтерпретації космічних знімків з картографічними засобами подання отриманих результатів підвищує екологічну інформативність космічних знімків, тому що є можливість просторового аналізу великих територій, тобто вивчення ландшафтних взаємозв'язків. Складання екологічних карт є одним з раціональних напрямів використання космічних знімків, тому що дозволяє отримати найбільш повне уявлення про будь-які за площею території.

Такі карти дають уявлення про екологічну інформативність усього комплексу використання матеріалів. Але екологічні карти можуть бути надто різноманітними залежно від того, зображується на них комплекс екологічних умов або окремі особливості і характеристики.

Як інтегральна карта, що найбільш повно характеризує екологічну інформативність, може розглядатись **ландшафтно-індикаційна карта, на якій показані основні літолого-геоморфологічні і гідрологічні параметри, умови росту рослинності і їх антропогенні зміни**. Окрім такої карти, за космічними знімками може бути складена спеціальна карта екосистем, що також комплексно відображала б екологічну інформативність вхідних матеріалів. Для цього при екологічному картографуванні виділяються природні комплекси з урахуванням даних про материнські ґрунтоутворюючі породи, поверхневі води, ґрунти, рослинність, антропогенні чинники. При такому підході аналізуються ландшафтні взаємозв'язки і

взаємозалежності між усіма компонентами середовища, а на карті відображається структура і динаміка всіх компонентів з наслідками антропогенного впливу.

Загальне уявлення про отримання екологічної інформації за допомогою космічних знімків з урахуванням антропогенних змін довкілля може бути отримане **за картами антропогенних змін ландшафтів**.

Екологічна інформативність космічних знімків і покриття космічними знімками практично всієї поверхні суші, дозволяють ставити питання про створення карти екологічних районів світу. Така карта, на думку Востокової О. А. (з нашими доповненнями) може забезпечити вирішення низки завдань:

- оглядове планування для управління і охорони природними ресурсами в регіональному плані;
- інвентаризація природних умов і ресурсів;
- розповсюдження основних природних комплексів, їх природний потенціал, антропогенні зміни і динаміка.

Не останню роль для екологічної інформативності космічних знімків відіграє суб'єктивний чинник. Та саме ступінь підготовленості дослідника часто призводить до помилкових висновків при визначенні можливостей використання космічної інформації при екологічних дослідженнях. Значимість цієї інформації може невиправдано завищуватися або навпаки зводиться до нуля.

### **1.3 ЗАСТОСУВАННЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ З МЕТОЮ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Вирішення багатьох екологічних задач є неможливим без використання аерокосмічних методів, які допомагають забезпечити об'єктивність інформації, широту охоплення і оперативність надходження. Створення космічної системи дослідження екологічних компонентів навколишнього середовища дозволяє забезпечити моніторинг стану навколишнього середовища і прогнозувати зміни його якостей.

В основі застосування аерокосмічних способів для потреб раціонального природокористування лежить фіксація господар-

ської організації територій, аналіз її як цілісного утворення, виявлення природних і природо-антропогенних процесів, включаючи процеси, властиві літосфері, біосфері, гідросфері і атмосфері. Особлива увага при цьому приділяється порушенням у природі, економіці, соціально-економічній сфері в результаті неправильного природокористування, а також оцінці екологічних умов.

Аерокосмічні знімки вже зараз застосовують для спостереження за сучасним станом і динамікою природного середовища в глобальних і регіональних масштабах, особливо за вимірами, пов'язаними з антропогенною діяльністю. Це спостереження за процесами забруднення атмосфери і водних басейнів, за станом ґрунтово-рослинного покриву і ландшафтів, включаючи вивчення проблем знеліснення, спустелювання, ерозії і засолення ґрунтів. Інше коло питань пов'язане з самим процесом природокористування і включає оцінку сільськогосподарських земель, сільськогосподарський і лісогосподарський моніторинг, слідкування за динамікою використання земель, за розвитком урбанізації і техногенними змінами природного середовища, контролем за рекультивацією ландшафтів.

Забруднення атмосфери може бути викликане різними чинниками - природними (виверження вулканів), антропогенними (дими і викиди промислових підприємств) та природно-антропогенними (пилові бурі, лісові пожежі). Найбільше просторове розповсюдження має забруднення атмосфери через пилові бурі і лісові пожежі. Задимлення, а інколи і запилення атмосфери добре відображається на космічних знімках. Зображення хмари пилової бурі має смугасту або струмкову структуру, добре відображену на космічних знімках у випадку проходження хмари над темною поверхнею, наприклад, водою. Космічні знімки високої розрішальної спроможності з ресурсних супутників дозволяють судити про розповсюдження маси пилових часток у хмарі, а більш оглядові знімки з метеосупутника визначають площу пилових хмар, не те ні інше не можливо іншими засобами.

Дими лісових і багрових пожеж мають конусоподібну або смугасту форму, волокнувату або кубоподібну структуру. Для спостереження за димами лісових пожеж доцільно використовувати

вати знімки з метеорологічних супутників, отримані сканерами малої і середньої розрішальної здатності, що характеризуються континентальним або макрорегіональним охопленням спостережень.

Задимлення атмосфери димами фабрик і заводів, смогами над містами, інверсійними слідами від літаків, димами від спалювання сміття звичайно має більш локальний характер і відображається на знімках високої розрішальної спроможності. При ясній погоді в зимовий час видні витягнені за напрямом вітру паро-димові шлейфи, що добре виділяються на знімках завдяки зображенню затінку від них на снігу. Нерідко деталі будівель великих міст важко проглядаються на знімках під смогом і димовими хмарами. За знімками можуть бути виділені зони різної концентрації димового забруднення.

Антропогенний вплив на атмосферу сприяє зміні температури повітря над промисловими об'єктами і великими населеними пунктами. Теплові інфрачервоні знімки, що систематично надходять з метеорологічних супутників, дозволяють у глобальному масштабі організувати моніторинг за цим видом впливу. Так, на тепловому інфрачервоному знімку атлантичного узбережжя США з супутника НОАА чітко виділяються темні плями в районі великих міст. Це результат теплового впливу міст; підвищення температури поверхні в них досягало в момент зйомки декількох градусів. Автоматизована обробка таких знімків надто перспективна і переслідує таку мету: аналіз яскравості зображення, кольорове квантування за заданими рівнями і кольорокодування зображення, що дозволить автоматично отримати картинку розподілу температури поверхні та ізолінії температур з заданими значеннями; трансформування обробленого знімку в задану картографічну проекцію і його координатну прив'язку, нанесення мережі географічних координат для перетворення результату обробки знімку в карту температур поверхні.

Визначення якості вод океану та їх антропогенного забруднення з космосу також є можливим. Космічні знімки дають матеріал для вивчення умов, що визначають якість вод, наприклад, стан середовища в басейнах водосховищ. Ландшафти водозбірних басейнів водосховищ добре відображаються на знімках, фіксується їхня засоленість, розораність, еродованість; знімки мо-

жуть бути використані для вивчення впливу інтенсивності антропогенного впливу в водозбірних басейнах на якість вод водосховищ, яка багато в чому визначається розвитком у басейні процесів змивання ґрунтів і винесенням еродованого матеріалу водотоками в водосховище.

За знімками можна визначити джерела забруднення вод і розподіл забруднення в плані і за глибиною, причому такий аналіз можливий як в локальних масштабах, що особливо важливо для внутрішніх водосховищ, так і в глобальних, для вод Світового океану. Шляхи розповсюдження забруднень пов'язані з гідродинамікою потоків.

Для глобального аналізу динаміки водних мас океану надзвичайно ефективним є використання теплових інфрачервоних знімків, на яких візуалізуються температурні фронти і течії, що втручаються в зони океану з іншими температурами.

При вивченні шляхів розповсюдження забруднення важливо отримати карту розподілу завислих речовин не тільки в плані, але і за глибиною. Таку можливість різноглибинного аналізу водосховища забезпечує багатозональна зйомка. Автоматизоване яскраве квантування кожного зонального знімку дозволяє простежити розподіл концентрації забруднення вод у різноманітному за товщиною шарі.

В озерних водосховищах суші, що використовуються для скидання забруднених промислових вод, за знімками виявляються джерела надходження забруднюючих речовин і їх розповсюдження. Автоматизована обробка знімку - кольорове квантування з кольорокодуванням дозволяє чітко виділити зони з різноманітною концентрацією забруднення, простежити його розповсюдження по поверхні озера. Повторні знімки дозволяють проаналізувати просторово-часову мінливість у розповсюдженні забруднень. Для цього також можна звернутися до цифрової обробки знімків, у процесі якої можна звести зображення до одного масштабу і проекції, тобто зробити їх сумісними, а після цього зіставити.

Для вод Світового океану також можливі визначення за знімками великих джерел забруднення - механічного, теплового, а інколи і хімічного, виявлення районів скидання промислових вод і відходів. Нафтові забруднення фіксуються завдяки впливу

нафтової плівки, що зменшує хвилювання вод. На знімках у видимому діапазоні нафтові забруднення зображаються в вигляді темних плям, фіксуються вони за допомогою радіолокації при певних кутах візування.

На сьогодні вже існує глобальна система регулярного обстеження акваторій океанів і морів з космосу відпрацьовані системи ресстрації нафтових забруднень, створені світові та регіональні екологічні карти динаміки забруднень поверхні Світового океану нафтовими плівками.

### **Аерокосмічне виявлення антропогенного впливу на ґрунтово-рослинний покрив і ландшафти**

Зростання масштабів господарської діяльності викликало такі екологічні проблеми, як ерозія і засоленість земель, спустелювання і знеліснення, частина з яких прийняла глобальний характер. Усі названі несприятливі наслідки антропогенного впливу на природу добре відображаються на аерознімках і космічних знімках, що надає можливість аерокосмічного моніторингу цих процесів.

При відбиванні на космічних знімках еродованості та змитості ґрунтів важливо не тільки констатувати факт змиву ґрунтів, але і дати кількісне визначення змитості ґрунтів, втрат гумусу в них, що представляє більш складну задачу і вимагає цифрової обробки знімків. Вона заснована на врахуванні впливу гумусності ґрунтів, на їх спектральну відбивну спроможність. Дослідження з зіставлення спектральної яскравості ґрунтів, визначеної в натурі і на основі аналізу багатозональних сканерних знімків, довели, що за знімками, які можна отримати, наприклад, за допомогою багатозональної скануючої апаратури високого розв'язання, можна виділити області з вмістом гумусу в верхньому шарі 2,5 %; 3,0 %; 3,5 %. Результати цього експерименту вказують на можливість картографування вмісту гумусу за космічними знімками, що не вдається при великому вмісті гумусу, тобто в межах чорноземної зони.

Дослідження лінійної ерозії, розвитку ерозійного рельєфу виконується за знімками районів з великими формами ерозій-



ного розчленування, добре розвиненою яружно-балковою мережею. Хоча вивчення власне яружно-балкової ерозії за космічними знімками вимагає від знімків дуже високої розрішальної спроможності, однак балочне розчленування добре відображається на космічних знімках, зроблених навесні і восени, особливо в ближній інфрачервоній зоні. Знімки є гарним матеріалом для районування території за ступенем порушення земель лінійною ерозією. **Об'єктивність такої оцінки підвищується при використанні автоматизованої обробки знімків.** Серед несприятливих процесів, що розвиваються при використанні ґрунтів аридних районів, особливе місце займає їх вторинне засолення при зрошуваному землеробстві. Спостереження за цими процесами на полях оазисів вимагає застосування знімків дуже високого розрішення, краще – аерофотознімків, але просторі ділянки вторинного засолення за межами оазисів зрошуваного землеробства, в районах скидання вод після полива добре виділяються навіть на оглядових космічних знімках, завдяки наявності світлих плям виходів солей на поверхні ґрунту. Це забезпечує можливість моніторингу процесів вторинного засолення резервних необроблених земель у районах скидання вод після зрошення полів оазисів.

Космічні знімки являють собою ефективний спосіб стеження за процесами спустелювання, що визнано тепер серйозною глобальною проблемою. Загрозливий характер мають ці процеси в аридних районах південних країн, що використовуються для пасовищного тваринництва, де непомірне пасовищне навантаження призводить до розвитку, характерного для таких районів приколодязьного спустелювання, – витоптування рослинного покриву і розладу ґрунтів навколо колодязів, водопоїв і літніх лагерів худоби. Місця приколодязьного спустелювання мають особливу плямисту структуру зображення, що відстежується не тільки на фотографічних знімках, але навіть на знімках, зроблених сканером середньої розрішальної спроможності зі супутників. Це зумовлює використання знімків при фундаментальному картографуванні спустелювання, що виконується в глобальних масштабах за широкомасштабними космічними проектами. Знімки дають основу для оперативного картографування стану пустельних

пасовищ з наданням рекомендацій щодо переміщення отар і оптимальних районів випасу.

Вивчення процесів знеліснення, моніторинг змін меж і площ лісів також вимагає застосування космічної інформації. Для лісів помірної зони такий моніторинг найбільш ефективний з використанням зимових знімків, отриманих за наявності снігового покриву, коли завдяки сильному контрасту між темними контурами лісів і білими засніженими безлісими просторами істотно підвищується детальність зображення при достатньо впевненому виділенні меж лісів. Космічні знімки використовуються для контролю за порядком лісоутворення, дотриманням лісозаготівельних правил рубок, оцінки стану вирубок, лісовідновленням на них. Автоматизована обробка знімків покращує дешифрування.

За знімками виявляються наслідки впливу лісових пожеж, визначаються площі згарищ і стадії післяпожежного відновлення рослинності. Виділення динамічних рядів відновно-вікових стадій лісу на основі ландшафтного підходу при автоматизованій обробці знімків вимагає застосування засобів класифікації з навчанням і гарного еталонного наземного обґрунтування.

У системі лісопатологічного моніторингу аерокосмічна зйомка дозволяє встановити зростання спалахів масового розмноження шкідників на основі врахування змін спектральної яскравості лісових площ. Таким чином, автоматизована обробка космічних знімків необхідна для вирішення широкого кола екологічних проблем, пов'язаних з лісовою рослинністю.

Глобальний моніторинг рослинності в сучасних дослідженнях ґрунтується на визначенні вегетаційного індексу, що вимагає високого ступеня автоматизації обробки знімків. Поелементне визначення зональних яскравостей за знімками в різних зонах спектру з урахуванням необхідних корекцій і розрахунків за ними показника вегетаційного індексу шляхом складання, віднімання, ділення значень яскравостей, а після цього і зіставлення цього показника для різночасових знімків неможливо виконати без використання комп'ютерних технологій.

Наведені приклади вивчення антропогенного впливу на природу свідчать про безумовну доцільність використання космічної інформації для вивчення сучасних ландшафтів і їх антропогенних модифікацій.

## Дистанційна оцінка сільськогосподарських земель. Сільськогосподарський моніторинг

Широке коло питань раціонального природокористування пов'язане з сільськогосподарським використанням земель. Унікальні можливості космічної інформації у вирішенні сільськогосподарських задач виявилися в експериментах з прогнозування врожайів на великих площах, основаних на оперативному підрахунку за космічними знімками площ під основними зерновими культурами, розпізнання яких і саме визначення площ проводиться автоматизованими засобами. Інша важлива в сільськогосподарському відношенні задача - оцінка біопродуктивності посівів сільськогосподарських культур і кормових угідь. Вона ґрунтується на використанні залежності співвідношення яскравості зображення природної або сільськогосподарської рослинності в видимій і ближній інфрачервоній зоні від обсягу зеленої маси рослинності, що виражається через так званий «зелений індекс». Визначення зеленого індексу, його розрахунок за значеннями яскравості зображення на знімках у червоній і ближній інфрачервоній зоні найбільш доцільний при використанні автоматизованої обробки знімків, що дозволяє проводити таке визначення для значних площ і виконувати картографування цього показника.

Для автоматизованого сільськогосподарського аналізу космічних знімків є важливим те, що **вони потребували проведення масових спектрометричних робіт**, у результаті яких визначаються коефіцієнти спектральної яскравості різних культур у різних стадіях вегетації і при неоднаковій мірі забрудненості бур'янами різних надходжень. Ці дані можуть використовуватись як **еталонні** при аналізі космічних знімків. Виявилося, що дефіцит азоту, хвороби, старіння обумовлює зниження концентрації хлорофілу в листях, відбивна спроможність хворої рослинності зменшується в ближній інфрачервоній і збільшується в червоній зоні; таким чином всі несприятливі процеси впливають на відхилення спектральної яскравості в цих зонах.

## Дослідження міст за космічними знімками

Сканерні знімки високої розрешаючої спроможності, що були отримані у середині ХХ сторіччя передають інтегральне відображення щільність забудови - райони з дуже щільною забудовою мають різну яскравість зображення, а розріджена забудова окраїн виділяється не тільки завдяки збільшенню яскравості, але і в зв'язку з особливою зернистою структурою зображення. За різночасовими знімками вдається простежити за змінами в щільності забудови, що, наприклад, було зроблене для великих міст за знімками зі штучних супутників Землі.

Райони з різною щільністю забудови виділяються і при використанні засобів автоматизованої класифікації. Однак знімків з розв'язанням 80-85 м для дослідження внутрішньої структури міста і визначення його кордонів все ж недостатньо. Тому зрозуміла цікавість, виявлена урбаністами у 90-ті роки ХХ сторіччя до сканерних знімків, що з'явилися з розв'язанням 30 м, на яких структура міста виявляється на новому рівні - виділяються не інтегральні райони з різною щільністю забудови, а планувальна структура міста з зображенням у вигляді світлих смуг проїжджої частини вулиць спільно з рядами будинків, що примикають. Знімки, які у свій час надходили з французького супутника СТОН з 1986 р. мали розв'язання 10 м, і були придатні для детальних досліджень процесів урбанізації - виділення фактичної межі міста і простежування її динаміки, впевненого і детального картографування дослідження антропогенізованих ґрунтів.

За космічними знімками досліджується негативний вплив міст на довкілля- утворення навколо них просторих зон теплових, радіаційних і пилогазових аномалій. В якості індикатора розповсюдження міських забруднень виявилось зручним використовувати сніговий покрив, альbedo якого при забрудненні знижується до 0,20-0,30 (проти 0,70-0,90 для чистого снігу). Для таких досліджень важлива цифрова обробка, що дозволяє дати більш об'єктивні оцінки альbedo визначити площі забруднення, що в 2-5 раз перевищують розміри міст.

Сьогодні існує і активно розвивається на основі дистанційних досліджень міст спеціальний напрям у екології – урбоекологія. Вона передбачає використання космічних знімків для інтегральних оцінок навколишнього середовища міст.

## **Вдосконалення засобів вирішення екологічних проблем і охорони навколишнього середовища**

Автоматизована обробка знімків забезпечує здійснення дистанційного екологічного моніторингу порушених окремих компонентів довкілля. Вона сприяє розвитку і ретроспективного історичного моніторингу, необхідну основу для якого може надавати відображення на знімках районів давніх поселень, давнього сільськогосподарського використання.

Яскравий приклад використання **автоматизованої обробки повторних знімків** для ретроспективного моніторингу - фіксація за космічними знімками колишніх кордонів водосховищ, наприклад, створення карт динаміки берегової лінії Аральського, Азовського, Каспійського морів за повторними знімками. Дешифрування ж одноразових знімків за побічними індикаторами інколи дає можливість проникнути значно глибше у історію розвитку природних комплексів.

Автоматизована обробка багаточасових знімків дає основу для вивчення просторово-часової мінливості природних і антропогенно порушених об'єктів, що необхідно для встановлення тенденцій їхнього розвитку і розробки прогнозу. Робота з аерокосмічними знімками сприяє виявленню різноманітних нових природних індикаторів антропогенного впливу, наприклад, дозволяє вивчати стан лісів у районах промислових викидів сірчистого газу, зміни стану лісів від корінних хвойних і вторинних листяних порід у місцях давніх вирубок. Космічні знімки мають велике значення як засоби досліджень екологічних проблем, що пов'язане з моделюванням. При розвитку моделювання знімки повинні сприяти вирішенню найважчих задач переходу від локальних та регіональних моделей до глобального моделювання. Ці та інші вади аерокосмічних знімків зумовлюють їх істотну роль у розвитку геоінформаційних систем.

## 1.4 ВИДИ АЕРОКОСМІЧНОЇ ЗЙОМКИ

**Аерокосмічні методи** являють собою багатопланові дослідження Землі і навколосемного космічного простору, які виконуються за матеріалами повітряної і космічної зйомки.

Такі методи досліджень засновані на властивостях об'єктів при  $t$  вище абсолютного нуля поглинати або випромінювати електромагнітну енергію на специфічних, характерних для даного об'єкта довжинах хвиль. При порівнянні й аналізі ці спектральні характеристики дають можливість бачити розходження між об'єктами й одержувати про них різного роду інформацію.

*Фізична сутність сучасних дистанційних видів зйомки полягає у цифровій, фотографічній або графічній реєстрації ультрафіолетового, видимого, інфрачервоного і гамма-випромінювань, радіохвиль, радіоактивних процесів, а також геомагнітного, штучного електричного і гравітаційних полів.*

Структура космічної системи вивчення природних ресурсів наведено на рисунку 12.

Реєстрація сигналів може здійснюватися за допомогою цифрових фотографічних систем, оптико-електронних систем і геофізичних приймачів.

Таким чином, сучасні види дистанційних зйомок залежно від типу приймача і способу реєстрації об'єктів і явищ можна поділити на 4 види (табл. 2):

- візуальні, - фотографічні,
- фотоелектронні, - геофізичні.

**Візуальні спостереження** природних об'єктів з літаків, гелікоптерів або космічних кораблів дозволяють збільшити ефективність виконання низки задач щодо дослідження природних ресурсів Землі за рахунок скорочення обсягу інформації, що

фіксується, її попереднього опрацювання і добору перед передачею на Землю.

**Фотографічна** аерокосмічна зйомка дуже поширена через наочні знімки, які отримують за допомогою цієї зйомки. Такі зображення є найбільш змістовними та детальними, тому фотографічна зйомка з літальних апаратів найбільш розповсюджена.

**Фотоелектронна зйомка** дає можливість систематичного одержання зображення всієї поверхні Землі протягом тривалого часу.

**Геофізична зйомка** використовується для геологічних досліджень, де основним чинником, що забезпечує формування сигналу, є гірські породи, у той час як вплив інших компонентів ландшафту близькій до нуля.

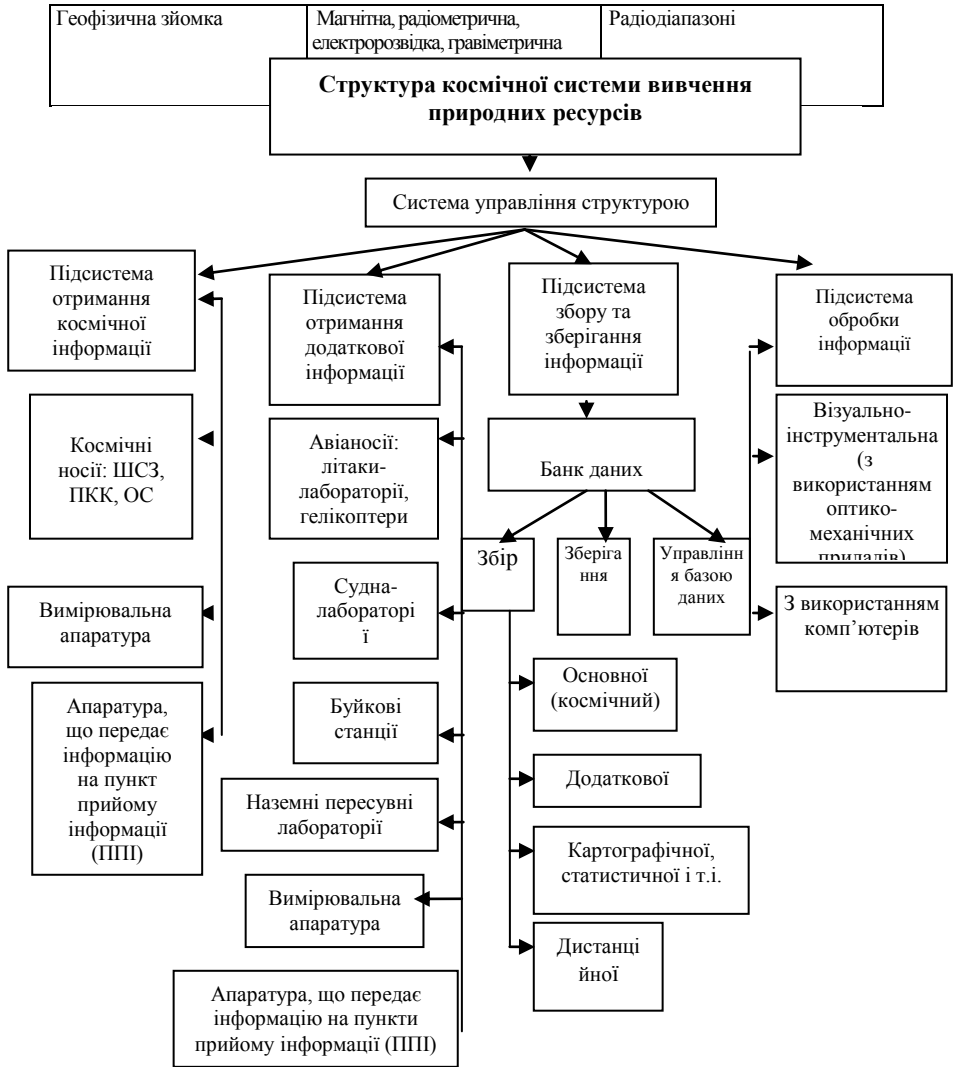
Методи дистанційного дослідження можуть бути розділені на дві основні групи: *активні і пасивні*.

При **активних методах зйомки використовують прилади, що генерують спрямоване випромінювання, у результаті взаємодії якого з об'єктом земної поверхні виникає зворотний сигнал, що вимірюється бортовим приймачем.** До активних методів зйомки належить *радіолокаційна зйомка*.

Таблиця 2

### Види космічних зйомок

Аерокосмічні методи	Види зйомок	Область спектру
1	2	3
Візуальні дослідження	Візуальні остереження, окомірна зйомка, дешифрування знімків у польоті	Видима
Фотографічна зйомка	Чорно-біла, спектро-зональна, кольорова, кольорова спектро-зональна, інфрачервона, голографія	Видима, інфрачервона (ближній діапазон)
Фотоелектронна зйомка	Телевізійна, тепла (ІК), радіотеплова, радіолокаційна, ультрафіолетова спектрометрична	Видима, інфрачервона (теплова) радіодіапазон



**Рисунок 12 - Структура космічної системи вивчення природних ресурсів**

При **пасивних методах зйомки** використовують прилади, які не генерують випромінювання. *Ці методи засновані на реєстрації випромінювань, що йдуть від поверхні Землі і з атмос-*



**фери.** До них належать: *візуальні спостереження; спостереження, засновані на одержанні фотографічних і телевізійних зображень, а також зображень, отриманих за допомогою радіометрів, що сканують у діапазоні видимого спектру, у ближньому інфрачервоному і мікрохвильовому діапазонах.*

**Космічний ярус.** Для зйомок із космосу, тобто з висот більше 100 км, використовують як автоматичні, так і пілотовані космічні апарати (рис. 13). **Штучні супутники Землі (ШСЗ) - це відносно невеликі космічні апарати, призначені для зйомок. Значно більші можливості для розміщення й енергозабезпечення знімальної апаратури є на орбітальних станціях і комплексах.**

Космічна зйомка виконується з носія, що переміщається за визначеною орбітою. Супутники для зйомки Землі запускаються на орбіти з різними висотами. Найбільш поширені висоти - 300, 600, 900, 36000 км. У міру збільшення висоти зростає час існування супутників, охоплення зйомкою, але зменшується розрешаюча спроможність знімка. Супутник рухається по орбіті зі швидкістю, що перевищує швидкість літака в сотні разів. Для навколоремних орбіт період обертання супутника в середньому складає біля 1,5 години. Космічна зйомка може виконуватися при різних положеннях оптичної вісі знімального апарату стосовно напрямку місцевої вертикалі. Залежно від цього розрізняють: *планову, перспективну, планово-перспективну і панорамну зйомки.*

Панорамна зйомка дозволяє схопити більшу площу, ніж при плановій зйомці, а також виключити перекручування зображення через особливості самої зйомки. При плановій зйомці утворюється найкраща якість зображення і досягається найбільша спроможність.

**Авіаційний ярус.** Для аерознімальних використовують або спеціально пристосовані літаки, або гелікоптери. Залежно від напрямку оптичної осі знімального апарату розрізняють планове і перспективне аерознімання. При **плановому** (вертикальному) аерозніманні вісь знімального апарату приводять у стрімке положення, при якому знімок горизонтальний. Але через коливання літака в процесі польоту апарат нахилиється. У порівнянні

з плановим, перспективний знімок охоплює велику площу, а зображення утворюється в більш звичному для людини ракурсі.

Крім того використовують в залежності від характеру покриття місцевості знімками, аерофотозйомку одномаршрутну, багатомаршрутну (або площадку) та вибіркову.

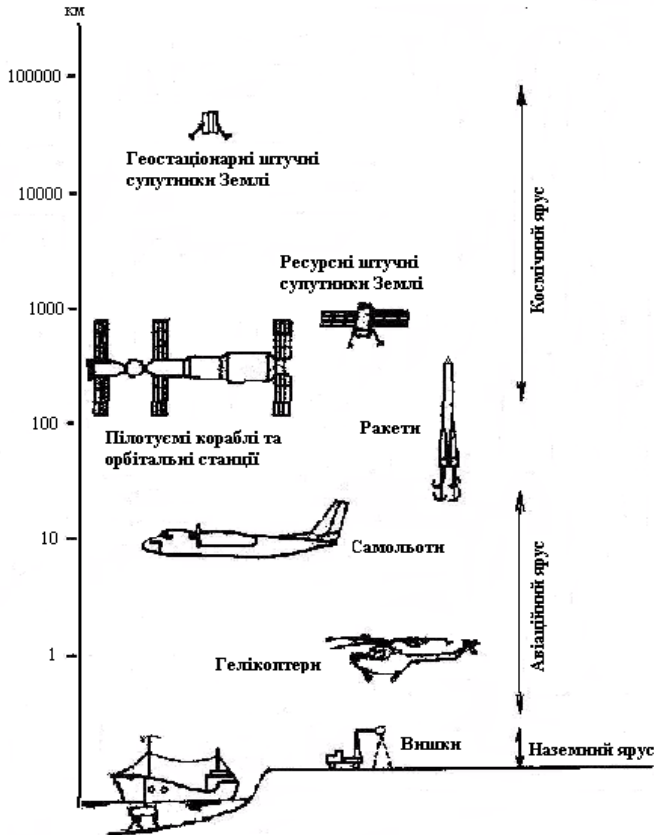


Рисунок 13 – Багатоярусні дослідження [37]

**Планова зйомка** - відбувається коли космічний апарат знаходиться над об'єктом і **оптична вісь** апарата збігається з напрямом місцевої вертикалі або відхиляється від неї більше ніж на  $3^{\circ}$ - $5^{\circ}$ .

Масштаб зображення на плановому знімку постійний в усіх напрямках, тому планова зйомка використовується в тих випадках, якщо необхідно одержати точні геометричні характеристики об'єктів, що знімаються.

**Перспективна зйомка - оптична вісь** апарата відхиляється щодо місцевої вертикалі більш ніж на  $5^\circ$ . Найкраща перспективність знімків спостерігається при куті відхилення оптичної вісі від напрямку місцевої вертикалі,

У цьому випадку масштаб фотознімка для переднього і заднього планів буде різним. Але незважаючи на значну дрібномасштабність зображення на перспективних знімках, вони успішно використовуються для дешифрування, особливо в тих випадках, коли необхідний самий факт встановлення об'єктів зйомки.

**Планово-перспективна космічна зйомка** здійснюється, якщо на борту космічного корабля знаходиться не менше 3-х знімальних камер, дві з них виконують перспективну зйомку, а центральна камера - планову.

Цей вид зйомки дозволяє одночасно одержувати планові знімки для цілей картографування і перспективні - для дешифрування і виконання різних досліджень.

**Панорамна зйомка** здійснюється знімальним апаратом, у якому об'єктив знаходиться в напрямі, перпендикулярному до руху носія.

**Вибіркова аерофотозйомка** відбувається в тому випадку, коли об'єкт зйомки невеликий і розміщується на одному чи декількох знімках.

**Одномаршрутна аерофотозйомка** використовується при дослідженнях річкових долин, прибережної полоси та ін.

**Багатомаршрутне (або площадне) планове аерознімання**, при якому ділянка, яка знімається, суцільно вкривається серією рівнобіжних прямолінійних маршрутів. У маршруті на кожному наступному знімку зображується частина місцевості, сфотографована на попередньому знімку, тобто аерофотознімки завжди одержують із подовженим перекриттям, яке зазвичай виражають у відсотковому відношенні. Аерознімальні маршрути прокладають так, щоб знімки сусідніх маршрутів мали поперечне перекриття. Зазвичай перекриття складають: **продольне - 65 %, а поперечне – 35 %**.

Прокладає курс самолёта *штурман*. Він також задає і висоту польоту для дотримання масштабу зйомки. *Бортператор* одночасно зі спостереженнями та роботою з фотоапаратом записує результати зйомки в спеціальний журнал. В ньому також записуються: кількість знімків, що було зроблено на даному відрізьку маршрута, відмічаються збої в роботі фотоапарата, зміна умов зйомки.

Отже, за рахунок багатоярусності зйомок виконуються дослідження, що охоплюють всю планету Земля та окремі її регіони.

### **1.4.1 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АЕРОКОСМІЧНОЇ ЗЙОМКИ**

Технічні засоби аерокосмічної зйомки включають апаратуру і системи, що реєструють інформацію, яка надходить від об'єктів, та передають цю інформацію на приймальні станції: *літаки і космічні літальні апарати (КЛА); носії дослідницької апаратури, призначеної для одержання необхідної інформації; засоби прийому й опрацювання отриманої інформації*.

Однією з важливих характеристик апаратури та систем, які реєструють інформацію є **розрішаюча здатність** – це здатність відтворювати найменші деталі зображення, розміри яких на знімку вимірюються долями міліметра. Вимірюється числом ліній, що роздільно передаються на одному міліметрі зображення. При кількості ліній (штрихів), що перевищують розрішаючу здатність зображення зіллється у рівномірний сірий фон.

**Знімальна апаратура.** Залежно від принципу дії і діапазону електромагнітного спектру, для роботи в якому призначені прилади і комплекси апаратури, що використовуються при аерокосмічній зйомці, апаратура і системи можуть бути поділені на *пасивні й активні*.

**Пасивні** знімальні системи можна поділити на фотографічні, телевізійні, радіометричні і багатоспектральні системи, що сканують (сканери).

**Тепловізори.** Інфрачервоні відеосистеми використовуються в усьому світі в різних галузях промисловості для контролю над безперервними технологічними процесами. Інфрачервона технологія дозволяє одержувати теплову інформацію, що допомагає проводити аналіз досліджуваної території, що важко або неможливо забезпечити при використанні таких звичайних засобів, як термопари або відеокамери. Тепловізори (рис. 14) є ідеальним вибором для промислових застосувань і застосувань у складі засобів автоматизації космічних досліджень, які вимагають точного безконтактного виміру температури.

Фотографічну апаратуру за конструктивним методом побудови зображення можна поділити на **кадрові апарати, щілинні, панорамні і сканери**. Переваги *кадрових знімальних камер* заключається в одномоментному отриманні всього знімка в центральній проекції, що забезпечує високу геометричну точність знімків та можливість створювати з них стереоскопічні пари. У *щілинних знімальних камерах* аерофотоплівка переміщується синхронно зі швидкістю польоту літака та місцевість проектується через вузьку постійно відкриту щілину. В результаті виходить плівка з нерозривним зображенням місцевості.

**Аерофотоапарати.** Найбільш розповсюджений розмір кадра аерофотоапаратів  $18 \times 18$  см, хоча використовуються аерофотоапарати з розміром кадру  $30 \times 30$  см.



Рисунок 14 - Сучасні тепловізори

До **активних** систем належать радіолокаційні системи.

В аерофотоапаратах встановлюються високоякісні об'єктиви з фокусною відстанню від 35 до 1000 мм. Формат кадру та фокусну відстань визначає кут поля зору аерофотоапарата. В залежності від цього кута розрізняють аерофотоапарати *вузько кутові* (з кутом поля зору до  $40^\circ$ ), *нормальні* ( $40-80^\circ$ ), та *широко кутові* ( $80-140^\circ$ ). Зі збільшенням кута поля зору збільшується територіальний захват зйомки, але поряд з цим погіршується якість зображення та рівномірність освітлення кадру.

**Космічні фотоапарати.** Є модифікаціями аерофотоапаратів, їх слід розділити на автоматизовані фотоапарати, що встановлюються на пілотованих космічних кораблях, та повні автомати для зйомки з непілотованих космічних кораблів. Автоматичні фотоапарати бувають двох варіантів – з поверненням відзнятої плівки на Землю та зповною фотохімічною обробкою плівки на борту, перетворенням зображення в електричні сигнали та передачею їх на Землю по радіоканалу. Останній варіант частіше називають фото-телевізійними системами [43].

**Сканери.** За допомогою сканерів формуються «мозаїчні» знімки, що складаються з багатьох окремих, послідовно отриманих елементів зображення. При сканерній зйомці зображення місцевості отримують у вигляді непреривної смуги, що складається зі смуг (сканів), що в свою чергу складаються з окремих елементів (пікселів).

**Сканування - це послідовний порядковий перегляд смуги місцевості з КЛА або літака.** Зображення формується по мірі переміщення КЛА по трасі польоту за рахунок додавання окремих рядків. Рядки сканування зазвичай розташовуються перпендикулярно до напрямку польоту. Радіометри, що сканують, за спектральним діапазоном можуть бути поділені на сканери видимого діапазону ( $\lambda = 0,4-0,7$  мкм), ІЧ радіометри ( $\lambda = 0,9-1,3; 1,5-1,8; 2-2,5; 3-4; 8-12$  мкм), мікрохвильові радіометри, що сканують ( $\lambda = 1,55$  см) і багатоспектральні системи, що сканують, які обладнані приймачами.

Телевізійна апаратура поділяється за засобом запису та передачі відеоінформації на **оптичну, оптико-механічну і фототелевізійну**. За спектральним діапазоном фотографічні і телевізійні системи охоплюють довгохвильову частину УФ-діапазону (0,3-0,4 мкм), видиму і ближню ІЧ-область (0,4-0,9 мкм) спектру. На виході таких камер формується видиме зображення об'єкту.

**Телевізійні камери.** Основна частина телевізійної камери – передаюча трубка, відікон. Об'єктив камери під час експозиції будує зображення на світлочутливому екрані відікона, який його фіксує на деякий час. В інтервалі між експозиціями електронний промінь трубки, скануючи екран відікона, формує електричний відеосигнал, що передається каналами космічного відеозв'язку чи записується на магнітну плівку апарата.

Бічний огляд – один з видів активної зйомки з рухомого носія – здійснюється в радіо або акустичному діапазонах хвиль за допомогою знімальних систем – **радіолокатора бічного огляду та гідролокатора бічного огляду** (рис.15).



**Рисунок 15 - Сучасні гідролокатори бічного огляду**

Можлива також активна зйомка за допомогою лазерних локаторів (лідарів), що використовують монохроматичне випромінювання УФ та видимого діапазонів. Локатори бічного огляду є прикладами знімальних систем, що дозволяють отримати «строчні» знімки.

**ЛІДАР - скорочення від Light Distance And Ranging.** ЛІДАР, або лазерний локатор, випромінює пучок невидимих променів, що високо фокусує, у видимому діапазоні частот. Принцип дії лідара у вимірюванні інтенсивності розсіювання лазерного випромінювання аерозолем атмосфери. Лідар посилає в атмосферу короткий імпульс світла і приймає назад сигнал зворотнього розсіювання.



Розсіювання світла в атмосфері відбувається як молекулами повітря (Релеєвське розсіювання), так і частинками аерозоля. Таким чином, наявність аерозоля в атмосфері посилює сигнал зворотнього розсіювання у порівнянні з чистою атмосферою і концентрація аерозоля може бути визначена як функція відстані і інтенсивності сигналу на фоні чистої атмосфери.

Для вирішення кожної конкретної задачі, що стосується вивчення атмосферних явищ, у тому числі забруднення, використовується певна схема лідара (рис. 16). Проте у всіх випадках в лідарі неодмінно присутні три основні блоки: *лазерне джерело випромінювання з антеною, що передає; приймальна антена з фотодетектором; реєстратор лідарних сигналів*. Для багатьох завдань, що стосуються вивчення різноманітних атмосферних явищ, необхідно селектувати отриманий приймальною антеною лідарний сигнал за спектральними частотами та за поляризацією. У цих випадках на виході приймальної антени лідара встановлюють аналізатори спектру або поляризації оптичного сигналу, що приймається. Отже, до основних блоків лідара можна віднести також аналізатори спектру або поляризації лідарного сигналу. Крім того, реєстрація таких швидкоплинних процесів, яким є лідарний сигнал, неможлива без використання швидкодіючих процесорів. Як правило для цих цілей використовують сучасні комп'ютерні технології, які дозволяють не тільки обробляти, зберігати і візуалізувати лідарні дані, але і контролювати параметри і управляти всіма компонентами лідара в автоматизованому режимі.

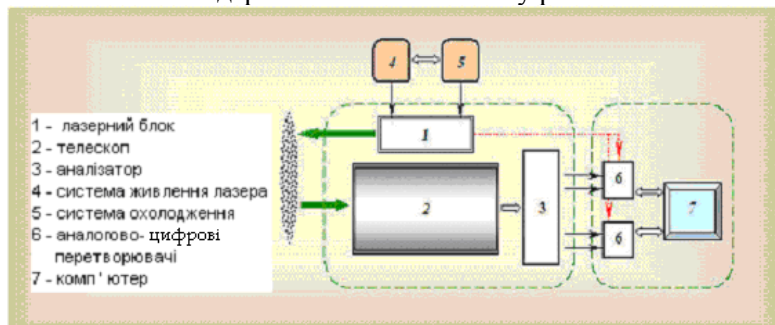


Рисунок 16 - Схема лазерного локатора (лідара)

**Радіолокаційні системи** - це радіометри активного типу, що сприймають відбиту від об'єкта енергію при його опроміненні у визначеній ділянці радіочастотного або видимого діапазонів спектру.

Для вимірів спектральних характеристик відбитка різних природних утворень використовуються спектрометри-прилади, що сприймають відбиту об'єктом енергію або енергію, що випромінюється об'єктом, одночасно в декількох, значно більш вузьких, ніж у радіометрах, смугах УФ, ІЧ- або радіочастотного діапазонів спектру.

### **Носії знімальної апаратури**

Знімальна апаратура встановлюється на носіях, що піднімають апаратуру на необхідну висоту для виконання повітряної або космічної зйомки, чи на наземних стаціонарних або пересувних лабораторіях і дослідницьких судах, що виконують всебічні дослідження. Крім цього, зйомки виконуються і з різного виду ракет, аеростатів, повітряних куль тощо.

Найбільш широко для аерокосмічної зйомки використовуються авіаційні і космічні літальні апарати, що включають літаки і космічні кораблі різного призначення.

**Авіаційні носії.** Аерофотознімання виконують із літаків різних типів: АН-2, ІЛ-14, АН-30, а також гелікоптерів КА-18.

Літак АН-2 використовується зазвичай для аерофотознімання великих масштабів (від 1:25000 до 1:10000), при зйомці невеликих ділянок і трас.

Літак ІЛ-14 використовується для проведення аерознімання в середніх і великих масштабах. Устаткування дозволяє робити польоти в складних метеоумовах удень і вночі.

Літак АН-30 використовується для аерофотознімання в масштабах від 1:5000 до 1:200000.

Гелікоптери (МІ-1, МІ-4, КА-18, КА-2б) використовуються для аерофотознімання невеликих територій, промислових майданчиків.

**Характеристика літаків та гелікоптерів, які застосовуються для виконання польотнознімальних робіт**

<i>Характеристики</i>	<i>Літаки</i>		<i>Гелікоптери</i>	
	<i>АН-</i>	<i>ІЛ-І4</i>	<i>АН-2</i>	<i>К</i>
Польотна вага, т	23	18	5	1,5 110
Крейсерська швидкість, км/ч	350	320	180	3,0
Практичний поштовк, км	7,0	6,5	4,5	
Максимальна дальність польоту при найвигіднішому режимі, км	2500	2100	1300	750

**Космічні носії.** Класифікація КА є завданням досить трудомістким, оскільки кожен апарат унікальний, а коло завдань, що розв'язують КА, постійно розширюється. Найбільш необхідними на сьогоднішній день є супутники зв'язку, навігаційні, дистанційного зондування Землі й наукові. Супутники військового призначення й супутники-розвідники становлять окремий клас, але по суті своїй вони вирішують ті ж завдання, що і їх «мирні» побратими.

Інформацію з космосу одержують за допомогою знімальної апаратури, яка встановлюється на *космічних літальних апаратах*, що поділяються на: штучні супутники Землі (ШСЗ) (рис. 17); пілотовані космічні кораблі (ПКК); пілотовані орбітальні станції (ПОС); автоматичні міжпланетні станції (АМС).

ШСЗ залежно від призначення, устаткування знімальними системами і приладами реєстрації підрозділяються на: дослідницькі, технічні і природні.

**Дослідницькі ШСЗ** призначені для вивчення верхніх шарів атмосфери й іоносфери, фізичних явищ у навколосемному і міжпланетному просторі, вивчення Сонця, планет, уточнення фігури і розмірів Землі і планет.



**Рисунок 17 - Японський супутник ADEOS II призначений для дослідження руху повітряних мас в атмосфері (передполітна підготовка, 2000 р.) [11]**

До дослідницьких ШСЗ належать: астрономічні, геофізичні, геодезичні і метеорологічні (наприклад «Космос», «Метеор» та ін.).

До технічних ШСЗ належать: супутники зв'язку, навігаційні (наприклад, «Блискавка» та ін.).

Природні ШСЗ призначені для всебічного вивчення природних ресурсів Землі (наприклад, «Метеор-Природа», «Landsat», ENVISAT) (рис. 18).

**ПКК (пілотовані космічні кораблі)** поряд із виконанням найрізноманітніших задач призначаються для проведення комплексу експериментальних і оптиковиробничих робіт із дистанційного зондування Землі; опрацювання бортової вимірювальної знімальної апаратури, проведення візуальних і візуально-інструментальних досліджень.

**ПОС (пілотовані орбітальні станції)** призначені для тривалого перебування на орбіті в автономному польоті або з

екіпажем для проведення широкого комплексу досліджень Землі.

**АМС (автоматичні міжпланетні станції)** призначені для вивчення планет Сонячної системи.

Серед **зарубіжних систем** отримання космічних знімків широкою відомості набули:

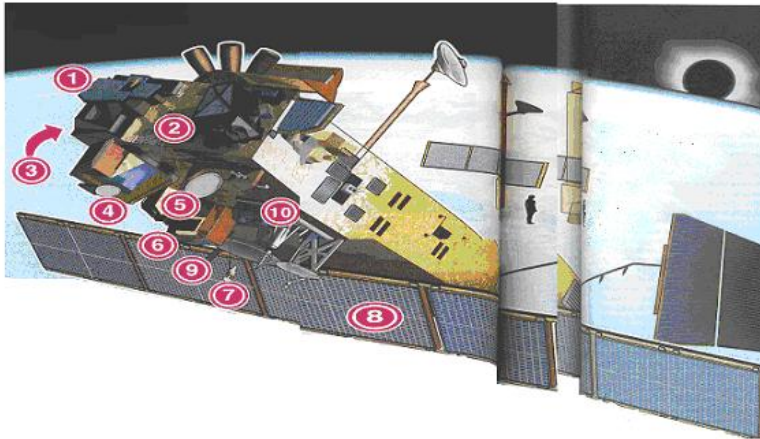
- американський супутник **Ландсат (Landsat)**;
- французький **СПОТ (SPOT)**.

**Супутник Ландсат.** У 1972 році Національне управління з авіонавтики та космосу (NASA) приступило до здійснення першої громадянської програми, що спеціалізується на отриманні цифрових супутникових даних методом дистанційного зондування. Перша система була названа ERTS (Earth Resources Technology Satellites) та пізніше перейменована на Landsat. На супутниках такого типу встановлена багатозональна скануюча система (MSS).

**Супутник SPOT.** Перша супутникова система СПОТ розроблена Французьким національним космічним центром, була запущена напочатку 1986 року, друга - у 1990р., третя – у 1993 р. Датчики скануючої системи функціонують у двох режимах: панхроматичному та багатозональному. За командою з наземної станції може бути увімкнено режим стереозйомки, який також може бути використаний для збору даних у регіоні, що не знаходиться безпосередньо на шляху сканера, наприклад, у випадку природної чи антропогенної катастрофи.

Серед **російських систем дистанційного зондування Землі** система «Ресурс – О» є найвідомішою.

**Система «Ресурс – О».** Серед російських даних сьогодні найбільшу цікавість представляють цифрові зображення, що отримують з багатозональних скануючих систем МСУ – Е (високого дозволу) та МСУ – СК (середнього дозволу), які встановлюються на ШСЗ „Ресурс – О”. Ці дані приймаються у різних регіонах Росії з використанням приймальних станцій фірми СКАН – Екс та зберігаються в архівах.



**Рисунок 18 - Європейський супутник ENVISAT призначений для досліджень Землі та глобальних змін клімату**

(1- інтерферометр, вимірює концентрацію 25 газів у атмосфері; 2- радіометр, визначає температуру водних поверхонь з точністю до 0,3°C; 4- відоспектрметр, досліджує забруднення Світового океану та ріст планктону; 5- СВЧ-радіометр, вимірює вміст в атмосфері водяного пару; 6 – прилад для моніторингу товщини озонового шару у стратосфері; 7 – радіовисотомір, що досліджує швидкість вітру та висоту морських хвиль; 8 – радіолокатор, який оцінює зміни форм Землі та льодяного покриву, вирубок лісів, збільшення кар’єрів та відвалів; 9 – кутовий віддзеркалювач, що використовується для виміру висоти польоту супутника; 10 – Доплерівський ресстратор, який дозволяє здійснювати точну «прив’язку» положення супутника.)

Життя практично будь-якого космічного апарату закінчується падінням на Землю. При цьому більша частина конструкцій сгоряє при вході до щільних шарів атмосфери (рис. 19).

Тільки самі важкі та монолітні фрагменти супутників здатні досягти земної поверхні.

### **Елементи орбіти космічних літальних апаратів.**

Порівняно з літаком, космічний апарат має дуже обмежені можливості маневрування; зйомку роблять із визначеної орбіти, можливості зміни якої в процесі польоту невеликі. Параметри орбіти і швидкість космічного апарату бувають відомі, тому може

бути знайдене і його просторове положення в заданий момент зйомки.

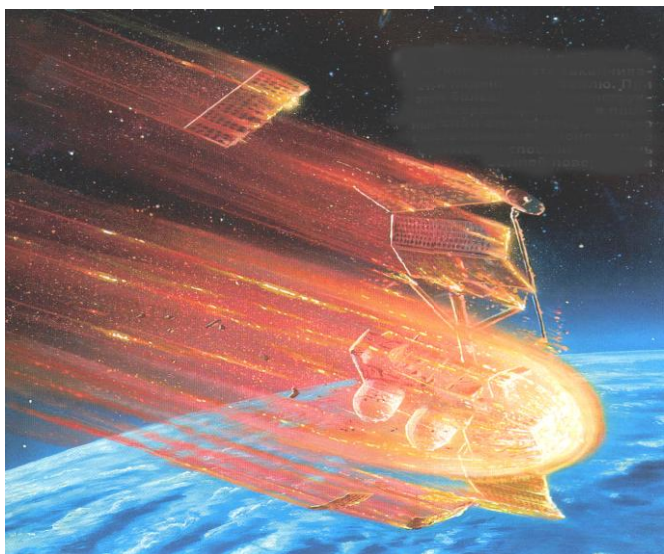


Рисунок 19 - Падіння супутника

Властивості космічних знімків, які необхідно враховувати при їх використанні в наукових дослідженнях і для картографування, залежать від характеристик орбіт космічних носіїв, з яких виконується зйомка. З цієї точки зору становлять інтерес такі параметри орбіт, як: їх форма, нахил, висота, період обертання, положення стосовно Сонця.

**Форма орбіт** обумовлена законами небесної механіки і залежно від швидкості руху космічного апарата може бути **круговою, еліптичною, параболічною або гіперболічною.**

Незамкнуті **параболічні і гіперболічні орбіти використовуються для виводу космічних апаратів до інших планет, а спостереження за Землею зазвичай здійснюються з замкнених кругових і еліптичних орбіт.** Для зйомки найкращі кругові або близькокругові орбіти, у яких висоти в перигеї й апогеї близькі. **Кругова орбіта забезпечує однакову висоту зйомки земної повер-**

*хні, а, отже, для однієї й тієї ж апаратури - однакове охоплення, масштаб і розв'язання знімків.*

Орбіта **еліптична** - коли різні відстані при апогеї та перигеї. Їх використовують у випадку, коли необхідно вивчати глобальні процеси та коли необхідні довготривалі, регулярні дослідження.

До основних характеристик орбіт належать: нахил, висота орбіти, положення відносно Сонця.

**Нахил орбіти** – це кут між площиною екватора та площиною, утвореною орбітою супутника.

В залежності від нахилу орбіти бувають:

- **екваторіальні** – коли нахил орбіти по відношенню до екватора дорівнює  $0^\circ$ .
- **полярні** – коли нахил орбіти дорівнює  $90^\circ$ .
- **похилі** – коли знаходяться в усіх площинах від  $0^\circ$  до  $180^\circ$  (окрім відміченої екваторіальної та полярної).

**Похилі орбіти бувають:** а) прямі за направленням руху землі; б) обернені руху Землі (рис. 20) .

Нахил залежить від напряму запуску космічного апарату щодо обертання Землі, і визначає широтний пояс, охоплений зйомкою, що називають **трасою супутника** – це проекція орбіти супутника на поверхню Землі (рис. 21). Найчастіше він буває рівним широті пункту запуску супутника, тому що в цьому випадку запуск здійснюється енергетично найбільш ефективно, а збільшення нахилу орбіти вимагає додаткових зусиль. Цілком очевидно, що для зйомки Землі доцільно використовувати полярні або субполярні орбіти, що забезпечують максимальне охоплення території зйомкою.

**За висотою** можна виділити 3 групи орбіт - з висотами **100-500, 500-2000 і 36000-40000 км**. Перша група - це орбіти ПМК і ПОС, найбільш характерні висоти 200-400 км. Друга включає орбіти ресурсних і метеорологічних супутників; для ресурсних супутників характерні висоти близько 600 і 900 км, для метеорологічних - 900-1400 км. Третя група - це орбіти геостационарних супутників.





**Рисунок 20 - а) Орбіти супутників:**

**1 – екваторіальна, 2 – полярна, 3 – пряма нахилена,  
4 – обернена нахилена; б) Елементи орбіти штучних  
супутників Землі [43]**

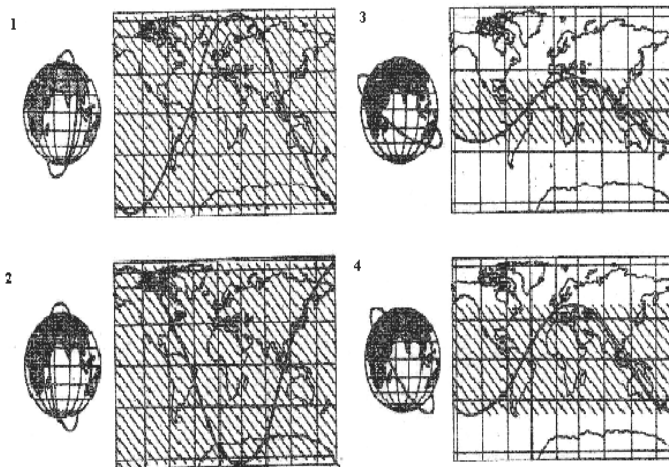
Таким чином, орбіти різної висоти забезпечують рішення різних знімальних задач: низькі навколосемні орбіти використовуються для детальної зйомки, більш віддалені - для оперативної менш детальної зйомки і віддалені геостационарні орбіти - для постійного спостереження за визначеним районом.

Якщо траси щодоби повторюються (такі орбіти називають добовими періодичними (період обертання кратний 24 годинам), то й розриви в зйомці будуть зберігатися. Тому для зйомки розраховують орбіти таким чином, щоб невеликий добовий зсув трас забезпечував зйомку в послідовну добу без розривів і з деяким перекриттям - це квазіперіодичні орбіти.

**Положення орбіти стосовно Сонця.** Для космічних зйомок велике значення має і спроможність орбіт зберігати постійну орієнтацію на Сонце.

**Геліосинхронні орбіти (сонячно-синхронні)** - це орбіти, при яких супутник рухається навкруги Землі з кутовою швидкі

стю, що дорівнює швидкості річного руху Землі навколо Сонця, площина орбіти зберігає постійну орієнтацію відносно Сонця. Відповідно супутник проходить над кожною заданою точкою в один і той же місцевий час.



**Рисунок 21 - Зони охоплення зйомкою за різних нахилень орбіт. Субполярні орбіти –  $i = 90^\circ$ : 1 – пряма (метеорологічні супутники); 2 – обернена (ресурсні супутники). Прямі нахилені орбіти: 3 –  $i = 30^\circ$  (космічні кораблі «Демені»); 4 –  $i = 52^\circ$  (космічні кораблі «Союз», орбітальні станції «Салют», «Мир»)**

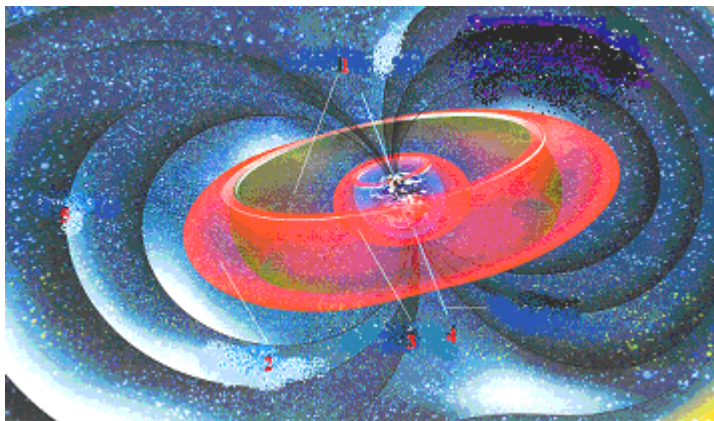
**Період обертання** - час обертання супутника навколо Землі. Від нього залежить міжвіткова відстань, що визначає можливість перекриття знімків сусідніх трас.

**Геосинхронні орбіти (геостаціонарні)** – супутник рухається навколо Землі з кутовою швидкістю, що дорівнює швидкості руху Землі, що забезпечує синхронність руху супутника відносно

земної поверхні. Відбувається так зване зависання супутника над певним районом Землі.

Однією з головних умов виходу супутника на орбіту є його швидкість - 7,9 км/с для низькоорбітальних супутників. Саме при такій швидкості настає динамічна рівновага й відцентрова сила врівноважує силу ваги. Іншими словами, супутник летить настільки швидко, що не встигає впасти на земну поверхню. Чим більше початкова швидкість, надана супутникові, тим вище з його орбіта. Однак у міру віддалення від Землі швидкість на круговій орбіті падає і геостационарні супутники рухаються за своїми орбітами зі швидкістю всього 2,5 км/с. При рішенні завдання тривалого і навіть вічного існування космічного апарата (КА) на навколоземній орбіті необхідно піднімати його на все більшу висоту. Варто відмітити, що на рух КА істотно впливає й атмосфера Землі: навіть будучи надрозрідженою на висотах понад 100 км від рівня моря (умовної межі атмосфери), вона помітно гальмує їх. Так що згодом всі КА втрачають висоту польоту й строк їхнього перебування на орбіті прямо залежить від цієї висоти.

Цікавим є те, яким чином супутники довгий час знаходяться на околотемній орбіті і не піддаються згубній дії сонячного вітру та космічного випромінення? Це відбувається завдяки потужному магнітному полю Землі. Заряджені частинки, що вловлюються полем концентруються в так званому радіаційному поясі (рис. 22).



**Рисунок 22 - Радіаційний пояс Землі (1 – зона безпечних польотів по околоземних орбітах; 2 – зовнішній радіаційний пояс; 3 – внутрішній радіаційний пояс; 4 - вісь обертання Землі; 5 - магнітосфера)**

## **1.4.2 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ АЕРОКОСМІЧНОЇ ЗЙОМКИ**

Можливість дослідження Землі з космосу ґрунтується на залежності між властивостями земних об'єктів і характеристиками електромагнітного випромінювання.

Відомо, що всі природні і штучні земні утворення випромінюють електромагнітні хвилі, що містять як власне випромінювання, так і відбите від об'єктів сонячне випромінювання. Довжина електромагнітних хвиль може бути різноманітною. У межах спектра ЕМ хвилі різних випромінювань займають визначені ділянки.

Принципового розходження між окремими випромінюваннями немає. Спектр безперервний, межі між різними частинами ЕМ спектра неточні, спостерігаються сильні перекриття сусідніх ділянок.

З усієї різноманітності видів випромінювань найбільші значення для ДМ має так званий оптичний діапазон, у якому ос-

новним джерелом енергії є Сонце (рис.23). Довжини хвиль оптичного випромінювання розташовуються в діапазоні від  $10^{-8}$  до  $3,4 \cdot 10^{-4}$  м, що включає області УФ видимого і ІЧ - випромінювань (УФ менше 0,4 мкм, видимий 0,4-0,75 мкм, ІК 0,75-1 мм, радіодіапазон 1 мм-10 м – діапазони, що виділяються в оптичній частині спектра) (табл.4).

У *УФ діапазоні виділяють:*

- 1) ближній (0,3-0,4 мкм) УФ-діапазон;
- 2) середній (0,2-0,3 мкм) УФ-діапазон;
- 3) далекий (менше 0,2 мкм) УФ-діапазон.

Видиме світло, тобто світло, яке сприймається людським оком, лежить у діапазоні 0,39-0,8 мкм.

*Діапазон ІК випромінювання розділяють на:*

- ближній (0,75-1,5 мкм) ІЧ-діапазон;
- середній (1,5-3 мкм) ІЧ-діапазон;
- далекий (3-1000 мкм) ІЧ-діапазон.

У радіодіапазоні виділяють мікрохвильовий діапазон (1-10000 мм), у якому в свою чергу можна виділити радіотепловий або НВЧ - діапазон (3 мм-30 см).

У **ближньому ІЧ-діапазоні** реєструється відбите земною поверхнею сонячне випромінювання; в **середньому і далекому ІЧ-діапазонах** - власне теплове випромінювання земної поверхні (теплова зйомка).

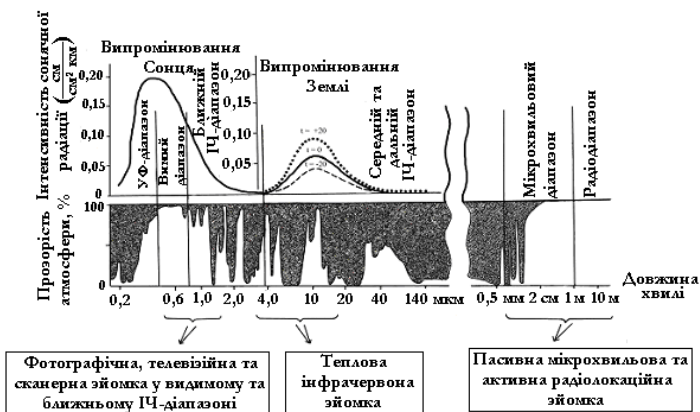


Рисунок 23 - «Вікна прозорості» атмосфери та діапазони зйомки

Таблиця 4

Характеристики спектральних діапазонів та зон їх кольорів [63]

Область спектру / Зона його кольору	Ширина області спектру / довжина хвиль
1	2
<b>Видима область (мкм)</b>	
зони кольорів:	
Фіолетова	0,39-0,45
Синя	0,45-0,48
Голуба	0,48-0,51
Зелена	0,51-0,55
Жовто-зелена	0,55-0,575
Жовта	0,575-0,585
Помаранчева	0,585-0,62
Червона	0,62-0,80
<b>Область ІЧ випромінення: мм</b>	
ближня	0,80-1,5
середня	1,5-3,0
дальня	>3,0
<b>Радіохвильова область (см)</b>	
X	2,4-3,8
C	3,8-7,6
L	15-30
P	30-100

Видима і ІЧ-області спектра є найбільш освоєними областями, широко використовуються та дають найбільшу кількість інформації про різні об'єкти. Основні недоліки вимірів у цих областях - значна залежність результатів від перешкод і виконання зйомки тільки при вимірах у тепловій ІЧ-області. **Перевагою є можливість реєстрації температури природних**

утворень і виконання зйомки вночі, недоліками є поглинання випромінювання аерозолями і менша чутливість результатів до змін фізико-хімічних характеристик об'єктів.

*Перевага зйомки у радіодіапазоні - можливість дослідження значних товщ земної поверхні, велика чутливість результатів вимірів до геометричних характеристик поверхонь, до утримання вологи в ґрунті; незалежність вимірів від метеоумов і впливу атмосфери. Недоліком є менша кількість інформації про природні ресурси [63].*

Найбільш оптимальними умовами зйомки, що дозволяють одержати різноманітну інформацію про природні ресурси, є вимір відбитої або власної радіації земної поверхні одночасно в декількох спектральних діапазонах, тобто використання багатоспектрального методу дослідження.

Щодо спектрального інтервалу видимості людського ока, то він не має принципових відмінностей від прилеглих до нього більш довгих чи більш коротких діапазонів електромагнітних хвиль та є лише частиною загального спектру випромінювання.

*Максимальне значення так званої функції видимості людського ока відповідає довжині хвилі, що дорівнює **0,556 мкм та відповідає жовто-зеленому кольору видимої ділянки спектра**. Звідси й сприйняття нами кольору. В залежності від того, яка довжина хвилі, такий колір ми сприймаємо [42].*

*Проходження випромінювання через атмосферу.*

Зйомка з космосу ведеться через товщу атмосфери, що викликає ускладнення різного характеру: вплив хмарності, яка екранує, поглинання променів певних довжин хвиль атмосферою, розсіювання променів, вплив атмосферного шлейфу тощо.

Після взаємодії з об'єктом відбите випромінювання повинно пройти крізь атмосферу вдруге, щоб досягти супутника.

Відбите випромінювання характеризує здатність об'єкту відбивати його, яка представлена значеннями спектральної платності енергетичної яскравості, яку вимірюють за допомогою дистанційного датчика. Отримані в результаті величини переводяться в дискретні безрозмірні цифрові значення, що відповідають характеристикам відбивної

здатності, які називають *коефіцієнтом спектральної яскравості* – коротше *спектральною яскравістю*.

Кожен об'єкт в ландшафті має свою спектральну яскравість. Дослідник Кринов Є.Л. розділив усі природні об'єкти на 4 класи, кожен з яких відрізняється кривою спектральної яскравості (рис. 24):

**1 клас** – гірські породи та ґрунти – характеризуються збільшенням спектральних яскравостей по мірі наближення до червоної області спектру.

**2 клас** – рослинний покрив – максимум відбивної здатності у зеленому, мінімум – у червоному діапазоні.

**3 клас** – водні поверхні – характеризуються монотонним зменшенням відбивної здатності від синьо-фіолетової та червоної зон спектру, оскільки зі збільшенням довжини хвилі вони сильніше поглинаються водою.

**4 клас** – снігові поверхні та близькі до них хмари – мають найбільш високі значення спектральної яскравості з невеликим їх зниженням в ближній ІЧ зоні [63].

Для зйомки в оптичному діапазоні найбільшу перешкоду являє хмарність. У кожний момент часу вона закриває більше 50 % поверхні земної кулі. Деякі райони залишаються закритими більшу частину року. Тому при плануванні зйомок важливо мати у своєму розпорядженні дані про умови вологості у різних районах земної кулі. Для цього проведені спеціальні дослідження з класифікації умов хмарності на основі статистики її розподілу, встановленої за даними метеосупутників. Складено карти, що характеризують глобальний розподіл зон стійкої хмарності і дають оцінку умовам зйомки. Найбільш перспективними для космічної зйомки за умов хмарності, є субтропічні райони, найбільші ускладнення спостерігаються в Антарктиді й екваторіальних тропічних районах, у середніх широтах вплив хмарності, що екранує, також ускладнює зйомку земної поверхні.

Проходячи через атмосферу, сонячне випромінювання частково розсіюється атмосферними газами й аерозольними домішками, частково ж воно поглинається і переходить у теплоту, що нагріває атмосферу. Нерозсіяна і непоглинута в атмо-



сфері пряма сонячна радіація досягає земної поверхні, частково відбивається нею, а більша частина поглинається і нагріває її.

У результаті поглинання і розсіювання випромінювання в атмосфері сонячна радіація зменшується, зменшується її спектральний склад, тому що промені різних довжин хвиль поглинаються і розсіюються в атмосфері по-різному.

**Короткохвильова частина випромінювання Сонця** ( від 0 до 300 нм) розсіюється або поглинається в верхніх шарах атмосфери, а радіохвилі довжиною понад 20-30 м екрануються іоносферою. Тому для ДМ практичний інтерес являє область 300 нм- 20 м. У цій області сонячна радіація розподіляється нерівномірно: майже 95 % усієї енергії, що випромінюється Сонцем, зосереджено у діапазоні 300-2400 нм. Близько 99 % сонячної радіації знаходиться в діапазоні 150-4000 нм. Максимум сонячної енергії зосереджено поблизу довжини хвилі 500 нм.

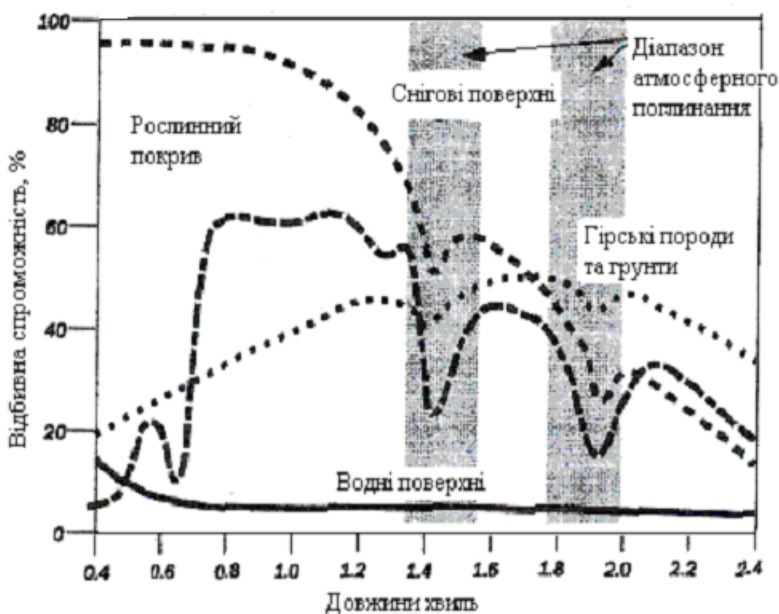


Рисунок 24 - Спектральна відбивна здатність основних класів природних об'єктів (сірим кольором вказані зони атмосферного поглинання)

Навіть при безхмарному небі зйомку доводиться вести через усю товщу атмосфери, що поглинає частину променів. Це поглинання вибіркове і залежить від довжини хвилі випромінювання. *Тому зйомку виконують, використовуючи ті ділянки спектра, де ЕМ випромінювання не поглинається, тобто у «вікнах прозорості» атмосфери (табл. 5).*

**Вікна прозорості атмосфери** – це ті частини спектру сонячного випромінювання, де електромагнітні хвилі не поглинаються в атмосфері [55]

Таблиця 5

**Вікна прозорості атмосфери [55]**

Спектральний інтервал	Прозорість
300-900 нм	0,45
1,0-1,1 мкм	0,50
1,2-1,3 мкм	0,55
1,5-1,8 мкм	0,60
2,0-2,4 мкм	0,65
3,5-4,0 мкм	0,6-0,7 (збільшується зі збільшенням довжини хвилі)
4,6-4,9 мкм	0,45
8,0-9,5 мкм	0,20-0,55 (збільшується зі збільшенням довжини хвилі)
10,0-13,0 мкм	0,30-0,55 (максимум за довжини хвилі 10,6 мкм)
1,05-1,15 мм	0,15
1,2-1,3 мм	0,50
1,9-2,1 мм	0,60
3,0-3,8 мм	0,75
9,0-11,0 мм	0,95
2-10 см	1,0

Для ультрафіолетового випромінювання атмосфера непрозора. По мірі переходу до довгохвильової частини зустрічаються ділянки спектра – вікна прозорості, де коефіцієнт прозо-

рості достатньо великий, хоча й незавжди дорівнює одиниці. Найбільш практичне значення в оптичній ділянці спектра мають вікна прозорості, що охоплюють увесь видимий діапазон та окремі ділянки у ІЧ діапазоні (3-5 мкм та 8-12 мкм). Міліметрові радіохвилі, як і більш короткі хвилі, підлягають молекулярному поглинанню в газах. В міліметровому діапазоні існує декілька вікон прозорості. Найбільше значення мають вікна прозорості на довжині хвилі 8,6 мм. Молекулярне поглинання перестає бути помітним за довжин хвиль більше 1-2 см. Міліметрові хвилі, так як і світлові, поглинаються туманом, дощем, градом та снігом. Лише сантиметрові хвилі довжиною більше 3-5 см починають вільно проходити крізь них. Хвилі дециметрового діапазону вже безперешкодно проходять всю товщу атмосфери незалежно від хмарності. Зі збільшенням довжин радіохвиль посилюється їх відбивна здатність від іонізованих товщ атмосфери і декаметрові хвилі більше 10 м вже не можуть пройти крізь іоносферу.

Для хвиль цих довжин атмосфера непрозора. Наведена на рисунку 1.4.3 крива спектрального пропускання атмосфери може змінюватись за величиною пропускання та ширині вікон прозорості в залежності від стану атмосфери [43].

Якби атмосфера складалася з одних газів, то вона була б дуже прозорою і дальність видимості світлого часу доби була за розміром постійною і досить великою - 250-300 км. Але в атмосфері крім основних газів міститься водяна пара, а також велика кількість пилу, димових часток, мікроорганізмів і т. д., з якими і зіштовхуються сонячні промені і розсіюються в усіх напрямках, втрачаючи біля 20 % своєї енергії. Особливо сильне розсіювання відбувається в приповерхневому шарі Землі, де спостерігається найбільша концентрація водяної пари і часток. Розсіяне в атмосфері світло при значній її товщині створює враження світіння повітря, що одержало назву атмосферного або повітряного шлейфу.

Для сонячного світла розрізняють два види димки, в основу яких покладений принцип походження розсіяних часток, що розсіюють «блакитний» шлейф. **Він утворюється в результаті розсіювання сонячного світла молекулами газів, що складають атмосферу.** Короткохвильові промені (синьо-

фіолетові) видимого спектра розсіюються інтенсивніше довгохвильових, і серпанок при молекулярному розсіюванні має блакитний відтінок. Інший вид серпанку - **«сірий» серпанок утворюється в результаті аерозольного розсіювання сонячних променів частками води, пилу, диму, що знаходяться в атмосфері.** Зі збільшенням розмірів часток, що розсіюють, закон молекулярного розсіювання порушується, починають розсіюватися й інші промені видимої ділянки спектра. Зазвичай його називають «сірим» шлейфом, тому що він розсіює усі видимі промені однаковою мірою.

Зі збільшенням висоти в атмосфері переважає молекулярне розсіювання, що відрізняється значною сталістю, у приземному ж шарі відбувається аерозольне розсіювання, що схильне змінюватися в часі і просторі [85].

### **1.4.3 ФОТОГРАФІЧНА ЗЙОМКА**

Найбільш розповсюдженою є аерофотозйомка. Накопичено досить великий досвід аналізу аерофотографічних зображень. Для зйомки використовують фотографічні камери. Вони є найбільш поширеною, найбільш універсальною знімальною апаратурою.

Космічні фотоапарати є модифікаціями аерофотоапаратів, їх поділяють на:

- **автоматичні** – влаштовуються на пілотуємих космічних кораблях;
- **з поверненням відзнятої плівки** на Землю;
- **з повною фотохімічною обробкою плівки** на борту, перетворенням зображення в електросигнали і передачею їх на Землю за допомогою радіолокатора.

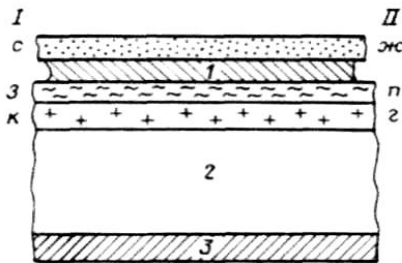
Для першого потрібні: аерофотоапарат, накопичувач плівки, система скиду контейнера та забезпечувальні блоки. У наземну частину комплексу входять: апаратура передавання і приймання керуючих команд, апаратура обробки і дешифрування.

### *Кольорова фотографічна зйомка*

Зараз більше використовують кольорову фотографічну зйомку. Кольорові фотокартки надають нові можливості у використанні географічного середовища, можуть успішно застосовуватися при ландшафтному, геологічному, лісовому, ґрунтовому та інших різновидах дешифрування.

При чорно-білій зйомці фотографування здійснюється на ізопанхроматичну плівку, фотоемульсія якої чуттєва до всіх променів видимої зони спектру.

Зазвичай для кольорового фотографування застосовують тришарову плівку (рис. 25), в якій верхній світлочутливий шар сприймає сині промені. Другий світлочутливий шар сприймає зелені промені, а третій - червоні.



**Рисунок 25 - Будова кольорової плівки**

**1 – жовтий фільтровий шар; 2 – підкладка; 3 – противоореольний шар**

**Три емальні шари, чутливих до кольорів(I): с – синього; з – зеленого; к – червоного. Після проявлення шари фарбуються в кольори (II): жс – жовтий; п – пурпуровий; з – блакитний**

Для отримання правильного кольорового відтворення на позитиві виконують друк з кольорового негатива на кольоровий фотопапір або на кольорову позитивну плівку, на

яких виходить природне кольоропередавання, близьке до натуральних кольорів (рис. 26).

Зараз проводяться пошуки нових видів чорно-білих та кольорових фотографічних матеріалів (плівок), світлочутливих емульсій та їх комбінацій для отримання високоякісних знімків з визначеними раніше дешифрувальними властивостями.



**Рисунок 26 - Знімок дельти Ніла**

Фотографічний засіб аерокосмічної зйомки є головним засобом вивчення Землі та процесів, що на ній відбуваються. За допомогою цього засобу отримують найбільш цінну інформацію. Без аерокосмічного втручання зараз неможливо висвітлити практично жодної проблеми, пов'язаної з вивченням природних ресурсів Землі, вирішенням господарських, наукових та технічних задач [85].

#### **1.4.4 ЦИФРОВА ЗЙОМКА**

**Цифрові знімки** являють собою дискретне зображення, що складається з великої кількості окремих елементів – **пикселів**. Їх отримують за допомогою скануючих систем на борту супутника чи при ручному цифруванні аналогових знімків у растровому форматі. Растрові дані організовані у сітку та стовпчики і пред-

ставляють деяку географічну область; *піксель* – це *комірка сітки та найменша частина цифрового зображення області* [63].

Значення кожної растрової комірки – кодована спектральна яскравість. Ці цифрові предствалення при відображенні їх на екрані чи при розпечатці формують зображення. Цифрові знімки зберігаються в файлах даних, що ще називаються файлами зображень, на магнітних стрічках, комп'ютерних дисках чи в інших середовищах. Одному пікселю зображення може відповідати декілька значень файлів даних, число яких визначається набором спектральних зон знімка, який використовується.

Термін «піксель» використовується для визначення елемента, як файла зображення, так і зображення на екрані дисплея. Зазвичай один піксель у файлі відповідає одному дисплейному пікселю чи елементу зображення на розпечатці.

Стандартний числовий тип записів цифрових знімків – бінарний байт, що відповідає правилам кодування спектральної яскравості. Для відображення файлів зображень на екрані монітору чи в печатному вигляді створюють набори файлів – палітр, або спеціальні таблиці перекодування. Призначення таких файлів та таблиць – задати відповідність між числовим значенням файлу даних та кольором його відображення.

Для того, щоб правильно відобразити зображення за цифровими даними, пунктам прийому інформації необхідно знати формат запису (структуру даних), а також число його рядків і стовпців. Використовують чотири формати, які впорядковують дані зображень як:

- послідовність зон;
- зони, що передуються за рядками;
- зони, що передуються за пікселями;
- послідовність зон зі стисненням інформації у файлі методом групового кодування.

Цифрові знімки отримують за допомогою цифрових камер [63].

**Цифрові камери.** Цифрові камери працюють приблизно так само, як звичайні, тільки в ролі плівки виступає **матриця - панель, на якій зафіксовані світлочутливі елементи**. Вони здатні вловлювати світло й перетворювати його в електричний сиг-

нал. Сучасні технології дозволяють робити матриці, на яких розміщено більше шести мільйонів таких елементів.

Електричні сигнали, які роблять елементи матриці, розрізняються за силою: чим більше світла вловив елемент, тим сильніше буде сигнал. Він передається на аналого-цифровий перетворювач, що оцінює силу сигналу й записує його як число. Процесор приймає від перетворювача потоки чисел і записує їх. З послідовності цих чисел і формується цифровий знімок, що потім записується на пам'ять камери. Кожен знімок, зроблений цифровою камерою, - це файл, який можна переписати на жорсткий диск комп'ютера, видалити, відредагувати за допомогою програми обробки зображень, відіслати другові по електронній пошті або роздрукувати.

Цифрові фотокамери записують зображення на спеціальні картки пам'яті. На відміну від фотоплівки, картку можна використовувати багато разів, стираючи з неї зображення й записуючи нові. Кількість знімків, які можуть уміститися на картці, залежить від її ємності й розмірів фотографій. Цифрові фотоапарати мають кілька варіантів знімка.

Покращення цифрових зображень, необхідне для візуального аналізу об'єктів на знімках, виконується шляхом зміни яскравості та контрастності всього зображення чи окремих його ділянок; виділення контурів заданої контрастності; фільтрації значень яскравості та виділення контурів з метою відбору елементів зображення; кольорового синтезування та кольорокодування [63].

## **1.4.5 ТЕЛЕВІЗІЙНА ЗЙОМКА**

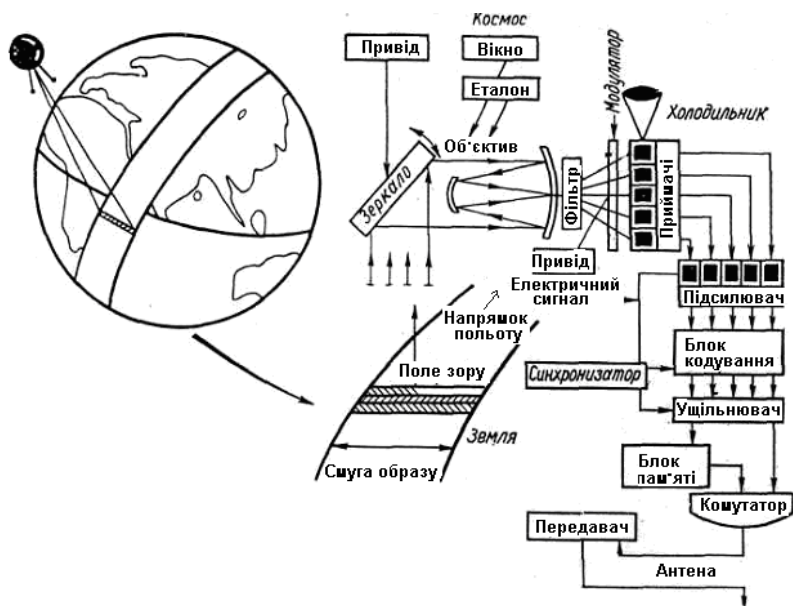
*Телевізійна зйомка використовує в основному область спектру на ближню частину ІЧ випромінювання в діапазоні 0,8-1,1 мк.* [41]. Для зйомки з супутника використовують кадрові та телевізійні скануючі системи. При телевізійній зйомці зображення місцевості може передаватися безпосередньо з космічного апарату по радіоканалах на наземні приймаючі станції чи відтворюватися у вигляді



фотозображення чи записів сигналу зображень на магнітну плівку і зберігатися на борту космічного апарату до першого сеансу зв'язку з наземною станцією. **Особливістю телевізійної зйомки, порівняно з фотографічною, є те, що зображення земної поверхні проектується не на фотопар, а на приймаючий пристрій – відікон** [86].

Сукупність наступних кадрів дає зображення ділянок земної поверхні вдовж траси КЛА (космічного літального апарата). Зображення, отримане на екрані відікона, безпосередньо передається на наземні приймальні станції в ті моменти, коли КЛА знаходиться в зоні прийому станції, радіус якої зазвичай складає декілька тисяч кілометрів. Після передачі на наземну станцію сигнали підсилюються і за допомогою електронно-променевої трубки відтворюються як зображення.

Поряд з оптичними телевізійними системами широке розповсюдження одержали оптико-механічні багатозональні телевізійні системи (рис.27).



## **Рисунок 27- Принципова схема роботи багатозональної оптико-механічної скануючої апаратури**

Зображення земної поверхні за допомогою скануючого пристрою і фотоелектронного підсилювача перетворюється в цих системах у відеосигнал і передається на Землю. На приймальній апаратурі відеосигнали проходять через телеграфний пристрій і знову стають зображенням.

Просторова розрішаюча здатність у цій телевізійній системі визначається миттєвим полем зору скануючої системи, а спектральний – характеристиками розподільних фільтрів і чутливістю приймачів випромінювання. Ширина смуги огляду залежить від висоти польоту КЛА і кута хитання поворотного дзеркала.

*Поелементний перегляд – термінове сканування земної поверхні здійснюється в сканерах шляхом безперервного хитання спеціального дзеркала в напрямі польоту (набір рядків), яке відбувається в результаті руху самого супутника.*

Основним елементом скануючої системи є об'єктив, у фокальній площині якого встановлена діафрагма; об'єктив і дзеркало формують миттєве поле зору сканерів з наданою мірою розрішення на місцевості. За допомогою системи «дзеркало-об'єктив» зображення місцевості будується на фотоелектронному підсилювачі.

Телевізійна система має багато переваг у порівнянні зі звичайною фотографією: вона не потребує повернення плівки на Землю, дає сигнал у зручній формі для запам'ятовування, зберігання та автоматичної обробки. Ця система довгодіюча. Переваги телевізійної системи також в універсальності та простоті приймання інформації [10].

Однак при всіх перевагах телевізійної космічної апаратури існують і недоліки, які знижують якість зображення. Основними з них є недостатня інформативність, наявність растрових смуг за рядками сканування, мала розрішаюча здатність у порівнянні з фотографічними зображеннями, хоча принципові можливості цього методу великі і якість знімків поліпшується. Ці недоліки частково компенсуються при застосуванні **фототелевізійного методу зйомки. Суть цього**

*методу полягає у тому, що фотографування місцевості зі ШСЗ (штучного супутника Землі) здійснюється на борту носія, а передача експонованого зображення на Землю здійснюється за допомогою телевізійних систем за каналами зв'язку.*

В одних системах місцевість фотографують за допомогою фотоапаратів, потім плівка автоматично проходить фотообробку, а після цього зображення зі знімка за допомогою телевізійної системи передається на Землю. В інших системах зображення місцевості проектується за допомогою об'єктива на мішень відікона, який є приймачем світлоелектричного перетворювача. Посилений і перетворений відеосигнал передається відразу або накопичується і передається при прольоті ШСЗ над наземною станцією прийому інформації.

Фотографування виконується високоточними знімальними камерами, які забезпечують отримання зображення з високою роздільною здатністю, а оперативна передача цих зображень на Землю суміщає переваги фотографічної і телевізійної зйомки. Роздільна здатність фототелевізійних знімків на порядок вище, ніж телевізійних. Ця якість фототелевізійної системи вперше використовувалася при зйомці планет. При передачі фототелевізійних знімків на Землю якість їх дещо погіршується, тому що зображення зазнає перетворень, що призводить до деяких його перекручувань у порівнянні з отриманими на борту ШСЗ оригінальними фотозображеннями. Оглядовість фототелевізійних знімків обмежена параметрами фотографічної апаратури і малим оглядом лічильного пристрою на борту КЛА.

Таким чином, фототелевізійний метод зйомки, поєднуючи усі переваги фотографічної і телевізійної зйомок, несе у собі і всі ті недоліки, що властиві даним видам зйомок. Однак цей метод відіграв значну роль у дослідженні Землі й інших планет і на певному етапі був дуже необхідний. У міру удосконалення якості телевізійних систем потреба у фототелевізійній апаратурі поступово знижується і на сучасному етапі практично змінена на зйомку цифровими камерами.

Телевізійна зйомка застосовувалися в геології для досліджень, по-перше, регіональних і глобальних проблем

тектоніки і, по-друге, динамічних процесів, що протікають на земній поверхні (сучасне осадконакопичення, вулканізм, великі сейсмогенні дислокації і утворення деяких форм рельєфу, наприклад, еолових та ін.) [37]. Крім того, телевізійні системи активно використовувалися для вивчення хмарного покриву. З цією метою обиралася їх спектральна чуттєвість у довгохвильовій частині видимої області спектру, порівняно великий елемент розрішаючої здатності, велика оглядовість, висока якість зйомки, безпосередня передача зображення на приймальні станції. Однак в останній час з'явився інтерес до неметеорологічного застосування, зокрема у вивченні фенології рослинності, простеженні геологічних структур і геоструктур [10].

#### **1.4.6 ІНФРАЧЕРВОНА ЗЙОМКА**

**Інфрачервона (ІЧ) зйомка ґрунтується на використанні зображення, отриманого в ІЧ - області спектру** [37]. ІЧ - зона спектру за фізичними закономірностями і засобами дистанційної індикації поділяється на дві частини:

- ближню ІЧ - зону спектру  $\lambda$  (0,7-2,5мкм), де реєструється довгохвильове відбивання сонячного світла;
- середню і дальню зони спектру  $\lambda$  (2,5 - 3 мкм і більше), де реєструється власне теплове випромінювання Землі [10].

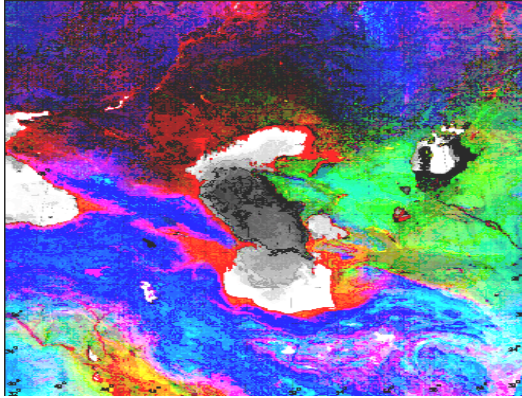
Першим прийшов до висновку про необхідність такого поділу Джон Гершель. Він цікавився фотографією, вперше ввів поняття «позитив» та «негатив». Саме під час цих занять він звернув увагу на нерівномірне висихання вологих предметів у світлі красного ліхтаря. У 1840 р. він поставив дослід. За красним краєм видимого спектра Джон Гершель поклав полосу пористого фільтрувального паперу. Під впливом невидимих променів спирт випарувався, і тоді дослідник побачив, що папір, який підсох, був нерівномірно забарвленим.

Чим ближче до червоного краю спектру розміщувалась ділянка паперу, тим світліше було його забарвлення.

З цього досліду можна було зробити такий висновок: склад ІЧ променів неоднаковий, ось чому по-різному нагріваються неоднаково віддалені від края спектру частини паперу. Ті, які знаходяться ближче до видимих червоних променів, несуть більшу енергію: пофарбований спирт під їх дією випаровується швидше, смуга біліє. ІЧ промені з більшою довжиною хвилі значно слабкіші, мають меншу енергію та займають місце далеко від видимих променів спектру. Тому в дальній частині паперу спирт випаровується повільніше і смуга залишається більш темною. Проміжок мав перехідний відтінок.

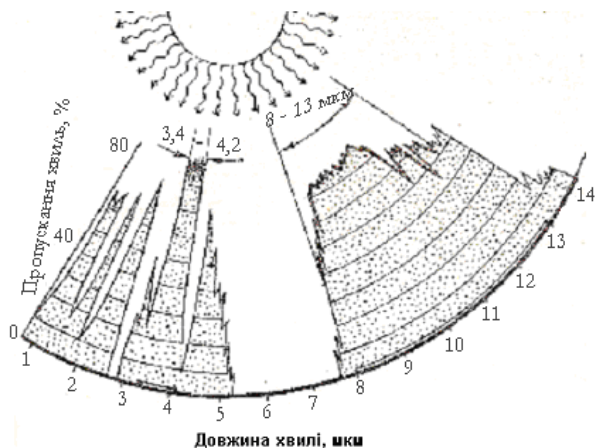
Пізніше було встановлено, що довжина ІЧ - хвилі має такий же розмір, що й бактерії – **декілька десятичних долей сантиметра**. З тих пір ІЧ - промені з різною енергією та різною довжиною хвилі використовуються людиною повсемісно [92].

**ІЧ зйомка** – теплова зйомка, що забезпечує одержання видимого зображення шляхом реєстрації невидимого ІЧ-випромінювання, здійснюється в середньохвильовій ІЧ-області. Ця зйомка реєструє не відбите випромінювання, а власне **теплове** випромінювання підстилаючої поверхні (рис. 28).



**Рисунок 28 - Цифрова мозаїка температурних контрастів Каспійського регіону**

Перші фундаментальні дослідження прозорості атмосфери для ІЧ радіації проводились ще напочатку ХХ століття. Було встановлено, що не тільки найдрібніші крапельки води, але й вуглекислий газ, молекули озону та інші компоненти повітря поглинають довгохвильове ІЧ випромінювання (рис.29). А вологи в повітрі немало. Двадцять тисяч кубічних кілометрів води – у вигляді водяної пари та хмар. Десятки тисяч тонн вулканічного та метеоритного пилу вкривають небо. Чи можна в цих умовах вловити та виміряти піднятими в повітря приладами ІЧ випромінювання, що надходить від нагрітих земних об'єктів?



**Рисунок 29 - Спектр пропускання ІЧ випромінювання атмосферою**

У 1948-1951 р.р. були проведені дослідження. Над Москвою літаком ІЛ-14 була піднята в небо літаюча лабораторія, яка мала усвоєму арсеналі прилади для реєстрації ІЧ випромінювання, а також звичайна фотографічна апаратура. Дослідники враховували особливості проходження скрізь атмосферу видимих та невидимих оку променів спектру. Уявімо собі, що в одному з районів, які намічені для повітряної зйомки, виявилась низька хмарність. Звичайно, фотографії в цьому випадку нічого не покажуть, а ось теплова зйомка надасть цікаву інформацію. І це не дивно: розсіювання світла залежить від довжини хвилі та розміру атмосферних частинок. Чим довжина світлової хвилі більше, тим менше розсіювання. ІЧ промені розташовані в спектрі зправа від видимих променів, довжина їх хвилі більше, а значить, вони менше спотворюються частинками в атмосфері, адже навіть на висоті 15 км в 1 кг повітря міститься не менше 0,1 г води.

Оскільки природні об'єкти – ґрунти, гірські породи, акваторії морів і океанів, зволожені ділянки суші – мають різну температуру, то й інтенсивність теплового випромінювання в них буде різна. За даними реєстрації цих випромінювань

можна робити висновок про характер об'єкта – його щільність, вологість і теплофізичні властивості.

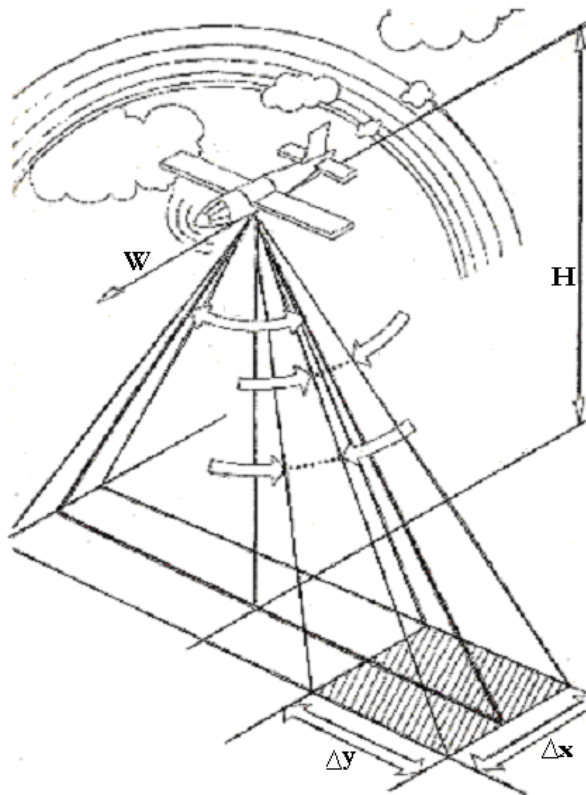
Інтенсивність теплових випромінювань природних об'єктів вимірюється скануючими радіометрами ІЧ-діапазона, які аналогічні звичайним скануючим приладам видимого діапазону. Як і оптико-механічні сканери, вони складаються з приймального пристрою і пристрою обробки та видачі інформації.

Прийняті на Землі сигнали ІЧ-радіометрів перетворюються в спеціальних пристроях у різні за інтенсивністю джерела світла, за допомогою яких на звичайній чорно-білій фотоплівці реєструється температура земної поверхні.

Таким чином, інформація ІЧ-діапазона за зовнішнім виглядом відповідає звичайній чорно-білій фотографії і на ній різними відтінками сірого тону виділяються ділянки земної поверхні, що мають різну температуру. На таких знімках найбільш **холодні об'єкти зображуються більш темними тонами, а теплі – світлими.**

На жаль, на цю інформацію накладається велике число перешкод, пов'язаних зі впливом атмосфери, метеорологічних чинників, що визначають стан ґрунтів і неоднорідності підстиляючої поверхні. Крім того, значні ділянки земної поверхні, закриті хмарами, не відображуються на ІЧ-знімках, тому що випромінювання ІЧ-діапазону не проходить через хмарність. Чутливість ІЧ-апаратури при зйомці з ШСЗ складає 2 – 3°, а при зйомці з літаків - 0,5 – 1°. Геометричний дозвіл деталей таких знімків складає від сотень метрів до декількох кілометрів.





***W* - напрямок польоту; *H* – висота польоту  
Рисунок 30 - Схема здійснення ІЧ зйомки**

З наявних у цьому діапазоні трьох «вікон прозорості атмосфери» для теплових хвиль використовуються в основному два: 3–5 мкм і 8–14 мкм.

У діапазоні 3–5 мкм для вивчення власного теплового випромінювання Землі зйомку виконують уночі, тому що через близькість цієї ділянки до видимої зони спектра сонячна радіація стає на перешкоді.

Зйомку в діапазоні 8–14 мкм можна виконувати і вдень і вночі. При денних зйомках одержують загальний температурний режим Землі, обумовлений нагріванням

сонячним випромінюванням і внутрішньою теплотою Землі. При нічних зйомках можна одержати теплову характеристику власного теплового режиму Землі.

## **Використання теплової аерозйомки при вивченні об'єктів з аномальним тепловим полем**

**1. Діючі вулкани.** Першим напрямком застосування теплової аерозйомки при вивченні природних ресурсів є дослідження діючих вулканів. Актуальність досліджень визначається важкою доступністю і часто навіть повною недоступністю цих об'єктів для безпосередніх наземних спостережень, а також можливістю отримання зовсім нової інформації про вулканічні процеси за результатами вивчення температурного поля вулканів.

**Головними особливостями геотермальних проявів діючих вулканів є:**

- дуже широкий діапазон значень температури, що аналізується (від 1400°C біля розігрітої базальтової і до декількох градусів над фоном довкілля);
- швидка зміна температури в часі, особливо в період активації вулканів.

Це визначає ті обставини, що тільки теплова аерозйомка може надати синоптично репрезентативні дані про нестационарні геотермальні вулканічні процеси, але і значно ускладнює знімання цих об'єктів у методичному і технічному відношенні. Це пов'язано з обмеженістю динамічного діапазону тепловізора.

**Основні завдання**, які можуть бути вирішені методами теплової зйомки або переважно теплової аерозйомки при вивченні діючих вулканів – це:

- поділ неактивних вулканів на дійсно потухлі вулкани, які не мають жодних ознак геотермальної дії вулканів та вулкани, які зберігають слабку активність;

- вивчення структури геотермальних полів діючих вулканів;
- вивчення змін термальної активності діючих вулканів у часі.

Така інформація вкрай необхідна як для вивчення вулканічних процесів, так і для можливого прогнозування періодів активності вулканів. Може бути отримана за матеріалами періодичних теплових аерозйомок.

**2. Лісові пожежі.** До специфічних аномальних об'єктів земної поверхні, дослідження яких можливо за допомогою теплової аерозйомки належать і лісові та торф'яні пожежі, де, залежно від інтенсивності процесу горіння, температура може варіювати від сотень градусів до 1000-1200 °С.

У проблемі використання теплової аерозйомки при боротьбі з лісовими та торф'яними пожежами можна виділити **такі напрями:**

- визначення невеликих (площею менше 0,5 м<sup>2</sup>) осередків пожеж, що виникають під пологом дерев;
- картування контуру охопленої вогнем ділянки при суцільній задимленості, коли візуальні методи неефективні;
- контроль за затуханням пожежі, виявлення ділянок, де можна очікувати повторне загоряння чи подальше розповсюдження вогню.

Успішному використанню теплового аерознімку як карти сприяє добре опрацювання деталей ландшафту.

Дешифрування ділянки пожежі не представляє ускладнень завдяки різкому аномальному її зображенню і характерному контуру теплової вигорілої площі з окремими аномальними ділянками на межі.

**3. Індустріальні і житлові об'єкти з великими втратами тепла.** Зараз у зв'язку з актуальністю проблеми економії і раціонального використання енергетичних ресурсів виявляється необхідною розробка різних засобів виявлення і контролю енергетичних втрат. Сюди можуть бути віднесені втрати тепла в зимовий час з промислових і житлових «будівель», систем теплопостачання. Усі вони можуть бути виявлені тепловою аерозйомкою різних масштабів.

#### ***4. Пожежі у відвалах, вугільних та сланцевих шахтах.***

Для багатьох гірськорудних районів відвали гірських порід є джерелами небезпеки. Під них не тільки відводяться значні земельні площі, але вони можуть бути джерелами сильного забруднення атмосфери через samozapalювання залишків вугілля, сланців і сульфідів, які входять до складу відвалів. Часто джерела samozapalювання у відвалах є джерелами пожеж і шкідливих газів у розташованих під ними шахтах.

Застосування теплової зйомки дозволяє ще до початку робіт щодо розробки відвалів визначити межі ділянки занурених джерел samozapalювання і прийняти заходи щодо їх гасіння. При виконанні теплової аерозйомки найкращі результати дає застосування двоспектральних тепловізорів, в яких у каналі 8-13 мкм вони настроюються на середній температурний фон підстиляючої поверхні; а канал 3-5 мкм – на аномальні цілі. Спільна інтерпретація зображень аномального і нормального температурних полів дозволяє провести впевнене розпізнання аномальних об'єктів.

Дослідження щодо розробки методики теплової аерозйомки та інтерпретації її матеріалів при вивченні об'єктів з власною аномальною температурою (вулкани, пожежі, інші втрати тепла тощо) показали, що аномальні об'єкти, їх температурне поле грає основну індикаційну роль при вирішенні низки специфічних геологічних і деяких інших задач дослідження природних ресурсів Землі, що не вирішуються іншими дистанційними методами.

### **Технічні засоби теплової аерозйомки**

Метод дистанційного теплового зондування земної поверхні може бути реалізований у двох основних варіантах. У першому, для реєстрації профілю температур (температур розрізу) вздовж лінії польоту застосовуються так звані **радіаційні термометри або інфрачервоні радіометри**. Вони порівняно прості за будовою, надійні у роботі, однак профільний характер інформації ускладнює її інтерпретацію з погляду реєстрації, розпізнавання і прив'язки малорозмірних

об'єктів. Тому радіометри знаходять застосування при вивченні протяжних температурних тіл з невеликими температурними градієнтами, наприклад, для визначення температури акваторій, снігового і льодового покривів, однорідних поверхонь ґрунту і рослинності. Застосовуються вони і при наземних спостереженнях.

Практично для всіх задач охорони навколишнього середовища необхідна інформація про розподіл температурного поля, знятий із високою чутливістю (десяті частки градуса) об'єктів малого розміру (перші десятки сантиметрів). Тому, площинний метод реєстрації або розгортки (сканування) за двома координатами, коли температурне поле реалізується у вигляді знімка (зображення, теплової карти), безумовно кращий.

Для цієї мети використовуються літакові і космічні тепловізори - *оптико-електронні прилади, що сканують, у яких здійснюється перетворення інфрачервоного випромінювання елементів ландшафту в електричні сигнали, опрацювання сигналів і їхньої реєстрації на фотоплівці або магнітному носії*. Особливість цих приладів полягає в тому, що їхній елемент фотоелектричного приймача реєструє випромінювання в малих кутах (кутові хвилини), забезпечуючи високу розрішаючу здатність тепловізора на місцевості.

*Тепловізор «Вулкан» випускався оптичною промисловістю в 1977 - 1987 р.р.* і успішно використовувався багато років вирішення екологічних задач. Конструктивно він складається з трьох частин: оптичної голівки з системою охолодження, блоку посилення і перетворення сигналів і системи реєстрації. *Прилад дозволяє реєструвати інформацію в двоканальному режимі, що відповідає обом вікнам прозорості атмосфери*. Звичайно найкращі результати досягаються при налагодженні каналу 8-13 мкм на середнє температурне тіло з метою якісного відображення на аерознімку основних деталей ландшафту, а каналу 3 - 5 мкм - на аномально нагріті об'єкти з обліком їхніх конкретних характеристик. При цьому дані обох каналів доповнюють один

одного, а канал 8 - 13 мкм дозволяє також здійснити точну прив'язку результатів.

Необхідно відзначити, що системи магнітної реєстрації (стрічки, диски) не мають обмеження за динамічним діапазоном при реєстрації вихідних даних, тобто в польоті в схованому виді записується весь реальний перехід температур ландшафту. При візуалізації інформації у виді кольорового або чорно-білого аерокосмознімку ці обмеження виникають знову, тому проводиться багатократне відтворення зображення з різними рівнями температурного поля.

**З 1991 р. випускався більш сучасний тепловізор «Малахіт»**, істотна особливість якого у компактному оформленні у вигляді єдиного блока. Крім значно меншої маси, перевагою того тепловізора була замкнена система охолодження з дуже великим ресурсом, що значно поліпшує його експлуатаційні характеристики. Поліпилися або залишилися на рівні тепловізора «Вулкан» і інші параметри.

Проведені літакові і супутникові дослідження з використанням теплової зйомки дозволяють зробити висновок про ефективність цього методу зйомки при визначенні температури різних ділянок суші і водної поверхні, виявленні зон тектонічної активності, термальних зон і зон сучасного тектонізму, районів залягання ґрунтових вод, зміни вологості ґрунтів тощо.

#### **1.4.7 РАДІОТЕПЛОВА ЗЙОМКА**

При радіотепловій зйомці *пасивно реєструється власне радіотеплове випромінювання земної поверхні з довжинами хвиль близько 1 мм*. Сигнали приймаються антеною і відтворюються на електронно-променевої трубці і фотографічно фіксуються. Розходження в щільності зображення певним чином пов'язане з температурою випромінюваної поверхні і залежить від вологості, засоленості, складу ґрунтів. На радіотеплових зображеннях найбільший

контраст виникає між водою і сушею, сухими і зволженими ґрунтами.

*При радіотепловій зйомці застосовують пасивні радіотехнічні системи, засновані на прийомі дуже слабких електромагнітних сигналів у НВЧ-діапазоні електромагнітного спектру, які посилає будь-яке фізичне тіло, що має температуру вищу за абсолютний нуль. Кількість енергії, що випромінюється, залежить не тільки від фізичної температури об'єкта, але також від його хімічного складу, шорсткості поверхні тощо. Частина випромінювання в діапазоні хвиль від 0,1 до 30 см (частковий діапазон НВЧ-радіометрії) може бути прийнята радіометричним датчиком. Аналізуючи інтенсивність і спектр прийнятого сигналу, можна дистанційно класифікувати об'єкт.*

Прозорість земної атмосфери в радіодіапазоні велика, відносно прозора навіть хмарна атмосфера. Це дозволяє за допомогою радіометодів проводити дослідження там, де важко або неможливо використовувати оптичні методи. Звичайно, тією або іншою мірою атмосфера Землі й у цьому діапазоні впливає на випромінювання земної поверхні, однак порівняно з видимим і інфрачервоним діапазонами спектру вплив атмосфери в радіодіапазоні значно менший і його можна врахувати.

Просторова розрішаюча здатність зображень, одержаних НВЧ-радіометрами, не однакова для різних довжин хвиль радіодіапазону. При роботі на більш коротких хвилях можна одержати інформацію зі зниженим розв'язанням.

Крім того, необхідно враховувати той факт, що при вимірі параметрів земної поверхні за допомогою пасивної НВЧ-радіометрії на хвилях довших ніж 30 см зростаючий шум космосу маскує корисний сигнал, а на хвилях коротших за 0,1 см обмежує чутливість радіометрів до атмосферних умов.

При дослідженні у НВЧ-діапазоні необхідно одержати максимально достовірні відомості про природні об'єкти, які не можуть бути отримані іншими технічними методами. Крім того, ступінь впливу різних земних утворень на інтенсивність випромінювання залежить від довжини хвилі, від кута спостереження, шорсткості поверхні, хімічного складу і

температури. Тому для того, щоб точно й ефективно вирішувати завдання дослідження природних ресурсів, необхідно використовувати багаточастотні і поляризаційні виміри, що дозволяють розділяти і визначати всі необхідні параметри досліджуваного об'єкту.

**Можна виділити такі області застосування НВЧ - радіометрів:**

- *при дослідженні суші* – це картографування снігових покривів, виявлення термальних джерел, вкритих рослинністю, дослідження геоморфологічних структур, тектонічних зон і розломів і т.д;

- *при океанологічних дослідженнях* – визначення меж крижаних полів, товщини плаваючих льодів, напрямків їхнього дрейфу, меж штормових районів, визначення солоності, визначення районів нафтового забруднення Світового океану;

- *при дослідженні атмосфери можуть* бути вирішені завдання з виявлення конвективної хмарності, виявлення зон опадів, визначення температури атмосфери на різних висотах.

## **1.4.8 СПЕКТРОМЕТРИЧНА ЗЙОМКА**

Різноманітні можливості при вивченні земної поверхні і дослідженні природних ресурсів здійснюються при вивченні спектру, його випромінювання за допомогою спектрометричної зйомки.

**Спектрометрична зйомка** являє собою реєстрацію зображення поверхні Землі в одному чи декількох інтервалах спектру за допомогою приймачів [10].

Залежно від використання спектрального інтервалу виділяють три різновиди спектрометричної зйомки:



- спектрометрія **видимого і близького** інфрачервоного спектру випромінювання ( $\lambda=0,3 - 1,4$  мкм);
- інфрачервона або **теплова спектрометрія** ( $\lambda=3,0 - 1000$  мкм);
- **мікрохвильова спектрометрія** ( $\lambda=0,3$  см – 1,0 м).

Спектрометрію видимого і близького інфрачервоного спектру випромінювання використовують при вивченні властивостей земної поверхні і атмосфери. У цьому діапазоні реєструється в основному спектральне розповсюдження відбитого випромінювання. Вимірюючи загальний потік радіації, що падає, потік радіації, відбитої від земної поверхні і розсіяний потік, можливих вирахувати величину спектрального альбедо і коефіцієнт спектральної яскравості поверхні Землі.

➤ **Інфрачервона (теплова) спектрометрія** допомагає визначити температурні неоднорідності поверхні випромінювання. Маючи дані про спектр інфрачервоного випромінювання, можна отримати енергетичну яскравість і вирахувати радіаційну температуру земної поверхні Крім того, можна вирішувати питання визначення концентрації водяної пари в різних шарах атмосфери і отримати вертикальний профіль температури атмосфери.

➤ **Мікрохвильова спектрометрична** індикація є найбільш універсальною для вивчення поверхні Землі, через те що вже при довжині хвилі  $\lambda=1,4$  см виключено вплив атмосфери. При вимірі спектральної щільності потоку мікрохвильової радіації визначаються контрасти радіояскравої температури підстиляючої поверхні, що обумовлені неоднорідністю коефіцієнтів випромінювання. Наприклад, із запущеного на початку 1973 року американського ШСЗ «Німбус-5», була проведена мікрохвильова спектрометрична зйомка, яка дозволила отримати температурні характеристики земної поверхні крізь хмари. При аналізі температурного випромінювання земної поверхні вдалося виявити ділянки підвищеної вологості, знайти положення крайки льодів, межу вода – суша.

➤ **Спектрометрична зйомка** проводиться спеціальними приладами – спектрометрами, як з літаків, так і з пілотованих космічних кораблів. Основні відмінності космоспектрометрії полягають у масштабі зйомки і швидкості носія. Методика спектрометричної зйомки полягає у вимірі коефіцієнтів спектральних яскравостей природних утворень відносно еталону, причому для реєстрації величини спектральної яскравості застосовується як фотографічний прийом випромінювання, так і фотоелектричний. У тому й іншому випадку вимірюється яскравість підстиляючої поверхні і в той же час яскравість деякого екрана з раніше відомим коефіцієнтом спектральної яскравості. Як контрольний екран використовуються гіпсові пластини, матове скло, що мають ізотопні відбивні властивості. Визначення коефіцієнтів спектральної яскравості еталонів здійснюється в лабораторних умовах при порівнянні зі спеціальними еталонами-екранами, для яких  $\lambda=1$ . Найбільш розповсюджені безперервні виміри коефіцієнтів спектральної яскравості над об'єктом, але можливі також і дискретні виміри.

Процес знімання включає сканування зображення місцевості, спектральний розподіл випромінювання, перетворення променевої енергії в електричну і реєстрацію величин, пропорційних отриманим сигналам.

Зображення з екрану фіксується на фотоплівку, що рухається синхронно з розгорткою зображення місцевості. Окрім візуальних спостережень отриманий сигнал подається у обчислювальний пристрій для наступної обробки спектрів на комп'ютері [37].

#### **1.4.9 БАГАТОЗОНАЛЬНА ЗЙОМКА**

**Багатозональна зйомка – це зйомка у вузьких спектральних діапазонах, коли одночасно використовується декілька (до 6 і більше) каналів.** Діапазони багатозональної зйомки зазвичай розташовуються у різних ділянках спектра. Багатозональну зйомку можна віднести до фотографічної,

якщо зображення отримують безпосередньо на світлочутливих матеріалах, і до нефотографічної, якщо зображення отримують безпосередньо у вигляді електричних сигналів, які потім передають по каналах зв'язку і (або) записують на магнітну стрічку.

**Багатозональне фотознімання** – це одночасне одержання у вузьких зонах електромагнітного спектру декількох фотографічних зображень земної поверхні, що мають приблизно однакові геометричні властивості. Відбором плівки і світлофільтрів вдається отримати для одного знімка спектральну зону шириною біля 100 нм.

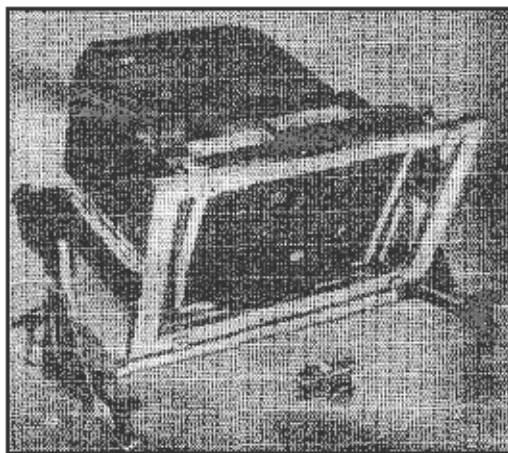
Багатозональну фотокартку отримують у результаті фотографування однією багатооб'єктивною або комплексом синхронізованих фотокамер з різними комбінаціями фотоплівок і світлофільтрів, що дають зональні зображення в різних спектральних інтервалах.

При багатозональній зйомці отримують серію знімків, неідентичних за розподілом оптичних щільностей, що пов'язано з розходженнями в відбивній спроможності об'єктів зйомки в різних зонах спектра.

Природні об'єкти навколо нас мають різні спектри відбиття. Якщо усю видиму область електромагнітного випромінювання розбити на декілька зон і через світлофільтри, що пропускають тільки визначену частину усього видимого спектра, приймати випромінювання від якогось об'єкта, то інтенсивність і форма прийнятих сигналів виявляться різними. Маючи зображення земної поверхні в цьому діапазоні, можна за вимірами інтенсивності випромінювання від різних об'єктів визначити їхній тип. Якщо використовувати ще один діапазон хвиль і в ньому виміряти інтенсивність випромінювання від тих же об'єктів, тоді випромінювальні і відбивні характеристики об'єктів, різних за своїми фізичними і біологічними властивостями, проявляться сильніше, і дозволять виявити наявні в них відмінності. Наприклад, рілля і посіви різних культур, сфотографовані в декількох зонах спектра,

відобразяться по-різному, опинившись на знімку зовсім різного кольору, відтінку і щільності. Так, у діапазонах 0,4 – 0,44 мкм, 0,62 – 0,66 мкм виявилось можливим розрізнити такі категорії посівів, як жито, кукурудза, соя, люцерна й інші, і не засаджені ґрунти.

Виходячи з практичних розумінь найбільш доцільно створення трьох – шестидіапазонних багатозональних фотосистем. Вузькоспектральні зображення можуть бути виконані знімками на спектрозональні і кольорові плівки багатозональної космічної фотокамери (рис. 31), що ще більшою мірою підвищує достовірність дешифрування [72].



**Рисунок 31 - Багатозональна космічна фотокамера МКФ-6 [43]**

Багатозональна фотографія може бути використана для підвищення достовірності дешифрування видового складу, фенологічного розвитку і стану рослинності, і особливо для виявлення захворювань і стресу рослинності. Вона є перспективною для вивчення вологості, гумусності і засоленості ґрунтів, для спостереження каламутності і забрудненості води, розвитку планктону, наявності поверхневих утворень і плівок на воді, проглядання мілководь,

для розрізнення гірських порід за мінералогічним складом і виявлення деяких геохімічних аномалій [10].

## 1.4.10 РАДАРНА ЗЙОМКА

Радарна зйомка використовується для отримання зображення у діапазоні електромагнітного спектра  $0,3 \text{ см} < \lambda < 1 \text{ м}$ . (табл.6).

Таблиця 6

### Застосування радарної зйомки

<i>Галузь використання радарної зйомки</i>	<i>Задачі</i>	<i>Район</i>
Геокартографування	1. Виявлення розломів 2. Виявлення регіональних та локальних структур 3. Визначення меж різних стратиграфічних та літологічних комплексів	Західна Сибір, Центральний Казахстан, Туркменія, Полярний Урал, Панама, Колумбія, Бразилія, Каліфорнія (США)
Топографія	Побудова топографічних карт	Панама, Бразилія
Гідрогеологія	Вивчення поверхневих та підземних вод	Туркменія
Геоморфологія	1. Вивчення особливостей будови рельєфа	Центральний Казахстан, Панама, Каліфорнія (США)
	2. Вивчення гідрографічної сітки	Західна Сибір, Панама, Каліфорнія (США)
Географія	Вивчення ландшафта	Панама, Колумбія, Каліфорнія (США), Західна Сибір
Гляціологія	З'ясування льодової	Гренландія,

	обстановки	Арктика
--	------------	---------

При цьому фіксується не тільки природне радіовипромінювання, властиве предметам навколо нас, але і штучний радіосигнал, відбитий від різних об'єктів. Залежно від природи електромагнітного випромінювання радарну зйомку поділяють на *радіолокаційну, або власне радарну, і пасивну радіолокаційну, або радіотеплову зйомку.*

Радіолокаційна зйомка здійснюється в *сантиметровому та дециметровому діапазонах* радіохвиль електромагнітного спектру. Вона ґрунтується на реєстрації відбитих від наземних діапазонів вузькоспрямованих радіоімпульсів мікрохвильового діапазону.

**Радіолокаційне зображення** формується в результаті опромінення земної поверхні радіопроменем і приймання відбитого сигналу з реєстрацією його у вигляді рядків на спектрально-променевої трубі. У результаті одержують фотографічне зображення місцевості, щільність якого залежить від потужності відбитого радіосигналу.

Унаслідок шорсткості поверхні відбита частина енергії відісланого сигналу розсіюється, і фіксується дифузійне (розсіяне) відбиття. Інтенсивність розсіяного відбиття залежить від співвідношення розміру і періоду, шорсткості поверхні відбиття з довжиною хвилі. У тому випадку, коли розміри часток поверхні менше півдовжини хвилі, вони не дають розсіяного відбиття. Завдяки цьому радарну зйомку можна проводити в будь-який час доби і за будь-якої погоди, тому що хмарність (за винятком грозових хмар) і туман не позначаються на якості радарного зображення. Зйомка при великій довжині хвилі дозволяє одержати інформацію, незважаючи на густу рослинність, а також через товщу незцементованих дрібнозернистих відкладень, але верхній діапазон спектра радарної зйомки обмежений розміром прийомної антени. Виразність радарного зображення залежить від ступеня шорсткості поверхні відбиття, геометрії об'єкта,

кута падіння променя, ступеня поляризованості і частоти посланого сигналу, фізичних властивостей поверхні відбиття (щільність, вологість та ін.).

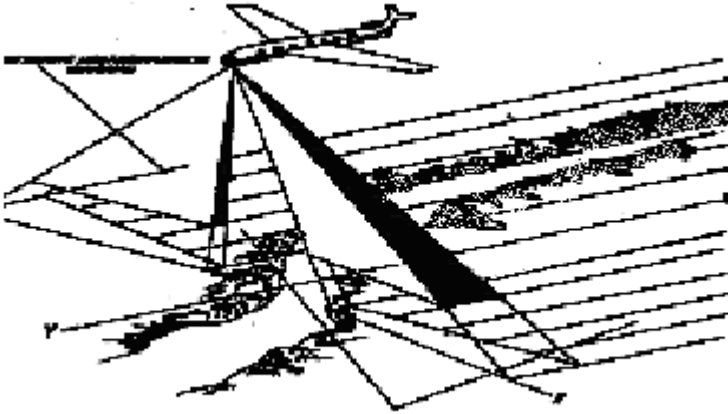
У випадку різко розчленованого рельєфу частина інформації на радарному зображенні закрита радарною тінню. Розмір площі радарної тіні визначається співвідношенням камери й об'єкту.

Електрична реєстрація випромінювання електромагнітних хвиль у радіодіапазоні базується на перетворенні енергії радіовипромінювання в енергію перемінного струму. Прийом і випромінювання електромагнітних хвиль у радіодіапазоні здійснюється за допомогою антени. Якщо з'єднати антену з генератором електричних коливань, то в навколишній простір будуть випромінюватися електромагнітні хвилі і навпаки – ті, що приходять від земної поверхні (відбиті) електромагнітні хвилі будуть індукувати в антені електричний струм. Антени мають спрямовану дію, що визначається так званою діаграмою спрямованості – залежністю напруженості прийнятої чи випромінюваної енергії від напрямку.

За допомогою активних аерокосмічних знімальних систем - радіолокаційних приладів, що визначають місце розташування об'єктів і вимірюють відстань до них за допомогою спрямованого випромінювання і прийому відбитих від цих об'єктів радіосигналів, отримують у радіодіапазоні локаційні знімки досліджуваної території. За допомогою гідролокаторів бічного огляду отримують локаційні знімки морського дна. Локаційні знімки – це знімки в мікрохвильовому діапазоні радіохвиль із довжинами від 1мм до 1 м.

***Зйомка радіолокатором бічного огляду.*** *Принцип зйомки радіолокатором бічного огляду такий:* зондуючі хвилі при вузькій діаграмі спрямованості по-різному відбиваються поверхнею Землі і приймаються в напрямі, суворо перпендикулярному прямолінійній трасі руху носія (рис. 32). Радіолокаційні імпульси (сигнали), що виробляються генератором, випромінюються передавачем і антеною у вигляді ножеподібного радіолокаційного променя. Відбиті від об'єктів місцевості радіосигнали приходять у приймач у різний час, тому що об'єкти знаходяться на різній відстані від носія.





**Рисунок 32 - Принцип зйомки радіолокатором бічного огляду [43]**

На екрані електронно-променевої трубки у результаті розгортки відбитого сигналу з'являється зображення смуги (елементарного рядка) вздовж вісі абсцис знімка. Поступальне пересування носія, що забезпечує послідовне опромінення смуги місцевості, формує зображення вздовж вісі ординат знімка. Порядкові сигнали складають радіолокаційний знімок, на якому відображаються не тільки шорсткість поверхні і її мікрорельєф, але й особливості структури і склад порід, що складають поверхню. Панораму місцевості (фотознімок у вигляді безперервної стрічки) можна одержати, якщо фотографувати екран електронно-променевої трубки на фотоплівку, що рухається.

У радіолокаційних станціях кругового огляду антена здійснює круговий або секторний огляд поверхні, відтворюючи зображення земної поверхні у вигляді масивів різної яскравості. Радіолокатори підповерхневого зондування працюють у дециметрових і метрових хвилях (у діапазоні від 1 дм до 30 м). Вони можуть виявити різні неоднорідності у поверхневому середовищі, визначати глибини їхнього залягання і потужність. **Найважливішою є незалежність якості зображення від метеорологічних умов.** Особливо ефективним є застосування цього методу в геологічних дослідженнях, при вивченні океанів, атмосфери, в гідрологічних і господарських дослідженнях.

За допомогою радіолокаційної зйомки проводиться моніторинг компонентів навколишнього середовища, у тому числі льодової обстановки.

Супутникова інформація є одним з основних видів гідрометеорологічного забезпечення в Арктиці й Антарктиці. Її роль істотно зросла у зв'язку зі значним скороченням наземної мережі берегових й острівних полярних станцій, а також згортанням діяльності авіаційної полярної розвідки. Найбільш ефективним засобом спостережень за станом крижаного покриву є супутникові радіолокаційні системи, що дозволяють одержувати інформацію незалежно від освітленості (тобто в будь-який час доби) та хмарності.

Крижаний покрив Арктики відіграє важливу роль у процесі формування клімату Землі. У багатокомпонентній кліматоформуючій системі важливе місце займають, принаймні, два фактори, пов'язані із впливом крижаного покриву Арктики на клімат нашої планети.

По-перше, арктичний лід є джерелом утворення прісної води, що у процесі льодотанення надходить у Північну Атлантику. Залежно від інтенсивності надходження цих вод можуть відбуватися істотні зміни в циркуляції водних мас Світового океану.

По-друге, великомасштабна динаміка морського льоду в полярних областях призводить до змін планетарного альбедо, що надалі впливає на умови формування енергетичних потоків у системі океан - атмосфера. Від цих потоків в остаточному підсумку залежить кількість енергії, що одержує атмосфера Землі.

На основі радіолокаційних даних, отриманих з ШСЗ «Космос-1500» з 21 січня по 3 березня 1986 р., у НІЦ «Планета» уперше в світі була побудована цифрова радіолокаційна карта Антарктиди. Карта була складена з 36 радіолокаційних зображень, кожне з яких відповідає ділянці поверхні розміром 470 м на 2500 км. На карті виділяється безліч різномасштабних структур різної яскравості, непомітних на зображеннях видимого й ІЧ-діапазонів і представляючих великий інтерес для геофізики, гляціології, кліматології тощо.

Ще одним напрямком робіт є супутникові радіолокаційні спостереження за динамікою крижаного берега Антарктиди, а також відколами й дрейфом гігантських айсбергів у Антарктиці. За допомогою радіолокаційних вимірів з ШСЗ серії «Океан» в 1986 - 2000 рр. проводилися спостереження за відколом трьох гігантських айсбергів від шельфового льодовика Фильхнера і їхнім дрейфом у море Уеддела.

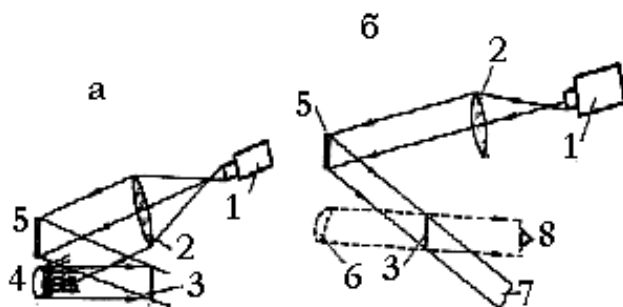
#### **1.4.11 ГОЛОГРАФІЧНА ЗЙОМКА**

*Голографічна зйомка ґрунтується на одержанні об'ємного зображення шляхом фіксації не тільки інтенсивності відбитих опорних (когерентних) хвиль, але і фаз світлових хвиль, розсіяних об'єктом зйомки. У результаті на фотопластині формується інтерференційна картина - інтерферограма, або голограма.*

Сутність голографічної зйомки подана на рис. 33.

Об'єкт, голограму якого потрібно одержати, опромінюють лазерним пучком світла. Відбита об'єктом світлова хвиля потрапляє на фотопластину. На цю ж пластину потрапляє частина світла того ж лазера, відбита дзеркалом. Це так званий опорний пучок світла. Фотопластину виявляється і фіксується; отримана в такий спосіб картина і називається голограмою.

Зовні голограма майже не відрізняється від рівномірно засвіченої пластинки, але в ній записана інформація про образ об'єкта.



**Рисунок 33** Схема голографічної зйомки:

*а) запис; б) відновлення.*

*1 – лазер*

*2 – лінза*

*3 – голограма*

*4 – об'єкт зйомки*

*5 – дзеркало*

*6 – уявне зображення*

*7 – дійсне зображення*

*8 – спостерігач*

Для того, щоб відновити зображення, голограму опромінують лазерним променем світла. І при просвічуванні голограми опорним променем з'являється два зображення – уявне і дійсне, при чому обидва зображення будуть сприйматися спостерігачем як об'ємні. Уявне зображення спостерігається, якщо дивитись крізь голограму, як у вікно.

Одна з властивостей голограми полягає у тому, що кожна її ділянка містить інформацію про увесь об'єкт, і тому дозволяє відновити повне зображення об'єкта (при зменшенні розміру голограми погіршується лише розрішаюча здатність зображення). Наслідком цього є висока надійність збереження інформації, записаної у вигляді голограми. Якість голографічних зображень залежить від монохроматичності

випромінювання лазерів і розрішаючої здатності фотоматеріалів, які використовуються при одержанні голограм. Якщо спектр випромінювання лазера широкий, то при зйомці голограми кожній визначеній довжині хвилі цього спектра буде відповідати своє інтерференційне зображення і результуюча інтерференційна картина буде нечіткою і розмитою. Тому при виготовленні голограм застосовуються лазери з дуже вузькою спектральною лінією випромінювання.

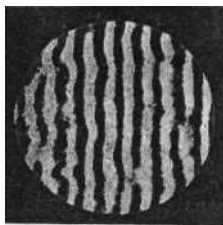
Якість інтерференційної картини *визначається такою розрішаючою здатністю фотоматеріала, тобто числом інтерференційних ліній, що можна фіксувати на 1 мм*. Чим більше є це число, тим краща якість відновленого зображення. У зв'язку з цим у голограмі застосовуються фотоматеріали, що мають високу розрішаючу здатність (1000 ліній на 1 мм і більше).

Найчастіше використовують фотографічні емульсії, які являють собою суспензії світлочутливих зерен, розташованих на деякій відстані одне від одного. Дискретна структура фотоемульсії забезпечує те, що на голограмі записується не безупинний розподіл яскравості інтерференційної картини, а лише її «урипки». Це створює світловий фон, оскільки при просвічуванні голограми світло розсіюється на виявлених зернах. У зв'язку з цим ведуться широкі пошуки беззернистих фотоматеріалів, що дозволяли б робити стирання і повторний запис інформації, що дуже важливо для низки голографічних застосувань. Існують голограми на дрібно-доменних магнітних плівках, на кристалах і інших матеріалах.

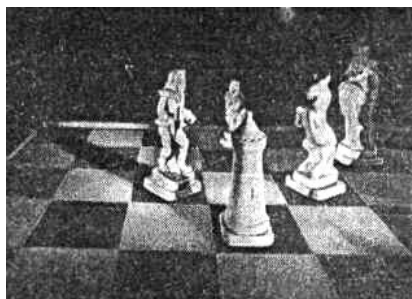
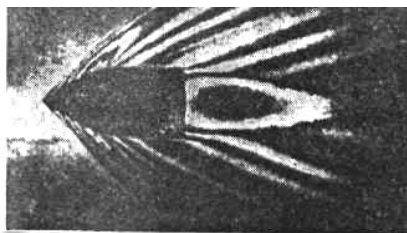
*На якість голографічних зображень впливають також умови зйомки.* При використанні лазерів безупинного випромінювання час експозиції змінюється від долей секунд до десятків хвилин (залежно від розмірів об'єкта і голограми). Протягом цього часу неприпустимі які-небудь зміщення об'єкта, фотопластинок і оптичних елементів схеми на відстані, рівні з довжиною хвилі. У іншому випадку інтерференційна картина буде розмита.

Якщо розглядати голограму в мікроскоп, то в найпростішому випадку можна побачити систему світлих і темних смуг, що чергуються (рис. 34). Інтерференційне

зображення реальних об'єктів дуже складне (рис. 35) А неосвітлена голограма являє собою однорідну сіру пластину.



**Рисунок 34 - Структура голограми, видима в мікроскоп**



а)

б)

**Рисунок 35 - а) голографічне зображення кулі, що летить;  
б) голографічне зображення шахових фігур**

Крім зйомки поверхні Землі голограма застосовується і з іншою метою. Так імпульсна голограма дає можливість фіксувати й аналізувати швидкоплинні процеси. Перспективним є застосування голограми в інтерферометрії. На одну і ту ж фотопластину в різні моменти часу записуються дві голограми досліджуваного об'єкта. Застосування голограми надає можливість створення нових систем пам'яті, які можна буде в подальшому використовувати у обчислювальній техніці.

## **1.4.12 ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДУВАННЯ**

*Лазерне зондування ґрунтується на принципі світлової локації. Пристрій, що здійснює лазерне зондування за аналогією з радаром називається лідар.*

Взагалі лазер в лідарі використовується як імпульсне джерело спрямованого світлового випромінювання. На відміну від радіодіапазону, в світловому діапазоні частот через невелику довжину хвиль особливо видимого та УФ – випромінювання відбивають локаційний сигнал всі молекулярні і аерозольні складові атмосфери, тобто за суттю сама атмосфера формує лідарний ехо-сигнал зі всієї траси зондування. Це дозволяє здійснювати лазерне зондування за будь-якими напрямками в атмосфері.

Для вирішення кожної конкретної атмосферної задачі, зазвичай, використовується конкретна схема лідара. Але в усіх випадках в лідарі неодмінно присутні три основні блоки:

- лазерне джерело випромінювання з передавальною антеною;
- приймальна антена з фотодетектором;
- реєстратор лідарних сигналів.

Для багатьох атмосферних задач необхідно селектувати зібраний приймальною антеною лідарний сигнал за спектральними частотами або за поляризацією. У цих випадках на виході приймальної антени лідара встановлюють аналізатори спектру або поляризації оптичного сигналу, що приймається. Отже, аналізатори спектру або поляризації лідарного сигналу також можна віднести до основних блоків лідара. Крім того, реєстрація таких швидкоплинних процесів, якими є лідарний сигнал, неможлива без використання швидкодіючих процесів. Як правило, для цієї мети використовують сучасні комп'ютери, що дозволяють не тільки обробляти, зберігати і візуалізувати лідарні дані, але і

контролювати параметри і керувати всіма компонентами лідара в автоматизованому режимі.

*Основною проблемою реєстрації лідарних сигналів є їхня швидка зміна в широкому динамічному діапазоні, що перевищує, як правило, 5-6 порядків. Це значно ширше діапазонів лінійності практично всіх фотодетекторів, що примушує винаходити різні засоби скорочення динамічного діапазону лідарного сигналу. Дуже важливо, щоб ці засоби не призводили до додаткових витрат корисної інформації в лідарних сигналах, що реєструються.*

При створенні систем контролю за станом повітряних басейнів великих промислових центрів велика увага приділяється дистанційним методам, особливо методу лазерного зондування, що відрізняються *деталізацією та оперативністю*. Так, наприклад, при контролюванні рівня завантаженості атмосфери різними контактними методами, які ґрунтуються на відборі проб аерозолію в певних пунктах простору, виникають певні труднощі. До них можна віднести необхідність забезпечення достатньої мережі одночасних спостережень (причому на різних висотах). До того ж результати замірів часто потребують довгої та трудомісткої обробки в лабораторних умовах. Висока чутливість лазерних локаторів при виявленні малих аерозольних домішок в атмосфері, дистанційність та велика оперативність отримання даних роблять реальною перспективу їх використання для дослідження динаміки розповсюдження аеродисперсних систем антропогенного походження та трансформації мікрофізичних характеристик аерозолію в часі.

***У наш час лазерні локатори (лідари) використовують для вирішення таких завдань:***

- атмосферної оптики, як вимірювання нижньої межі хмарності;
- визначення пропускання атмосфери вздовж нахилених трас;
- вивчення процесів перенесення та дифузії аерозолів промислового походження.



Існують приклади використання лідарів для оцінки мікрофізичних характеристик аерозолію: масової концентрації та спектру розміру часток.

Більшість існуючих досліджувальних лідарів працює на частотах видимого та ближнього інфрачервоного діапазонів, особливістю яких є велика чутливість до часток мікронної та субмікронної фракцій, тобто часток, які мають діаметр, порівняний з довжиною хвилі. Саме такі розміри характерні для природніх аерозолів та багатьох аерозолів індустріального походження, що і забезпечує успіх у використанні лідарів з цією метою.

Для зондування аерозольних забруднень використовують найбільш ефективний на сьогоднішній день лідар – ЛОЗА-3.

#### **1.4.13 ДИСТАНЦІЙНІ ГАММА – СПЕКТРАЛЬНІ ВИМІРИ**

**Гамма–спектральні виміри - дозволяють визначати забруднення довкілля радіоактивними нуклідами без відбору проб.** Спектральний детектор (сцинтиляційний або напівпровідниковий) реєструє гамма-випромінювання, що надходить від радіоактивних нуклідів, що знаходяться у навколишньому середовищі. Існують досить прості прийоми, що дозволяють за ефектом детектора знаходити кількісні характеристики забруднення навколишнього середовища (склад радіонуклідів, їхню концентрацію, просторовий розподіл, варіації в часі).

При глобальних рівнях забруднення дистанційні гамма-виміри найбільш широко використовуються для **дослідження забруднення місцевості**. На рівнинах при таких дослідженнях дуже ефективні літакові та супутникові виміри.

Для виявлення радіоактивних елементів із супутників використовують радіаційну зйомку. Така зйомка ведеться аерогаммаспектрометричним методом. Ведеться зйомка багатоканальним спектрографом, що дозволяє виявити вміст урану, торію, полонію та інших радіоактивних елементів у

будь-якій речовині. За допомогою цього виду зйомки виявляють великі запаси руд урану і торію, виявляють аномальні у радіоактивному відношенні території, складають геологічні і прогнозно-металогенічні карти.

*Гамма-випромінювання має досить велику проникаючу спроможність.* Вільний пробіг гамма-кванта в атмосферному повітрі складає залежно від енергії десятки і сотні метрів. Це дозволяє здійснювати дистанційні виміри радіоактивного забруднення. У таблиці 7 подається довжина вільного пробігу у повітрі для гамма-квантів з енергією, характерною для штучних і природних ізотопів.

Таблиця 7

**Вільний пробіг гамма-квантів у повітрі**

Енергія, Мэ	0,1	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0
Пробіг, м	50	72	89	103	122	150	174	219
Пробіг, см <sup>2</sup> /Г	0,15	0,1	0,06	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03

Вільний пробіг гамма-квантів у воді, ґрунті, гірській породі виявляється меншим. Тому в цих середовищах він знаходиться у діапазоні 5 – 20 см.

При проходженні через середовище, гамма-кванти в результаті взаємодії з атомами втрачають свою енергію або поглинаються.

У гамма-спектрометрії природних середовищ використовуються 3 основні моделі протяжних джерел, обумовлених розподілом у ґрунті радіоактивних продуктів, що випали на місцевість:

- пласке джерело;
- експоненціально заглиблене джерело;
- радіоактивний шар (пласт).

При випадінні радіоактивних продуктів на водні басейни розподіл їх у верхніх шарах виявляється рівномірним. Радіоактивний шар тут має суттєву товщину і переходить у модель радіоактивного простору. При вимірах у самій воді, на глибинах більше метра буде справедлива модель однорідного радіоактивного простору. Модель однорідного простору також добре відображає розподіл природних радіоактивних елементів у ґрунтах і гірських породах. Експоненціальному розподілу відповідає розподіл продуктів розпаду радону, що тимчасово існує в атмосфері.

Дослідження структури гамма-поля показали, що на невеликих відстанях від джерел приблизно половина енергії випромінювання переноситься розсіяними квантами, на великих відстанях на розсіяне випромінювання припадає основна частина енергії, що переноситься. Тут спостерігається значне накопичення розсіяних гамма-квантів, що значно перевищують кількість первинних гамма-квантів, які надходять у точку спостереження. Максимальна кількість розсіяних гамма-квантів припадає на енергії 0,06 - 0,3 МеВ. У джерел з великим ефективним атомним номером максимуми відповідають великим значенням енергії. Накопичення значної кількості легких розсіяних гамма-квантів, обумовлених природною та штучною радіоактивністю зовнішнього середовища, призводить до того, що на їхньому фоні погано виділяються лінії нерозсіяного гамма-випромінювання малої енергії. Така структура гамма-поля протяжних джерел обмежує можливості дистанційних гамма-спектральних вимірів в області малої енергії. Найефективнішими дистанційні виміри є для енергій більше 0,3 - 0,4 МеВ.

Кількість інформації, яка переноситься прямим та розсіяним гамма-випромінюванням, зазвичай, більша, ніж та, що пов'язана тільки з прямим випромінюванням. Однак у багатьох випадках виявляється доцільним проводити кількісні визначення за інтенсивністю нерозсіяного випромінювання. Це пояснюється тим, що тут виявляється значно простіше врахувати перешкоди, пов'язані з апаратурними похибками, варіаціями ефективного атомного номера, змінами форми

спектру за рахунок присутності неідентифікованих випромінювачів і т.ін.

*Уперше дистанційні методи виміру радіоактивного забруднення були використані в колишньому СРСР.* За допомогою літакової зйомки досліджувалося глобальне радіоактивне забруднення території. Це дозволило одержати унікальні дані про просторову і тимчасову структуру глобального забруднення місцевості. Пізніше ці методи почали застосовувати і в інших країнах.

#### **1.4.14 СКАНЕРНА ЗЙОМКА**

За допомогою **сканерів формуються «мозаїчні» знімки, що складаються з декількох окремих елементів зображення, які отримуються послідовно.** Скануючий елемент оптико-механічного пристрою, послідовно продивляючись місцевість впоперек руху носія, надсилає променевий потік до об'єктів і далі на точковий фотоприймач, який перетворює його в електричний сигнал, який у свою чергу йде по каналах зв'язку.

**При сканерній зйомці** зображення місцевості отримують у вигляді безперервної стрічки, що складається зі смуг (сканів), які, в свою чергу, складаються з окремих елементів (пікселів). У межах елемента зображення відбувається осереднення яскравості об'єктів і деталі не розрізняються. На зображенні сканерних знімків, як і телевізійних, завжди можна виявити смуги сканування, яких нема на

Метод сканування, який добре зарекомендував себе на практиці, застосовується для отримання зображення *в усіх спектральних діапазонах*. Залежно від того, яка частина спектра застосовується, і які питання вирішуються схема сканера може дещо змінюватися. Найефективнішим метод сканування є в видимому та інфрачервоному діапазонах. Сканери, призначені

для точного виміру радіації, – **скануючі радіометри** – працюють за двопрменевою схемою: на приймач радіації по черзі надсилається випромінювання від Землі та з Космосу, створюючи нульовий рівень відліку. У результаті отримуємо електричний сигнал, напруга якого пропорційна різниці інтенсивності потоків вимірювання від Землі та Космосу. Сканери, призначені для вимірювання випромінювання в декількох вузьких (0,1 мкм) спектральних зонах, – **скануючі спектрометри** – працюють за багатозональною схемою. До конструкції сканера додається диспергуюча система (дифракційні решітки, призми), розділяючи променевий потік на спектральні складові, які надходять на різноманітні фотоприймачі.

**Важливі характеристики сканування** – *кут сканування (огляду) та миттєвий (елементарний) кут зору*, які визначають ширину полоси, що знімається, та лінійну розрішаючу спроможність на місцевості. У різних сканерів ці кути різні за величиною. У точних сканерів кут сканування зменшують до  $\pm 5^\circ$ , а у оглядових збільшують до  $\pm 50^\circ$ . Відповідно до цього і миттєвий кут зору встановлюється від десятих долей хвилини до декількох градусів. Кут сканування і миттєвий кут зору та відповідно, обсяг зйомки і розрішаюча здатність на місцевості – це взаємопов'язані величини. Чим більша розрішаюча здатність сканера, тим більша ширина смуги зйомки. Наприклад, при розрішаючій здатності 1-2 км з космосу знімають смугу шириною в декілька тисяч кілометрів і за розрішаючої здатності в 200-300 м до 1000 км, а при розрішаючій спроможності в 50-80 м ширина смуги зйомки перевищує перші сотні кілометрів. Чим більше розрішаюча спроможність сканера і ширина смуги зйомки, тим більший обсяг інформації, яку необхідно передати за одиницю часу по каналах космічного зв'язку. При розрішаючій здатності 100 м і обсязі 200 км цей об'єм досягає 2 мегабіта ( $2 \cdot 10^6$ ) за секунду. Канали зв'язку повинні забезпечити його передавання. Знімальна апаратура супутників має два режими роботи: режим запам'ятовування та режим безпосередньої передачі.

*Основна відміна скануючої оптичної апаратури від телевізійної полягає в тому, що у скануючій апаратурі зазвичай ви-*

*користується один приймач, на який послідовно надходить променевий потік від елементів досліджуваної поверхні. Послідовний огляд елементів при цьому здійснюється, як правило, за допомогою оптико-механічних схем різноманітної конструкції. Розміри елементів на місцевості, робочий спектральний діапазон та інші параметри апаратури визначаються її призначенням.*

Скануючі пристрої застосовуються для вимірів в усіх частинах спектра електромагнітної енергії. В оптичному діапазоні скануючі пристрої використовуються при вимірі кутового розподілу випромінювання Землі, хмарності, параметри атмосфери, які можна виміряти оптичними пристроями. Також скануючі пристрої застосовують для вимірів з космічних апаратів площ температури і вологості, розподілу зони вуглецю та ін.

При спостереженні за хмарністю перевага інфрачервоної скануючої апаратури перед телевізійною полягає в тому, що перша приймає власне випромінювання об'єктів і тому може працювати цілодобово, а не тільки при сонячному освітленні, як телевізійна апаратура.

Оптико-електромеханічні пристрої, призначені для знаходження координат за їх власним тепловим випромінюванням, отримали назву **теплопеленгаторів**.

У скануючій інфрачервоній апаратурі для отримання зображень найбільш широкого розповсюдження знаходить обстеження досліджуваної площі вузьким променем з прямолінійним порядковим розверненням. Розвернення здійснюється за допомогою обертання дзеркального призматичного барабана, що має  $n$  граней.

Чутливість скануючого пристрою, призначеного для отримання тільки зображення якоїсь поверхні, залежить від його енергетичної розрішальної здатності.

За своїми геометричними властивостями сканерний знімок, що складається з окремих елементів, поступається кадровому. Сканерна зйомка неперевершена, якщо мова йде про використання вузьких зйомочних зон для отримання зображення в усіх спектральних діапазонах. Вона забезпечує швидку пере-

дачу сигналів сканера та порівняно просте подання знімка у цифровому вигляді, зручному для машинної обробки.

### **Контроль-колоквіум з МОДУЛЯ 1**

1. На які 3 етапи поділяється історія розвитку знімків?
2. Охарактеризуйте рисовані зображення.
3. Назвіть вчених, які, на вашу думку, зіграли найбільшу роль у становленні дистанційних методів дослідження.
4. Охарактеризуйте сучасний стан розвитку космічної індустрії на Україні.
5. Що розуміється під екологічною інформативністю космічних знімків?
6. Чому на практиці найбільш широко використовуються знімки, отримані у видимому і ближньому інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектру?
7. На чому базується ландшафтно-індикаційний засіб дешифрування космічних знімків?
8. В яких цілях застосовують аерокосмічні знімки?
9. Яку роль відіграють аерокосмічні знімки при моніторингу стану водних об'єктів?
10. Яку роль відіграють аерокосмічні знімки при Моніторингу стану ґрунтового покриву?
11. Яку роль відіграють аерокосмічні знімки при моніторингу стану рослинності?
12. Яку роль відіграють аерокосмічні знімки при вивченні сучасних ландшафтів?

13. Які задачі може вирішувати сільське господарство за допомогою аерокосмічних знімків?
14. Як за допомогою аерокосмічних знімків можливо дослідити негативний вплив міст на природу?
15. В чому полягає фізична сутність сучасних видів зйомки?
16. Яка зйомка дає можливість систематичного одержання зображення всієї поверхні Землі протягом тривалого часу?
17. Яка зйомка використовується для геологічних досліджень?
18. Які прилади використовують при активних методах зйомки?
19. Які прилади використовують при пасивних методах зйомки?
20. Дайте визначення поняттю «знімок».
21. Перерахуйте основні параметри, потрібні для здійснення планової зйомки.
22. Перерахуйте основні параметри, потрібні для здійснення планово - перспективної зйомки.
23. Перерахуйте основні параметри, потрібні для здійснення панорамної зйомки.
24. Вкажіть різницю між плановою і перспективною зйомкою.
25. Наведіть приклади авіаційних носіїв.
26. Що відносять до космічних носіїв?
27. Які основні недоліки вимірів у видимій і ІЧ - області спектру?
28. Які переваги при вимірах у тепловій ІЧ – області?
29. На чому ґрунтується фотографічна зйомка?
30. Яку особливість має телевізійна зйомка у порівнянні з фотографічною?
31. Перерахуйте недоліки ІЧ зйомки?
32. За допомогою яких приладів здійснюється спектрометрична зйомка?
33. Для чого використовується багатозональна зйомка?
34. Який принцип зйомки радіолокатором бічного огляду?
35. В чому полягає сутність голографічної зйомки?



36. Для вирішення яких завдань використовують лазерні локатори (лідари)?
37. Перерахуйте найважливіші характеристики сканування?
38. Які основні завдання можна вирішити методом теплової зйомки?

## ЗРАЗОК

Міністерство освіти та науки України  
Харківський національний університет ім. В.Н.Каразіна  
Екологічний факультет  
Кафедра екології та неоекології  
Тест – контроль з модуля 1  
(95 балів)

Прізвище, ім'я, по батькові \_\_\_\_\_

№ зал. книжки \_\_\_\_\_

Дата контролю \_\_\_\_\_

Тривалість контролю \_\_\_\_\_

### Частина 1(29 б.)

(Творчо-алгоритмічний рівень пізнання)

**Умови виконання завдання:** *Дайте короткі відповіді:*

1. Визначить головні історичні етапи у розвитку досліджень на відстані. \_\_\_\_\_ (4 б.)
2. Назвіть головне призначення супутникової радіонавігаційної системи ГЛОНАСС. \_\_\_\_\_ (6 б.)
3. Що розуміють під екологічною інформативністю космічних знімків? \_\_\_\_\_ (5 б.)
4. Дайте визначення поняттю «траса супутника». \_\_\_\_\_ (5 б.)
5. Назвіть головну особливість сонячно-синхронних орбіт. \_\_\_\_\_ (4 б.)
6. Перерахуйте основні параметри необхідні для здійснення панорамної зйомки. \_\_\_\_\_ (5 б.)

## Частина 2 (20 б.)

### (Алгоритмічний рівень пізнання)

**Умови виконання завдання:** *Вставте пропущені слова, вирази, числа, тощо.*

1. Сучасна різноманітність знімків з'явилась не відразу, в їх історії можна виділити (1 число) етапи: \_\_\_\_, \_\_\_\_ і \_\_\_\_ (5сл) (6 б.).

2. Аерокосмічні методи являють собою \_\_\_\_ (3 сл) і навколоземного простору, які виконуються за матеріалами \_\_\_\_ (2 сл.) зйомок (5 б.).

3. Аерофотознімальні маршрути прокладаються так, щоб знімки сусідніх маршрутів мали продольне перекриття \_\_\_\_%, а поперечне \_\_\_\_% (2 б.).

4. Вікна прозорості атмосфери – це ті частини \_\_\_\_ (3 сл.), де електромагнітні хвилі \_\_\_\_ (2 сл) в атмосфері (5 б.).

5. Зйомка у вузьких спектральних діапазонах, коли одночасно використовується декілька каналів – це \_\_\_\_ (2 б.).

## Частина 3 (5 б.)

### (Репродуктивний рівень пізнання)

**Умови виконання завдання:** *Визначте чи вірно наведене твердження.*

- |  |     |    |
|--|-----|----|
| 1. Перші знімки з штучних супутників Землі були зроблені у 1930 р.   | Так | Ні |
| 2. У аерокосмічних дослідженнях головним джерелом інформації є знімок.   | Так | Ні |
| 3. Планова зйомка здійснюється, коли оптична вісь апарта відхиляється від напрямку місцевої вертикалі на 30-40°. | Так | Ні |
| 4. Теплове випромінення земної поверхні реєструється у УФ діапазоні  | Так | Ні |
| 5. При здійсненні фототелевізійної зйомки зображення одразу ж передається на Землю.                              | Так | Ні |

### Частина 4 (16 б.)

(Репродуктивно-алгоритмічний рівень пізнання)

Умови виконання завдання: *Знайдіть відповідність показників групи А одному або декільком показникам групи Б*

#### Група А

- А Бортова апаратура ГЛОНАСС
- Б Носії знімальної апаратури
- В Космічні фотоапарати
- Г Обробка інформації з космосу

#### Група Б

- 1. Комплексне управління
- 2. Авіаційні
- 3. Система терморегуляції
- 4. З поверненням відзнятої плівки
- 5. Пілотуємі космічні кораблі
- 6. Система корекції
- 7. З фотохімічною обробкою плівки
- 8. Службова обробка
- 9. Навігаційний комплекс
- 10. Гелікоптери
- 11. Автоматичні
- 12. Просторова прив'язка
- 13. Літаки
- 14. Радіаційна корекція
- 15. Космічні
- 16. Тематична інтерпритація

#### Вітповіді

А.	
Б.	
В.	
Г.	

### Частина 5 ( 15 б.)

(Репродуктивний рівень пізнання)

Умови виконання завдання: *знайдіть вірну відповідь серед наведених.*

1. Визначіть види зйомок у польоті: а) візуальні; б) висотні; в) рисовані; г) фотографічні; д) фотоелектронні.
2. Фотографічну апаратуру за конструктивним методом побудови зображення можна поділити на: а) кадрові апарати; б) сканерні апарати; в) фотографічні апарати; г) щілинні апарати; д) панорамні апарати.
3. Форми орбіт КЛА в залежності від швидкості їх руху можуть бути: а) еліптичні; б) кругові; в) прямі; г) похилі; д) обернені; е) полярні.
4. Виділяють три різновиди спектрометричної зйомки: а) теплова спектрометрія; б) УФ спектрометрія; в) мікрохвильова спектрометрія; г) фотоелектрична спектрометрія.

### **Частина 6 (20 б.)**

**(Творчий рівень пізнання)**

**Умови виконання завдання:** *Визначте: що треба зробити, якщо...; викладіть свою точку зору щодо наведеного; що буде, якщо...*

1. Перерахуйте, які природні та антропогенні явища можливо досліджувати за допомогою ІЧ зйомки. \_\_\_\_\_ (15 б).
2. Визначіть різницю між активними та пасивними методами зйомки. \_\_\_\_\_ (5 б).

## **МОДУЛЬ 2**

### *ЗАСТОСУВАННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ*

#### **Програмні матеріали з модуля 2**

Аерокосмічне зондування використовують як засіб вивчення усіх компонентів довкілля у тому числі й антропогенно перетворених ландшафтів та джерел забруднення. Різні види зйомок дозволяють дослідити у динаміці зміни, що відбуваються в атмосфері, гідросфері та педосфері, відслідкувати джерела викидів і скидів забруднюючих речовин та напрямок їх розповсюдження. Така інформація сприяє швидкому реагуванню на виникнення нових несприятливих ситуацій та негайному застосуванню запобіжних заходів.

Недостатня кількість інформації про стан природного середовища (водного об'єкту чи ґрунтового покриву окремої території) дуже часто призводила до виникнення екологічно небезпечних ситуацій (заростання водойми, токсикація ґрунтів). Тому екологічні дослідження без використання дистанційних методів не забезпечать швидкої, повної та достовірної інформації.

#### **▲ Нормативні навчальні елементи з МОДУЛЯ 2:**

1. Активний абсорбційний метод
2. Стаціонарні пости
3. Пересувні пости
4. Температурна аномалія
5. Дистанційно-аерокосмічне дослідження природного середовища
6. Коефіцієнт пропускання
7. Поляризація світла

8. Метод еталонів
9. Димовий шлейф
10. Теплові «куполи»
11. Аномально нагріті ділянки
12. Оптична щільність
13. Дистанційний ґрунтовий моніторинг
14. Методи екологічного прогнозу
15. НВЧ-радіометрія
16. Інвентаризація лісів
17. «Блакитне» зрушення
18. Дешифрування видового складу насаджень
19. Дешифрування віку, бонітету і типів лісів
20. Дешифрування повноти насаджень
21. Непрямі індикатори
22. Прямі індикатори
23. «Острів»тепла

**▲ Додаткові навчальні елементи з  
МОДУЛЯ 2:**

1. Клас «грубий дозвіл»
2. Аерознімання триплетами
3. Абіотичні чинники
4. Антропогенні чинники
5. Болотні ландшафти
6. Топологічні карти боліт

**Література**

*рекомендована для вивчення модуля та підготовки до  
колоквіуму*

- *Альтер С.П.* Ландшафтный метод дешифрирования аэрофотоснимков. – М.: Наука, 1966. – 110 с.
- *Амбарников В.Н., Елажин А.Н., Новиков М.П.* Радиофизические исследования поляризаационных характеристик полога древостоя и кромки лесного пожара. – Дистанционное зондирование земных

покровов радиометрами // Экспресс информация, 1989. - №7. – С. 15-21.

- *Арныбашев Е.С., Кузьмин В.Д., Орлов О.К.* Исследования инфракрасного излучения моделей лесных пожаров // Лесное хозяйство, 1974. - №10. - С. 21-27.
- *Аэрокосмические методы в социально-экономической географии / Под ред. Ю.Ф. Книжникова.* – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 204 с.
- *Белов С.В.* Аэрофотосъемка лесов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – 219 с.
- *Берлянд М.Е., Кондратьев К.Я.* Города и климат планеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 134 с.
- *Аэрокосмические методы в охране природы и в лесном хозяйстве / Под ред. В.И. Сухих и С.Г. Синицина.* – М.: Лесная промышленность, 1979. – С. 116-303.
- *Григорьев А.А.* Города и окружающая среда. Космические исследования. – Л.: Географ. общество СССР, 1982. – 212 с.
- *Григорьев А.А.* Космическая индикация ландшафтов Земли. – Л.: Изд-во Ленинградского госуд. ун-та, 1975. – 163 с.
- *Григорьев А.А., Кондратьев К.Я.* Космическое земледование. – М.: Наука, 1985. – 159 с.
- *Кондратьев К.Я.* Климат по наблюдениям из космоса. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 145 с.
- *Космические методы изучения среды. Автоматизированный аэрокосмический практикум / Под ред. А.П. Капицы, Ю.Ф. Книжникова.* – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. – 143 с.
- *Кравцова В.И.* Материалы космических съемок и их применение в географических исследованиях. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 96 с.

- *Кринов Е.Л.* Спектральная отражательная способность природных образований. – М.: Изд-во АН СССР, 1947. – 271 с.
- *Куприянов В.В.* Гидрологические аспекты урбанизации. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 89 с.
- *Куприянов В.В., Прокачева В.Г.* Спутниковая информация изучения вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 106 с.
- *Лазерные* измерения массовой концентрации аэрозолей в шлейфах промышленных предприятий / Н.М. Назаров, В.Н. Рождественская, Ш.Д. Фридман, В.Ф. Журавлев. – М.: Метеорология и гидрология, 1980. – С. 24-32.
- *Ландшафтный* метод лесного дешифрирования аэроснимков. Сб. ст. АН СССР. – М.: Наука, 1976. – С. 78-83.
- *Микроволновая* дистанционная индикация загрязнения поверхности моря нефтепродуктами / В.В. Богородский, К.Я. Кондратьев, Ю.И. Рабинович. – М.: Наука, 1976. – 118 с.
- *Многозональная* аэрокосмическая съемка и ее использование при изучении природных ресурсов. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – 138 с.
- *Мощные* лазерные излучения в атмосферном аэрозоле / Под ред. М.В. Кабанова – Новосибирск: Наука, 1984. – 180 с.
- *Преображенский В.С., Анненков В.В., Лапко Г.М.* Проблемы окружающей среды городов в освещении американских географов. – М.: Изд-во АН СССР. Сер. география, 1978. - №5.
- *Применение* радиолокационной съемки при геолого-географических исследованиях. – Л.: Недра, 1981. – С. 56-72



### **2.1 ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ**

#### **Історія застосування дистанційних засобів дослідження параметрів атмосфери**

Найбільша увага при спостереженні з супутників приділяється забрудненню атмосфери. На космічних знімках відстежуються атмосферні забруднення різних типів – від окремих промислових підприємств, їх скупчень, міст, міських агломерацій, літаків, суден, пожеж, викликаних людиною, і до забруднень, пов'язаних зі значним запиленням у районах інтенсивного порушення ґрунтово-рослинного покриву.

Перші спроби застосування оптичного випромінювання для дистанційного визначення деяких параметрів атмосфери датуються початком ХХ століття. Однак, у зв'язку з недостатністю знань про оптику атмосферних процесів, обмеженим математичним апаратом і відсутністю потужних джерел оптичного випромінювання, практичне значення методів оптичного зондування атмосфери було надзвичайно малим.

Другий етап розвитку починається у 60-ті роки, після винаходу лазера. Специфічні властивості лазерного випромінювання та перспектива його практичного використання стимулювали величезну зацікавленість вчених у вирішенні фундаментальних проблем розповсюдження просторово-обмежених вузькоспрямованих світлових пучків в атмосфері. У результаті за короткий час були вивчені основні закономірності взаємодії лазерного випромінювання з атмосферою, що дозволило розпочати вирішення складних проблем, пов'язаних з розробкою методів лазерного зондування атмосфери.

## Дистанційні методи спостереження дальнього переносу газоподібних забруднень

При спостереженнях дальнього переносу забруднень повинні використовуватись засоби і апаратура, що забезпечують проміжну чутливість порівняно з методами і апаратурою, що використовуються при контролі забруднення поблизу джерел і для фонових вимірів. Спостереження можуть бути організовані як на мережі станцій, розташованих у напрямках імовірного переміщення потоків забруднення від великих джерел і вздовж кордонів держав, так і за допомогою пересувних установок, що розміщуються на автомобілях і літаках. Виміри можна проводити за допомогою спектрометрії прямого і розсіяного атмосферою сонячного випромінювання (а також прямого випромінювання місяця і зірок) і активними резонансними методами.

Одні з найбільш перспективних методів дослідження дальнього переносу можна вважати **активний абсорбційний метод з розміщенням на літакові лазерного джерела випромінювання і оптичного гетеродина, який приймає відбите земною поверхнею лазерне випромінювання. Такий метод забезпечує можливість проведення вимірів цілодобово.** У результаті можуть бути побудовані карти горизонтального розподілу забруднень на території і можливе також відновлення висотного профілю молекулярних компонентів атмосфери.

Під час систематичних вимірів загального вмісту CO на станції, розташованій у 50 км від Москви і в 5 км від невеликого промислового міста Звенігород, були отримані дані, що дозволили зробити висновки про можливість перенесення CO з Москви. Виміри проводились за допомогою дифракційного спектрометра методом спектрометрії прямого сонячного випромінювання. Співставлення результатів виміру загального вмісту CO з напрямками і швидкістю вітру на висоті 500 м над станцією довело, що навіть вміст CO над Звенігородом істотно не змінювався.

В умовах гірської місцевості винесення забруднення з міста в прилеглі долини може виявитись значно більшим. Наприклад, при вимірах загального вмісту двоокису азоту в тропосфері над обсерваторією Фрінц-Пік, що розташована в горах Колорадо на висоті 3 км у 45 км на захід від м. Денвера, виявлена істотна кореляція між загальним вмістом  $\text{NO}_2$  і напрямом вітру.

Виміри за допомогою кореляційного мас-спектрометра, що проводились на відстані 400 км від джерела, дозволили не тільки зафіксувати перенос  $\text{SO}_2$  на таку відстань у димовому факелі з труби висотою 381 м, але і визначити викид з цієї труби. Кореляційний спектрометр розташовується стаціонарно і він має стабільну прямолінійну базову лінію (з рівнем шуму EMBED Equation.3 (20 хвил./м) за час вимірів (протягом від 7 год. 11 хвил. до 17 год. 28 хвил.). Такий прилад було розміщено в Торонто на південний захід від Садбері, де знаходиться труба, яка розглядалася як єдине джерело  $\text{SO}_2$  у день проведення вимірів. За час вимірів протягом 4 год. 30 хвил. спостерігалось зростання показників приладу. Прилад показав, що швидкість окислення  $\text{SO}_2$  в факелі становить 1 % на годину.

**Фонові виміри.** Висока чутливість дистанційних засобів виміру газового складу атмосфери забезпечила їм головну роль у відкритті присутніх в атмосфері різноманітних малих за вмістом домішок. Наприклад, за спектрами сонячного випромінювання, що пройшло через атмосферу, були зроблені оцінки загального вмісту в атмосфері  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{ClO}$  та інших газів і парів. Зараз спостереження за природним складом атмосфери здійснюється як за допомогою стаціонарних систем, розташованих на відстані від джерел забруднення, так і з допомогою пересувних приладів, що містяться на наземних транспортних засобах (автомобілях і суднах) і літальних апаратах (аеростатах, літаках, ШСЗ). Достатню чутливість вимірів можуть забезпечити активні лазерні системи, які реалізують резонансні методи: абсорбційний, комбінаційного розсіювання і флуоресценції. Пасивні засоби (спектрометрії сонячного випромінювання, емісійної спектрометрії й ін.), як правило, забезпечують необхідну для фонових вимірів чутливість лише при використанні довгих похилих трас випромінювання (порядку декількох десятків і навіть сотень кілометрів) у стратосфері і мезосфері. В

окремих випадках для компонентів з високим вмістом і інтенсивним спектром поглинання, що приходиться на вікна прозорості атмосфери, фонові виміри методом спектрометрії прямого або розсіяного небом сонячного випромінювання можуть проводитися з поверхні Землі з використанням майже вертикальних трас випромінювання.

**Наземні виміри.** У практиці наземних вимірів фонових концентрацій атмосферних газів широко використовуються різноманітні варіанти засобу спектрометрії прямого або розсіяного небом сонячного випромінювання.

**Найбільш систематизовано організовані спостереження загального вмісту озону в усій товщі атмосфери.** Існує світова озонотрична мережа, яка складається з більш ніж 100 станцій. Озонотрична мережа країн СНД включає 45 станцій (17 станцій в європейській частині, 27 – на азіатській і 1 – в Антарктиді) [2]. На зарубіжних станціях для контролю загального вмісту озону в атмосфері використовуються, в основному, прилади типу спектрофотометру Добсона, в СНД – озонотри M-83, який являє собою двофільтровий радіотри. Озонотри M-83 є більш простим і дешевим приладом порівняно зі спектрофотометром Добсона.

**Виміри з літаків, аеростатів, ракет.** Проводяться за допомогою спектрально-оптичних приладів, які встановлюються на літальних апаратах. Вони забезпечують:

- розширення масштабів спостережень за рахунок швидкого переміщення засобів вимірів на великі відстані.
- зменшення перешкод з боку аерозолів та водяної пари через їх менший вміст у стратосфері і мезосфері.
- зменшення перешкод з боку газових компонентів за рахунок кращого розподілу спектральних ліній, зумовленого звуженням їхнього контуру при зниженні тиску (виміри в стратосфері і мезосфері).
- визначення висотного профілю концентрацій, завдяки вимірам на різних висотах і при різних напрямках, близьких до горизонтального.

Для спостереження складу тропосфери, включаючи приземний шар, найбільш придатні активні засоби. Лідарні системи, які реалізують резонансні методи, при розміщенні на літаках мо-

жуть забезпечити отримання картин розподілу природних концентрацій багатьох газоподібних компонентів на великій площі [20].

**Виміри з ШСЗ.** Супутникові виміри є найефективнішими засобами здійснення глобального контролю складу атмосфери, включаючи спостереження за розповсюдженням забруднень від природних і антропогенних джерел. Більш просто реалізуються пасивні методи, які можна поділити на три основні групи [4]: методи виміру прозорості атмосфери для прямого випромінювання Сонця, Місяця, зірок; методи виміру відбитого і розсіяного земною поверхнею і атмосферою випромінювання; методи виміру теплового випромінювання, що йде від Землі.

Результати вимірів прозорості атмосфери найбільш просто пов'язані з концентраціями, що забезпечує найвищу надійність інтерпретації результатів вимірів абсорбційним методом. Його чутливість і точність досить високі. Однак, у зв'язку з необхідністю відстежування джерел випромінювання під час руху ШСЗ потрібна досить складна допоміжна апаратура.

Використання УФ, видимого і ІЧ – діапазонів у спостереженнях можливі лише в шарах атмосфери, що лежать вище тропосфери. Проведення вимірів у мікрохвильовому діапазоні дає можливість спостерігати за складом верхньої тропосфери. Однак використання МХ-діапазону обмежується нестабільністю Сонця як джерела випромінювання в цьому діапазоні. Виміри повинні проводитися з використанням приладів з високим спектральним і кутовим дозволом і високою точністю фотометричних вимірів [4]. Цим вимогам відповідають растрові і фур'є-спектрометри, а також гетеродинні лазерні прилади.

Методи виміру відбитого і розсіяного в системі Земля-атмосфера випромінювання забезпечують найпростішу організацію глобальних вимірів і мають гарну чутливість. Виміри можна проводити в УФ, видимому і ближньому ІЧ (до 3-4 мкм) діапазонах з використанням порівняно простих фільтрових і дисперсійних спектральних приладів.

Методи виміру теплового випромінювання, що йде від Землі, також відносно прості в реалізації, однак вимагають при інтерпретації результатів вимірів незалежного визначення профілю температури атмосфери вздовж траси випромінювання.

Для вимірів можна використовувати як порівняно прості прилад з низькою розрішаючою здатністю (фільтрові радіометри); так і світлосильні прилади з високою розрішаючою здатністю (гетеродинні, кореляційні, растрові і фур'є-спектрорадіометри). Зрозуміло, останні мають перевагу, забезпечуючи кращий розподіл спектрів різноманітних компонентів атмосфери, що накладаються один на одного.

Оцінки показують, що сучасні активні системи з лазерним джерелом також можуть бути використані для проведення вимірів з ШСЗ, включаючи спостереження складу тропосфери. Однак на відміну від пасивних засобів, застосування яких вже дозволило отримати дані про глобальні характеристики деяких атмосферних домішок.

### **Дистанційні засоби вивчення димового забруднення атмосфери**

Димові забруднення атмосфери на космічних знімках можуть бути визначені за певним планом зображення і характерним малюнком. За яскравістю зображення вони темніші хмар нижнього і середнього ярусу і наближаються до яскравості зображення хмар верхнього ярусу. При зйомці в різних спектральних інтервалах найбільшу яскравість димові забруднення повинні мати в частині спектру 0,4-0,5 мкм, оскільки в цій частині спектра спостерігається максимум розсіювання атмосферного шлейфу, що підтверджено даними космічної зйомки. Наприклад, дим лісової пожежі в Турції за даними багатозональної зйомки пілотуємого космічного корабля «Союз – 12» найбільш вдало видно на фоні поверхні пустелі в інтервалі спектра з максимумом в частині 0,470 мкм. Однак існують відхилення від цього правила. Зокрема, в цій частині спектра над водною поверхнею важко чітко визначити межі димової хмари, через те, що вони зливаються з загальним фоном атмосферного шлейфу. Як виявив аналіз багатоспектральних зображень з американського супутника ЛАНДСАТ-1, найбільш інформативними є знімки у частині спектру 0,5-0,7 мкм. Одночасний аналіз телевізійних (0,5-0,7 мкм) та інфрачервоних (10,5-12 мкм) зображень димових шлей-

фів від пожеж виявив, що в той час, коли на телевізійних зображеннях чітко видні димові факели, які мають дещо меншу яскравість, ніж хмарність, на їх зображеннях вони зовсім не помітні. Таким чином, отримання зображень димових хмар одночасно в частинах спектру ТВ і ІЧ дає можливість відділити димові забруднення від хмарності. Однак це можливо тільки в тих випадках, коли дим сухий і конденсація водяної пари на димових частках мала. В інших випадках димові забруднення буде видно і на ІЧ - зображеннях [81].

### **Забруднення атмосфери димами природних пожеж**

Пожежі лісові, болотні (торф'яні), трав'яні є одним із найважливіших джерел забруднення атмосфери. Супутникові системи спостереження за ними, які розробляються, відкривають ефективні можливості їх вивчення. Світлі язики димових струменів від пожеж особливо чітко виявляються на локальних фотографіях, а також на знімках зі супутника природних ресурсів ЛАНДСАТ-1 (ЕРТС – 1) і ЛАНДСАТ – 2. Димові шлейфи від локальних лісових пожеж були виявлені у Флориді та Аргентині, стовпи диму від пожеж чагарників – у Мексиці, Нігерії, Республіці Чад і Камеруні; димові струмені трав'яних пожеж – у Судані і Замбії. Подібні знімки з розрішаючою здатністю не менше 100 м особливо ефективні для локалізації джерел забруднення, виявлення нових і старих згарищ і, таким чином, потенційних пожежонебезпечних районів.

На ТВ знімках з метеорологічних супутників димові забруднення, зокрема факели, зображаються менш чітко, за ними складніше визначити і здійснити локалізацію осередків горіння. Але значна обзорність ТВ знімків дозволяє виявити одночасний розвиток багаточисельних пожеж на великих площах і забруднення атмосфери в регіональних масштабах.

На космічних знімках чітко простежуються варіації димових струменів залежно від напрямку вітру, а також мінливість їх розмірів, унаслідок розширення або звуження осередку пожежі. Ефективним засобом вивчення динаміки цих явищ, а також їх

зв'язку з макрометеорологічними процесами є регіональні знімки з метеорологічних супутників і глобальні зображення з геосинхронних супутників.

Комплексний аналіз космічних зображень і метеорологічних даних впевнено показав, що великі пожежі мають не тільки локальне значення, але через тропосферні циркуляційні системи впливають і на стан атмосфери великих регіонів.

## **Вулканічне забруднення атмосфери**

Вулканічні виверження є одним із природних джерел забруднення атмосфери. Їх вивчення отримало особливий розвиток при отриманні фотографій з метеорологічних штучних супутників Землі. Постійне функціонування декількох ШСЗ у навколоземному космічному просторі дозволяє вести цілодобові спостереження. При цьому в полі спостереження з ШСЗ знаходиться вся земна поверхня, що дозволяє отримати матеріали з будь-яких районів, нерідко ненаселених або важкодоступних для спостереження звичайними засобами, оскільки  $\frac{3}{4}$  всіх активних вулканів знаходиться в межах акваторій на островах [67].

Космічні спостереження вулканічних районів дозволяють отримувати дані про різні аспекти виявлення вулканічної діяльності, в тому числі про початок і завершення виверження, варіації розвитку димових хмар. Так, наприклад, за космічними знімками чітко простежується початок і хід виверження вулкану Беренберг, що пробудився. у вересні 1970 р.

## **Пилове забруднення атмосфери за спостереженнями з космосу**

Проблеми вивчення атмосферних забруднень як природних, так і штучних в останній час приділяється все більше уваги. Особливий інтерес являє вивчення таких великомасштабних забруднень, як пилові бурі. Залежно від структури поверхневого шару ґрунту необхідні різні швидкості вітру для підйому і перенесення пилу. Тому для виникнення пилових бур, наприклад, у районах Поволжя, де поверхневий шар складається з дуже дріб-



них і легких часток супіщаного ґрунту, достатньо швидкості вітру 10-12 м/с. У пустелях Африки й Аравії часто виникають піщані бурі, для яких необхідні більші швидкості вітру (20-25 м/с).

Розміри пилових бур різноманітні – від сотень квадратних метрів до сотень і тисяч квадратних кілометрів.

Бурі мезо- і мікромасштабу, тобто ті, що можуть розрізнятися з космосу, залежно від природи їхнього виникнення синоптики поділяють в основному на два типи. До першого типу належать пилові бурі, що виникають при проходженні холодного фронту, до другого – бурі, в так званій штормовій зоні, що утворюються при зустрічі двох баричних утворень протилежного знаку за умов різкого підсилення одного з них.

Динаміка і структура цих бур різноманітна. Бурі холодного фронту в своєму розвитку проходять низку стадій – від утворення осередку бурі біля землі до виникнення пилової хмари на висотах. Хмара є результатом підйому часток пилу потужними вертикальними потоками в районі фронту бурі (місце зустрічі холодних і теплих повітряних мас) і втягнення цього пилу в висотну атмосферну циркуляцію (на висотах до 3-5км). Фронт бурі зміщується разом з переміщенням баричного утворення. Бурі другого типу мають стаціонарний характер, охоплюють в основному приземний шар повітря (до 1,5-2км). Перенос пилу відбувається у вигляді пилових потоків, спрямованих уздовж вітрової течії.

Пилові бурі вивчалися з давніх часів, оскільки вони приносять шкоду народному господарству. Однак, у зв'язку з розрізненістю спостережень багатьох дослідників, а також зважаючи на рідку мережу метеорологічних станцій, на матеріали яких вони спиралися в своїх роботах, не вдавалося повністю вивчити закономірності розповсюдження пилових бур і оцінити їх масштаби, шляхи переносу пилового матеріалу, а також визначити їх структуру. З розвитком космічної екології, нового наукового напрямку в дослідженні довкілля (НС), більші можливості відкрилися і в вивченні пилових бур. За телевізійними (ТВ) зображеннями з метеорологічних штучних супутників Землі (ШСЗ), а також за фотокартками з пілотуємих космічних кораблів (ПКК) та автоматичних міжпланетних станцій (АМС) було виявлено, що

багато пилових бур макро- і мікромасштабу добре видні з космосу і можуть бути вивчені.

Вивчення матеріалів великомасштабних забруднень атмосфери, отриманих за допомогою космічних зображень, дозволяє виявити три найбільш важливі напрями у вивченні явища пилових бур:

**1. Вивчення пилових бур як метеорологічного явища:** умов їх утворення, зв'язок із різноманітними типами підстилаючої поверхні і формами макрорельєфу, динаміки і структури явища, повторюваність і т.ін.

Систематичний аналіз космічних зображень дозволяє одержувати найповнішу картину про розповсюдження пилових хмар. Можливість регулярного отримання космічних знімків, передусім ТВ знімків із метеорологічних ШСЗ, відкриває перспективи для вивчення динаміки і структури явища.

Використання пилових хмар як індикаторів повітряних потоків в атмосфері забезпечить більш повне вивчення характеру атмосферної циркуляції. Накопичення статистичного матеріалу по пиловим потокам виявить основні вітрові течії в аридних і субаридних зонах, їх сезонні варіації.

Космічна зйомка дає можливість визначити розміри пилових бур, виявити склад пилу за даними дослідження осередків виникнення, концентрацію – за характером замутніння. Все це відкриває перспективи для оцінки внеску цих природних забруднень у тепловий баланс атмосфери [2].

**2. Вивчення формування і структури еолового рельєфу** залежно від виникнення і розвитку пилових бур і різноманітних різновидів еолового рельєфу, їх зустрічаємості, взаємовідносин. Рельєф пустель значно пов'язаний із діяльністю пилових бур. Цей напрям досліджень можливий тільки при спільному використанні як ТВ знімків вітрових пилових потоків, так і фотографій з ПКС досить високої розрішальної здатності, на яких диференціюються різноманітні еолові форми рельєфу.

**3. Вивчення геологічної діяльності пилових бур** і підтвердження подання їх як потужного геологічного агента (перенос пилу на великі відстані і у зв'язку з цим процесом і областей дефляції і акумуляції пилу).

Аналіз різнотипових космічних знімків, від глобальних до локальних, на яких можлива диференціація підстилаючої поверхні, дозволяє ретельніше локалізувати райони виникнення пилових бур, дає можливість вивчення залежності їх руху від макрорельєфу, характеру підстилаючої поверхні, дослідження шляхів їхнього переміщення, районів «розвантаження» і повторюваності.

Досвід аналізу космічних зображень пилових бур і потоків показав, що найбільш придатні для вивчення цих явищ такі супутники, орбіти яких перетинають аридні зони в післяобідні години за місцевим часом, тобто в період максимального розвитку пилових бур.

Аналіз знімків дозволив визначити, що для найбільш повного вивчення структури даного явища важливо одержувати зображення пилових бур водночас у двох частинах спектр-видимому ТВ і ІЧ. ІЧ знімки повинні бути порівняні за просторовим дозволом з ТВ знімками.

## **Дистанційне зондування індустриальних аерозолів**

Залежно від задач зондування, вимоги, які висуваються до лідарів, що використовуються, істотно змінюються. Так, наприклад, для отримання інформації про розподіл масової концентрації аерозолу в першому наближенні достатньо використати одночастотне зондування. Якщо ж треба визначити мікрофізичні параметри аерозолу (концентрація і спектр розміру часток), необхідно використовувати багаточастотне або багатокутове зондування.

Розглянемо деякі приклади використання лідара з метою зондування атмосфери.

### **Використання лідарів для оцінки викидів локальними джерелами**

Лідари можна використовувати для контролю рівня аерозольних викидів в атмосферу локальними джерелами (наприклад, ТЕЦ). Так за вертикальним розрізом димового шлейфу теплової

станції, можна визначити особливості внутрішньої його структури. Слід також зазначити, що на отримання просторової картини розповсюдження аерозолію витрачається значно менше часу порівняно з аналізом існуючими контактними засобами. Це ще раз підкреслює високу оперативність дистанційних методів в екологічних дослідженнях.

## Визначення елементного складу аерозолів

Визначення елементного складу аерозолів є можливим за допомогою лазера двома способами: за допомогою спектрохімічного лідара і використовуючи деполаризацію ехо – сигналів. Коротко розглянемо ці методи.

Сутність ідеї, закладеної в основу **спектрохімічного лідара**, зводиться до можливості за допомогою фокусувальної системи сконцентрувати на заданій відстані від лідара щільність енергії зондувального імпульсу, достатню для утворення лазерної іскри, в каналі якої відбуваються процеси випаровування аерозольних часток, дисоціації молекул на атоми, іонізації і збудження останніх.

Збудження емісійного спектру аерозолів здійснюється електроіонізаційним  $\text{CO}_2$  – лазером. Апаратура спектральної реєстрації світіння віддаленої лазерної іскри включає фокусувальну лінзу, дифракційний спектрометр, багатоканальний координатний пристрій з колекторним світловодом та блоком ФЕУ з підсилювачами.

Керування роботою лідара здійснюється блоком синхронізації. Блок акустичних вимірів потрібен для визначення відстаней до області і оцінки кількості плазмених осередків за звуковим ефектом лазерної іскри.

Для селекції аерозолів можна також використовувати **деполаризацію ехо-сигналів**. При проходженні сигналу через атмосферу він неодмінно розсіюється на частках аерозолію і профіль деполаризації ехо-сигналу може бути якісною ознакою однорідності аерозолію в атмосфері.

Деполяризацію ехо-сигналів можна використовувати і для визначення типів аерозолів.

## **Застосування дистанційних методів виміру на стаціонарних та пересувних постах міської мережі контролю атмосферних забруднень**

При контролі чистоти атмосферного повітря в містах існує 2 задачі:

- **контроль викидів**, що вимагає виявлення, ідентифікації та визначення потужності джерел викиду;
- **контроль рівня забруднень**.

Застосування пересувних пасивних або активних засобів виміру, скануючих факел при русі транспортного засобу, або зі зручних стаціонарних пунктів, дає можливість оперативно (за 1 годину) визначати інтегральний вміст забруднюючого компоненту в поперечному перетині факелу, який після помноження на середню по перетину факелу швидкість вітру, дає потужність потоку забруднюючої речовини від джерела. При невеликих віддаленнях від джерела цей потік можна вважати рівним викиду.

*Пасивні прилади*, як правило, більш прості, надійні, компактні та дешеві. Однак можливості їхнього застосування обмежені часом використання протягом доби (мас-спектрометри і фільтрові радіометри, які приймають розсіяне небом сонячне випромінювання), напрямами трас випромінювання (різноманітні спектрометри і радіометри, що реєструють пряме сонячне випромінювання або випромінювання підстилаючої поверхні), можливостями інтерпретації даних вимірів (фільтрові радіометри та інші прилади, що реєструють власне теплове випромінювання атмосферних газів та підстилаючої поверхні), номенклатурою забруднюючих компонентів. Найнадійнішими виявляються мас-спектрометри та фільтрові радіометри на  $\text{SO}_2$  і  $\text{NO}_2$ .

*Активні засоби виміру*: лідари диференційного поглинання-розсіювання (ДПР), комбінаційного розсіювання і флюорисцен-

ції здатні проводити контроль викидів у будь-який час доби в широкому діапазоні метеоумов. Сканування факелу в його поперечному перетині необхідне для визначення потоку забруднюючих речовин від джерела і повинно проводитись з відстаней, що перевищують поперечні розміри факелу не більше ніж на порядок. Тому контроль викидів доцільно здійснювати за допомогою пересувних постів на базі автомобілів, літаків або гелікоптерів. Зондування може здійснюватись зі зручних точок у стаціонарному положенні (з автомобілів) або при прольоті над факелом.

Найефективнішими можна вважати **лідари диференційного поглинання – розсіювання**, які можуть детектувати в викидах  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Hg}$ , бензол, формальдегід з радіусом дії від 0,5 до 6 км.

Лідари на основі джерел інфрачервоного діапазону (EMBED Equation.3  $\text{CO}$ ,  $\text{HF}$  – лазерів і параметричних квантових генераторів) мають можливість детектувати більш широкий набір забруднюючих компонентів:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ , фреони, бензол, етилмеркаптан, перхлоретилен,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{CH}_4$ , але при роботі в режимі ДПР радіус дії цих систем біля 1 км.

Значно більший радіус дії (до 10 км) досягається при роботі у лідарно-трасовому режимі з використанням в якості віддзеркалювачів природних об'єктів (дерев, схилів). Однак у такому випадку дуже рідко виявляється можливим сканування факелів викиду в їхньому повному поперечному перетині, за винятком проведення вимірів з літального апарату, коли як відбиваюча поверхня використовується підстилаюча поверхня.

Таким чином, для кількісного контролю викидів, великої кількості забруднюючих атмосферу газів, найефективнішими зараз засобами виміру є пасивні кореляційні мас-спектрометри і газофільтрові радіометри, а також лідари ДПР і лідарно-трасові системи на основі лазерів на барвнику і  $\text{CO}_2$ -лазерів. Ці засоби виміру доцільно встановлювати на пересувних постах, що здійснюють виміри підходящих стаціонарних точок або при русі. Застосування пасивних приладів, лідарів кругового огляду і лідарно-трасових систем на стаціонарних постах дає можливість лише локалізувати джерела викидів, хоча в деяких випадках можлива і груба оцінка потужності викидів.

Основними засобами безперервного контролю забруднення атмосферного повітря в автоматичному режимі до теперішнього часу є **газоаналізатори** різних типів на  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , суму вуглеводнів, в яких проба, що аналізується, проходить через вимірювальну кювету.

В європейських країнах, США, Канаді, Японії створені мережі стаціонарних та пересувних постів, що включають комплекти цих газоаналізаторів, аерозольні датчики, а також засоби їх метрологічного забезпечення: балон з повітряно-градувальними сумішами і генератори сумішей.

**Стаціонарні пости** рівномірно розповсюджені на контрольованій території і працюють автоматично в заданому режимі та передають інформацію в центр збору і обробки даних. Контроль компонентів, на які не встановлені автоматичні аналізатори, здійснюється шляхом відбору проб з подальшим їх аналізом хімічними або фізико-хімічними методами.

Дистанційні засоби виміру не можуть претендувати на повну заміну традиційних газоаналізаторів при вирішенні задач контролю забруднення атмосфери міст. Однак їх застосування дозволить обминути багато труднощів. Застосування лідарних і трасових систем вирішує проблему репрезентативності оперативних вимірювань. Результати вимірів на трасі довжиною декілька кілометрів та перпендикулярної напрямку вітру рівносильні осередненим по трасі результатам вимірів набором газоаналізаторів, розташованих впритул один до одного вздовж цієї траси. Отримане таким чином значення інтегральної забрудненості атмосфери корелює зі змінами метеоумов і об'єктивно відображає загальний стан атмосфери в момент вимірів, чим забезпечується можливість прогнозу небезпечних за метеоумовами ситуацій. Використання похилих трас з верхніх поверхів висотних будинків до рівня другого, третього поверхів дає інформацію про забрудненість атмосфери в зоні життєдіяльності біля 80 % населення міста.

Можливість використання довгих трас (до 10 км і більше) забезпечує досягнення високої чутливості при визначенні регіональної забрудненості за більш широким набором компонентів, ніж використання традиційних кюветних газоаналізаторів.

При розробці автоматизованих мереж контролю забруднення атмосфери необхідно враховувати реальні можливості як дистанційних, так і локальних засобів вимірів, оптимально розміщуючи їх на контрольованій території, з урахуванням особливостей розташованих на ній потенційних джерел забруднення, складу викидів, а також особливостей рельєфу і метеоумов [3].

## **Вимір потоків газів і аерозолів**

Найбільш придатними в цьому плані дистанційними засобами виміру є **кореляційні спектрометри**, які приймають розсіяне небом сонячне випромінювання або власне випромінювання нагрітих газів факелу. Необхідні додаткові виміри швидкості потоку газів у факелі, яку можна прийняти рівною швидкості вітру на висоті центру поперечного перетину факелу. Можливий також прямиий вимір швидкості потоку в факелі шляхом спостереження за ним за допомогою телеметричної системи.

Результати вимірів кореляційним радіометром РАМС у факелах Запорізької ГРЕС і Московських ТЕЦ добре співвідносяться з результатами розрахунків (для Запорізької ГРЕС середня відмінність результатів становить 10 %) [1].

За тими ж методами можуть працювати гетеродинні лазерні і фур'є-радіометри, які приймають власне випромінювання нагрітих газів.

При вимірі потоків газів і аерозолів більш диференційовану інформацію дають лідарні системи. Виміри лідарами здійснюються зі стаціонарного положення пересувної лабораторії незалежно від погоди і цілодобово. Кожний окремиий вимір дає середню концентрацію речовини на ділянці лінії зондування.

## **Підфакельні виміри**

Виміри на довгих трасах доцільно здійснювати за допомогою кореляційних спектрометрів, лазерних систем, що працюють за принципом порівняльного поглинання і частотної модуляції. Перевага довгої траси полягає в незначній імовірності виходу



проекції факелу за межі траси (її довжина може бути до 1км) під час проведення вимірів [2].

При точковому відборі проби є істотна ймовірність відхилення факелу від точки відбору проби за час відбору. Для характеристики репрезентативності відібраної проби може використовуватись коефіцієнт нестійкості положення факелу. Ця величина може бути визначена за допомогою кореляційного спектрометра або інших оптичних приладів, що вимірюють щільність факелу над точкою відбору проби. У цьому випадку коефіцієнт нестійкості положення факелу визначається як відношення середнього за час відбору проби сигналу радіометру до максимального сигналу, одержаного під віссю факелу [16].

Результати виміру радіометром РАМС коефіцієнту нестійкості положення факелу і одночасного відбору проб підфакельного повітря показують, що при значній відмінності коефіцієнту нестійкості, значення концентрації сірчистого газу в пробах сильно варіюють, тоді як результати вимірів викиду сірчистого газу кореляційним радіометром і розрахункові значення викиду корелюють достатньо добре. Таким чином, проведення відбору проб підфакельного повітря спільно з вимірами щільності факелу кореляційним спектрометром підвищує ступінь надійності результатів відбору проб [2].

## Стаціонарні пости

Дистанційні засоби виміру придатні для використання на стаціонарних і пересувних постах, а також для розміщення на літальних апаратах (літаках, аеростатах, штучних супутниках Землі).

Розміщені на стаціонарних постах дистанційні засоби виміру доцільно застосовувати для вимірів загального вмісту забруднюючих речовин, на довгих, похилих, вертикальних і горизонтальних трасах випромінювання. В окремих випадках можливе визначення висотного профілю концентрації забруднюючої речовини.

Вимір загального вмісту речовини в вертикальному стовпі атмосфери на багатьох стаціонарних пунктах, розташованих на різних відстанях від центра міста, дозволяють визначити потуж-

ність і розміри шару забруднень над містом, а також оцінити сумарний викид забруднень над містом у цілому.

Такого роду виміри проводяться за допомогою порівняно простих дисперсійних приладів, що вимірюють поглинання прямого або розсіяного сонячного випромінювання.

Ті ж засоби виміру дозволяють стежити в реальному масштабі часу за денним ходом загального вмісту забруднюючого компонента в вертикальному стовпі атмосфери над містом, виявляти піки інтенсивності викиду, визначати характер залежності денного ходу загальної забрудненості повітряного басейну над містом від метеорологічних факторів, що швидко змінюються.

Результати вимірів загального вмісту забруднюючого компонента на сукупності довгих горизонтальних трас, що проходять над містом або його окремими районами, характеризують загальну забрудненість міського повітряного басейну в площині зондування і, за наявності відповідних моделей, можуть використовуватись для розрахунку викидів забруднюючих речовин містом у цілому. Відповідні виміри можна проводити за допомогою лазерних систем порівняльного поглинання, які використовують джерела випромінювання достатньо високої потужності. Оперативність таких систем достатня для контролю денного ходу вмісту забруднюючого компонента в реальному масштабі часу. Ці значення доцільно використовувати для перевірки моделей розповсюдження забруднень у міських умовах або як вихідні дані для розрахунку локальних забруднень за такими моделями.

## **Пересувні пости й експедиції**

Ідеальним пересувним засобом виміру для контролю рівня забруднення можна вважати таку систему, яка дозволяє оперативно (протягом декількох хвилин) вимірювати концентрації з просторовим розподілом у декілька метрів на відстані до декількох десятків кілометрів у будь-якому напрямі в межах прямої видимості.

У результаті виявляється б можливою побудова тривимірних карт забруднень великих районів за допомогою невеликої кільк-

кості пересувних систем. Найбільше таким вимогам відповідають лідарні системи порівняльного поглинання. Дальність дії таких сучасних систем у горизонтальному напрямі досягає 5 км, у вертикальному – до 30-40 км. Просторове розміщення в нижній тропосфері біля 100 м, у верхній тропосфері та стратосфері – біля 1 км. Двовірні карти забруднень будуються за результатами зондування лідарами в горизонтальній площині поблизу джерел забруднення.

Карти розподілу забруднень у факелах можуть бути отримані за допомогою лідарів і кореляційних спектрометрів. При побудові карт аерозольного забруднення виявляється можливим виділення в загальній масі аерозолю субмікронної фракції, яка переноситься на великі відстані і завдає більш істотної економічної і біологічної шкоди, ніж грубодисперсна фракція.

Пересувні лабораторії, обладнані кореляційними спектрометрами (автомобілі) та гетеродинними лазерними спектрометрами, використовуються для побудови карт забруднення промислових районів.

Такого роду дані дозволяють оптимізувати розміщення стаціонарних постів [19].

## **Метрологічне забезпечення**

Для перевірки засобів виміру можуть використовуватись кювети, що містять стандартні газові суміші з високою концентрацією компонента, який детектується. Стандартні суміші з високою концентрацією домішок створювати і зберігати значно простіше, ніж дуже розбавлені. Крім того, зважаючи на лінійність сигналу у більшості спектрально-оптичних засобів виміру або його функціональну визначеність, для калібрування потрібні всього 1-2 реперні точки.

Калібрування системи на комбінаційному розсіюванні здійснюється за сигналом розсіювання на стабільних за вмістом компонентах атмосфери, наприклад,  $N_2$  або  $O_2$ .

Труднощі метрологічного забезпечення дистанційних засобів виміру пов'язані з просторово-часовою неоднорідністю відкритої атмосфери. Тому для розрахунку концентрацій потрібні моделі просторово-часового розподілу атмосферних параметрів. Точ-

ність таких моделей зростає по мірі накопичення досвіду в практиці дистанційних вимірів.

## **2.2 ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ВОД СВІТОВОГО ОКЕАНУ**

Світовий океан відіграє серйозну роль в існуванні всього живого на Землі і визначає походження процесів перетворення енергії Сонця, які створюють неповторний вигляд нашої планети. Світовий океан – потужний регулятор балансу кисню та CO<sub>2</sub> в атмосфері. Фітопланктон забезпечує 50-70 % загального об'єму кисню, який споживається живими істотами, взаємодія океану та атмосфери є важливим фактором формування погоди і клімату. Сучасне людство зараз все більше усвідомлює велике значення Світового океану як джерела колосальних запасів корисних копалин, біологічних ресурсів, генератора та регулятора клімату нашої планети.

Між тим швидке розширення сфери матеріального виробництва, стрімкий технічний прогрес зумовили все більш інтенсивну експлуатацію ресурсів Світового океану і все більше впливають на стан його екосистем.

Зараз у Світовий океан щорічно скидається більше 30 тис. різних хімічних сполук у кількості до 1,2 млрд. т, зважаючи на те, що величезний об'єм вод Світового океану ( $1379 \cdot 10^6$  км<sup>3</sup>), а також процеси природного самоочищення стоків здатні зменшити ефект впливу забруднюючих речовин на морські екосистеми.

Стійкі забруднюючі речовини, які потрапили в океан і досягли його глибинних шарів, можуть зберігатися і циркулювати там протягом десятків і навіть сотень років. Звичайно, вони особливо небезпечні для рослинного та тваринного світів океанів. Зараз у наукових колах виникло серйозне занепокоєння з приводу порушення середовища в глибоководних западинах Світового океану, кожна з яких є унікальним ізольованим середовищем існування для специфічних видів – ендеміків. Фауна глибоководних западин дуже уразлива, а мікрофлора має низьку де-струкційну спроможність і в цілому мало вивчена.

Недостатність інформації про забруднення відкритих районів океану стала причиною виникнення судження про те, що води відкритого океану практично не піддаються негативному антропогенному впливу. Однак такі висновки ґрунтувалися на непрямих і недостатньо обґрунтованих фактах і не співвідносяться з результатами спостережень останніх років, які свідчать про екологічне неблагополуччя в різних відкритих районах Світового океану.

Найнебезпечніше забруднення величезних акваторій Світового океану пов'язане з розливами нафти та нафтопродуктів при численних катастрофах та аваріях нафтових танкерів та інших морських суден, аваріях при розвідці та видобуванні нафти на шельфі та ін. Ці явища вже призвели до забруднення приблизно  $\frac{1}{3}$  поверхні Світового океану.

З проблемою очищення акваторій від забруднюючих речовин, у тому числі від нафти та нафтопродуктів, досить тісно пов'язана проблема їх виявлення. Зараз розроблено декілька методів індикації забруднюючих воду речовин, одними з яких є дистанційні методи.

### **Відбивна здатність чистої та забрудненої води**

У зв'язку з проблемою «чистої води», що стоїть зараз перед людством, представляє великий інтерес застосування дистанційних методів для виявлення різних домішок у водах річок та озер. Можливість одержання такої інформації буде залежати від того, на скільки будуть змінюватися спектральні властивості і температура води за умов її забруднення.

Вивчення відбивної здатності води в природних умовах має деякі труднощі, тому розпочаті спроби спектрофотометрування в штучно створених умовах.

Вчені в 1969 році сконструювали спеціальну приставку до спектрофотометру «Beckman DU-2». Для вивчення спектральних властивостей води зразок містився в циліндрі довжиною біля 3 футів і діаметром 4 дюйми, внутрішні стінки циліндра покривалися алюмінієвою фольгою, а дно було пофарбовано чорною фарбою. Зразок висвітлювався лампою, що імітувала сонячне світло, а

відбиті промені за допомогою системи дзеркал уловлювалися спектрофотометром.

Автори цієї роботи досліджували дистильовану воду, озерну воду і воду, що містить промислові відходи. Відбивна здатність дистильованої води в лабораторних умовах змінюється в залежності від температури, однак насправді виявити невеликі розходження в температурі води фотографічним методом навряд чи можливо. Розчинення у воді газів (кисню й азоту), а також додавання таких солей як NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, не викликало змін спектральної яскравості води. Додавання NaHCO<sub>3</sub> спочатку викликало зменшення яскравості, потім подальше збільшення концентрації не спричиняло впливу на хід кривої.

У таблиці 8 доводяться значення для чистої і забрудненої води, зняті з графіків у 1969 р. Криві спектральної яскравості рідких промислових відходів дозволяють зробити висновок про можливість їхнього фотографічного поділу. Звичайно на практиці варто враховувати ще яскравість води, у яку надходять відходи, і глибину водяного шару.

Таблиця 8

### **Відбивна спроможність чистої і забрудненої води**

Назва об'єкта	Довжина хвилі, мм							
	400	425	450	475	500	525	550	575
Дистильована вода при температурі t=27 °C	10	11	12	12	13	12	11	10
Озерна нефільтрована вода	2	1,0	1,0	1,0	2,0	2,5	,0	3,5
Стічні води	3	4	4	4	5	5	5	6
Стічні води молочного заводу	55	53	50	48	51	56	58	53

Автори досліджу стверджують, що за допомогою спектрозональної плівки можливо виявити домішки стічних вод, що надходять з різних підприємств у річки. Розходження в температурі води може бути виявлене за непрямими ознаками, наприклад, за утворенням піни в тому місці, де з'єднується тепла і холодна вода.

## Дистанційне виявлення забруднень вод

Вплив людини на гідросферу розпізнається за допомогою багатоспектральних індикаторів хімічного, біологічного і теплового забруднення.

Виявлення механічного забруднення вод, вивчення розподілу і концентрації зважених часток у верхніх шарах водойм можливе за спектральними співвідношеннями їх оптичних характеристик і спектральним положенням максимуму спектрального коефіцієнту яскравості ( $r_\lambda$ ) водної поверхні. Прозорість чистої води у синьо-зеленому спектральному інтервалі  $\lambda\lambda$  0,47-0,57 мкм досягає 20-30 м і більше, а  $r_\lambda$  при достатній глибині водойми не перевищує 0,04-0,05. При слабкому і помірному забрудненні зі збільшенням концентрації твердих часток у воді вище 5 г/м<sup>3</sup>  $r_\lambda$  води підвищується, а максимум  $r_\lambda$  зсувається в більш довгохвильову частину спектра. Забруднені води з прозорістю 1-3 м відрізняються коричневим відтінком з максимумом  $r_\lambda$  при  $\lambda\lambda$  0,57-0,59 мкм. Дуже мутні води з концентрацією часток вище 200-300 г/м<sup>3</sup> відрізняються високими  $r_\lambda$  (більше 0,15-0,20) і положенням максимуму  $r_\lambda$  при  $\lambda\lambda$  0,66-0,72 мкм. Такі оптичні ефекти виносу зважених часток і механічних забруднень біля гирл річок і великих прибережних міст неодноразово простежувалися на кольорових фотографіях з ПКК «Gemini» і М SS-4, -5, зображеннях з ШСЗ «ERTS - 1».

**Біологічне забруднення** вод пов'язане з надмірним розвитком водоростей, підвищенням евтрофності вод, заростанням водойм макрофітами і утворенням на них опливин. Так, на М SS-6 зображенні з ШСЗ «ERTS-1» озеро Пірамід (штат Невада, США) біля гирла р. Траки мілкими світлими плямами виділялися надводні скопичення водоростей й агрегації водної

рослинності з плаваючим листям на темному фоні води. Між тим у видимій зоні спектру на М SS-4, -5 зображеннях вони нерозрізняються і дають однаковий темний тон, як і чисті води озера. Оцінка концентрації хлорофіла і виявлення евтрофного забруднення можливі за співвідношенням  $r_\lambda$  у зеленому ( $\lambda\lambda$  0,52-0,57 мкм) і синьому ( $\lambda\lambda$  0,41-0,48 мкм) спектральних інтервалах.

Так, зі збільшенням біологічного забруднення води хлорофільний коефіцієнт підвищується з 1 до 2-3 і більше.

**Хімічне забруднення** води нафтовими плямами і іншими поверхнево активними плівками (сліками) виявляються спектральним і кутовим розподілом оптичних характеристик. У короткохвильовій частині спектру ( $\lambda\lambda$  0,3-0,4 мкм) сліки відбивають більше світла, ніж поверхня чистої води. В ІЧ - зонах ( $\lambda\lambda$  3,4-5,6 і 8-12 км) поверхневі плівки зменшують випромінювану властивість та радіаційну температуру води. У МХ - зоні спектра плівки, навпаки, збільшують радіотеплове випромінювання. Однак, оптичні і радіаційні характеристики плівок нелінійно змінюються залежно від товщі плівки, хвилювання, освітленості, властивостей приповерхневого шару води і т.д.

Сліки гасять мілкі хвилі, зменшуючи шорсткість морської поверхні, і індикатриси відбивання світла стають більш дзеркальними. У результаті цього сліки виявляються в зоні сонячного блику. У більшості випадків сліки зображуються вузькими смугами темного тону на світлому фоні блику. Однак на зверненій до Сонця частині блику можуть спостерігатися і зворотні співвідношення більш світлого сліку на фоні більш темного забарвлення блику.

Піна на поверхні води утворюється при змішуванні темної технічної і холодної природної води, впливанні відпрацьованих речовин, забрудненні лужними водами, що значно підвищує  $r_\lambda$  води в червоній і ближній ІЧ - зоні ( $\lambda\lambda$  0,5-0,9 мкм). Особливо перспективним є зондування піни в МХ - діапазоні.

**Теплове забруднення** відпрацьованими водами підвищує кінетичні температури природних вод більше ніж на 2°C, що вже є згубним для гідробіоценозу. Такі теплові аномалії з різницею радіаційних температур більш 2°C і розмірами більш 1-3 мкм



можуть бути виявлені за ІЧ - зображеннями з ШЗС «NOAA – 3» в інтервалі  $\lambda\lambda$  10,5-12,5 мкм розмитими потоками більш темного тону в нічні часи.

## **Ідентифікація антропогенних забруднень моря за даними космічних зйомок**

У ідентифікації процесів забруднення моря можуть бути використані матеріали аерокосмічних зйомок у *видимому та ІЧ-діапазонах*, отримані за допомогою багатозональних скануючих пристроїв середнього (МСУ-С, МСУ-СК) і високого розрешення (МСУ-Е), НВЧ-радіолокаторами і радіометрами, а також апаратурою КАТЕ-140, МЕФ-6, ПКФ-УК або їх аналогами. Ефективність використання вказаних технічних засобів визначається такими основними характеристиками отриманих знімків: просторовий дозвіл, періодичність повторного огляду території та оперативність доставки для тематичної обробки.

Візуальна, аналогова і цифрова тематична обробка зображень МСУ-С дозволяє картографувати великі ділянки моря з аномальним вмістом завислих речовин мінерального і органічного походження, а також фітопланктону. Розглядаючи зависі і фітопланктон, як трасери забруднення, можна встановити їх природу, фазу, масштаб і інтенсивність розвитку. Як правило, антропогенні забруднення, зокрема, нафтою і нафтопродуктами, на сканерних знімках середнього дозволу не ідентифікуються. На знімках апаратурою КАТЕ-140, МКФ-6М, ПКФ-УК цей вид забруднень дешифрується достатньо надійно.

Просторовий дозвіл знімків сканера МСУ-Е дозволяє виділяти ділянки моря, забруднені нафтою і нафтопродуктами. Однак, через вузькість смуги огляду (при висоті орбіти 650 км – близько 45 км) повторюваність цього виду зйомки низька. До того ж, через хмарність, матеріали не всіх сеансів можуть бути використані для тематичної обробки. В зв'язку з цим значну практичну цікавість представляє організація авіаційних досліджень морської економічної зони з використанням НВЧ - локаторів. При НВЧ - локації фіксується

залежність  $G^\circ(R)$  при певному куті опромінення поверхні води, де  $G^\circ$  - питома ефективна поверхня розсіювання,  $R$  - дальність. Розливи поверхнево – активних речовин істотним чином змінюють картину поверхні морського хвилювання, гасять ряб (рябь), що призводить до високих радіолокаційних контрастів (>15 Дб) розсіяння сигналів. Це забезпечує високу точність виявлення нафтових плям.

Зони забруднення моря річковим і поверхневим стоком з урбанізованих територій, а також уламковим матеріалом від розмиву берегів, концентрованими відвалами ґрунтів дешифруються на космічних знімках в видимому діапазоні за спектрально – яскравими та текстурними ознаками, а також за формою їх контурів. Найбільш контрастно ці зони виділяються в період весняної повені чи безпосередньо після злив.

Забруднення уламковим матеріалом від розмиву берегів і відвалів ґрунтів найбільш інтенсивно проявляється в періоди сильних штормів.

Скориставшись певною методикою, за космічними знімками можна відновити просторовий розподіл зважених речовин в естуаріях річок в інтервальних оцінках їх концентрацій.

Зростаюче застосування мінеральних добрив в сільському господарстві, істотно змінило і продовжує змінювати масу біогенних елементів, що надходять в море з річковим стоком. В результаті виносу біогенів стимулюються процеси евтрофікації моря, що проявляється в масовому розвитку фітопланктону, особливо в прибережних мілководних районах. Як і для внутрішніх водойм цвітіння моря можна контролювати за даними космічних зйомок. При початковій фазі цвітіння фітопланктон маскується неорганічними зависями. Найбільш ефективно неорганічні зависі і фітопланктон розрізняються при обробці матеріалів багатозональних зйомок. В цьому випадку можливо обрати оптимальний варіант синтезу максимальними контрастами в спектральних характеристиках яскравості води, що містить фітопланктон і неорганічні зависі. Наприклад, при обробці дубль – негативів МКФ-6М на проекторі МР-4С оптимальним є наступний варіант синтезу:

*Канал №2 (520-560нм) – фільтр №9 (червоний)*

*Канал №3 (580-620нм) – фільтр №8 (жовтий)*

*Канал №4 (640-890нм) – фільтр №6 (синьо-зелений)*

*Канал №5 (790-890нм) – фільтр №5 (синій)*

При цьому область «цвітіння» має синій цвітовий тон, а забруднення неорганічними зависями – червоний.

Прибережні мілини найбільш чітко виділяються в каналах №2 і №3, в той час як зависі – в каналах №3 і №4. За наявності матеріалів повторної зйомки відрізнити мілину від ділянок, забруднених зваженими речовинами, можна за стійкістю форми контрастів. Для мілини вона піддається меншій мінливості, а для забруднених ділянок істотно залежить від гідрометеорологічних умов на час проведення зйомки. Вказані особливості дешифрування космічних знімків притаманні також для вивчення за ними абразії берега, забруднення моря змутненням донних відкладень, а також береговим стоком, оскільки в цих випадках трасером також є зважені речовини.

*Ідентифікацію нафтових забруднень моря можна виконати, як правило, тільки за космічними знімками з високою розрішальною здатністю.* При візуальній обробці забруднені нафтою ділянки дешифруються, головним чином, за специфічними формами контурів плям.

Хмарність легко враховується за тінями, а також за різницями спектрально – яскравих характеристик об'єктів у видимому і ближньому ІЧ – діапазоні. Ці різниці дуже добре помітні при порівнянні знімків сканером МСУ-С в діапазоні 0,5-0,7 та 0,7-1,1 мкм. Потужні масиви хмар реєструються за специфічними вихровими структурами.

***Ознаками цвітіння моря, в залежності від фази цвітіння є:***

- наявність у відкритому морі плям круглої форми або біля берега –видовженої;
- зелений, бурий або червоний колір плям у видимому і ближньому ІЧ – діапазоні, при цьому їх яскравість у видимому діапазоні вища, ніж в ближньому ІЧ;
- нитковидна текстура і нечіткі межі плям.

Мілини, особливо прибережні, можна прийняти за ділянку з підвищеною концентрацією зважених речовин. Однак на

повторних знімках їх межі залишаються постійними (за відсутності великого хвилювання).

## **Дистанційні методи виявлення забруднень водних басейнів**

Дистанційні методи виявлення забруднень водних басейнів *полютантами ґрунтуються в першу чергу на виявленні фітопланктону*, тому що його концентрація тісно пов'язана з рівнем забруднення басейну.

Оптичні характеристики фітопланктону пов'язані з оптичними властивостями хлорофілу. Фітопланктон за рахунок власних смуг поглинання в області 420-460 нм, які припадають на максимум розсіювання світла водою, змінює спектр розсіювання. У результаті блакитна область різко ослаблюється, максимум інтенсивності переміщується у зелену область ( $\approx 550$  нм). За деяких умов система хлорофіл-вода може флуоресцювати із максимумом випромінювання в червоній області спектра (при 640-680 нм). У ІЧ області спектр хлорофілу складний і його важко використовувати для виявлення фітопланктону.

Подані в роботі [20] результати отримані за допомогою літакового спектрографа з використанням ефекту поляризації відбитої від води сонячної радіації. Реєструвалося тільки розсіяне водою світло. У присутності фітопланктону був виявлений зсув максимуму інтенсивності розсіяного водою світла до 560 нм і гасіння в блакитній області спектра (430 нм).

Цікаві результати були отримані співробітниками ІГНАН України при дослідженні забруднення важкими металами вод затоки (Сахалінська область), де виникла несприятлива екологічна ситуація у зв'язку з забрудненням вод важкими металами. З огляду на те, що у водах Дистанційн затоки розвинутий фітопланктон і інтенсивно ростуть водорості, було прийняте рішення використовувати методику виявлення важких металів в акваторії затоки, засновану на аналізі виду спектра системи вода-водорості (фітопланктон). За допомогою Інституту фізики АН Республіки Беларусь була зроблена зйомка затоки.

Вивчення отриманих результатів показало, що навіть в умовах складної системи, коли водорості або фітопланктон вкриті шаром води, у ряді вибірок спектрів спостерігається «блакитний» зсув кривих спектральних яскравостей в області 680-780 нм (Дист.1), що свідчить про аномальний вміст важких металів у деяких ділянках затоки.

Важливо також згадати про можливість дистанційної індикації інших видів забруднюючих речовин, особливо промислових стоків. Промислові стоки містять в основному різні хімічні сполуки. Так, наприклад, при виробництві целюлози, що вимагає особливо багато води, стічні води містять велику кількість їдкого натру, соди, сірчистого натру та інших сполук.

Інші види промислових стоків можуть містити й інші хімічні сполуки, але головною обставиною, що визначає можливість використання дистанційної індикації, є різке підвищення електричної провідності забрудненої води. Збільшення провідності при сильних забрудненнях може досягати трьох-чотирьох порядків, що в кінцевому результаті призводить до зміни випромінювальної здатності води. Проводячи спільні виміри радіаційної температури водної поверхні в ІЧ та мікрохвильовій областях, можна по контрасту, що спостерігається, оцінювати наявність забруднень. Чим вищий рівень забруднення води, тим більшим повинний бути контраст радіаційної температури між ІЧ і мікрохвильовою областями.

### **Дистанційні методи виявлення нафтових забруднень світового океану**

Перед дистанційними засобами дослідження забруднення океану нафтою і нафтопродуктами зазвичай ставляться наступні задачі:

- виявлення нафтової плівки;
- визначення площі забруднення;
- вимір товщини плівки;
- визначення віку забруднення;
- визначення напрямку і швидкості переміщення нафтової плями.

Сучасні дистанційні методи дають можливість вирішувати означені задачі. Ці засоби ґрунтуються на відмінності оптичних, теплових і радіоактивних властивостей води, забрудненої нафтопродуктами, і чистої води. Швидко виявлення нафтових плям одразу після розливу нафти дозволяє при малих витратах здійснити очистку акваторії. При розливах нафти у водних басейнах спочатку виникає шар товщиною в декілька сантиметрів, що після цього повільно розповсюджується на більшу площу, досягаючи товщини 0,15-1 мкм. Летючі компоненти нафти при цьому випаровуються, розчинні – вилугуюються, частина – окислюється мікроорганізмами.

Переміщення нафтової плівки відбувається під впливом вітру та течії впливає також хвилювання поверхні. В наслідок дії цих чинників плівка перетворюється в комочки розміром в декілька міліметрів, вкриті водоростями.

Нафтовий шар, який виникає, змінює умови термодинамічної рівноваги і призводить до утворення **температурної аномалії – температурного контрасту між чистою водою і водою, забрудненою нафтопродуктами.**

Оптичні властивості чистої води істотно відрізняються від властивостей забрудненої нафтопродуктами води (табл. 9).

Таблиця 9

**Оптичні властивості чистої та забрудненої води**

Середовище	Довжина хвилі в УФ та видимому діапазоні	Коефіцієнт переломлення	Кут Брюстера
чиста вода	470 нм	1,3	53
вода, забруднена нафтопродуктами	520 нм	1,6	58

Таким чином, нафтові плівки в розглянутій області спектру відрізняються від чистої води *спектром розсіювання і відбивання*; нафта може флюорисціювати. Значення кутів Брюстера у воді і нафтової плівки суттєво різняться. Для чистої води в океані довжина хвилі в близькій ультрафіолетовій і видимій об-

ластях спектру складає 470 нм. За рахунок електронних переходів більш легкі фракції нафти поглинають світло в області 300 нм, а висвічують в діапазоні 360-460 нм; більш важкі фракції поглинають світло в області 370 нм, а висвічують в області 520 нм. Таким чином, нафтові плівки в даній області спектру мають відмінні від чистої води спектри розсіювання і відбивання.

*В ІЧ області коефіцієнт переломлення більший, ніж у чистої води, що призводить до більш високих значень коефіцієнтів відбивання від нафтових плівок.*

Природна радіоактивність нафти, обумовлена, головним чином, гама-випромінюванням урану і радію значно вища, ніж морської води. Контраст (відношення концентрацій радіоактивних елементів у нафті і воді) складає для урану 0,5-10, для радію – 1-100. Це створює передумови для виявлення нафтових забруднень шляхом реєстрація їх власного випромінювання.

Дистанційні засоби виявлення нафтових забруднень поділяються на **пасивні і активні**. **Пасивні** методи ґрунтуються на реєстрації теплового випромінювання (ІЧ та НВЧ) і природного  $\gamma$  – випромінювання. Виявлення забруднень цими методами є можливим, головним чином, через виникнення контрасту у здатностях випромінювати чистої та забрудненої поверхні води.

При використанні **активних** методів досліджування водна поверхня опромінюється джерелами випромінювання визначеного спектрального складу з реєстрацією відбитого випромінювання або флуорисценції. Індикація забруднень активним способом ґрунтується на контрасті у відбивних або флуоресцентних властивостях чистої та вкритої нафтопродуктами води.

За спектральним складом випромінювання, яке використовується, системи для дистанційного виявлення нафтових забруднень можна поділити на системи, які використовують УФ, видиме, ІЧ та НВЧ випромінювання.

За прийнятно - реєструючою апаратурою, яка використовується, системи можна поділити на **фотографічні, телевізійні, скануючі, радіометричні та радіолокаційні**.

В таблиці 9 подаються різні методи дистанційної індикації нафтових забруднень та гідрометеорологічні умови, за яких методи можуть бути використані.

Пасивні методи дозволяють виявити нафтові забруднення в широкому діапазоні електромагнітного спектру: від  $10^{-11}$  см (гама-промені) до сантиметрового (радіодіапазон), враховуючи області УФ, видимого та ІЧ випромінювання. При цьому використовують фотографічні, телевізійні і скануючі системи.

При реєстрації відбитого УФ - випромінювання Сонця використовується область довжин хвиль від 0,28 до 0,4 мкм, тому що більш короткохвильове випромінювання поглинається атмосферою.

При вимірі відбитого ультрафіолетового випромінювання можна зафіксувати сиру нафту і важкі нафтопродукти. Але прозорі нафтопродукти при цьому не реєструється. Показники пристрою, який реєструє випромінювання (фотоплівки, телевізійної системи), залежать від сорту нафтопродукту, товщини плівки, наявності у воді зважених часток та фітопланктону. Залежність від товщини плівки виявляється не для усіх нафтопродуктів: для дизельного палива ця залежність, наприклад дуже слабка. Максимальний контраст 1,5-1,8 спостерігається при товщах плівки до 1 мкм, при збільшенні товщини контраст зменшується. Перешкоди пов'язані з відбиванням випромінювання від піску і ракушечника, що обмежує застосування методу на мілководді.

Виявлення нафтових забруднень шляхом реєстрації відбитого видимого випромінювання Сонця зазвичай здійснюється фотографічним методом з використанням апаратури для аерофотозйомок. Різні сорти нафтопродуктів виявляються при використанні різних частин спектру. На результати фотографічного визначення забруднень суттєво впливають *гідрометеорологічні умови – найкращі результати дає фотографування в хмарну погоду*. Взагалі ефективність реєстрації нафтопродуктів у видимій області спектра методами фотографування низька. Перспективною є реєстрація у поляризованому світлі.

До пасивних методів виявлення відносяться і методи, основані на використанні ІЧ – або НВЧ – радіометрів.

**ІЧ – радіометри зазвичай працюють в діапазонах довжин хвиль 3,5-5 або 8-14 мкм, тобто у так званих «вікнах прозорості» атмосфери. Контраст у відбивних спроможностях чистої та забрудненої поверхні у ІЧ – області спектру визначається станом дуже тонкого шару забруднення (товщиною 0,01 - 0,02 мм).**

Метод реєстрації власного теплого випромінювання може застосовуватися цілодобово. *Основна перешкода – хвилювання моря, яке збільшує спроможність води випромінювати і підви-*



щує її радіаційну температуру, маскуючи ефекти, зумовлені дією нафтової плівки.

На результати дистанційного виявлення нафтових забруднень ІЧ – радіометром також впливають *солоність водної поверхні*, що зондується. Так відбувається що розчинені солі змінюють внутрішню структуру молекул води і радіаційні характеристики водної поверхні. Дослідження показали, що вміст в морській воді розчинених солей змінює відбивну спроможність води та її спроможність випромінювати в основному в області довжин хвиль 8-14 мкм, у якій працює більшість ІЧ – радіометрів.

Метод реєстрації власного теплового випромінювання мікрохвильовим радіометром дає можливість не тільки виявити нафтові забруднення, але і визначити товщину плівок шляхом виміру двох або декількох частот. Виміри можливі цілодобово за будь-якої погоди. Але, крім товщини плівки, на величину радіояскравої температури впливають діелектричні властивості нафти, кут падіння випромінювання, поляризація випромінювання, що приймається, стан поверхні моря. Тому основним обмеженням є, як і в попередньому випадку, хвилювання моря, тому що хвилювання збільшує мікрохвильове випромінювання водної поверхні при утворенні піни та збільшенні поверхні випромінювання.

Для реєстрації «товстих» нафтових плівок найбільш перспективним є метод, що ґрунтується на вимірі *природного гама-випромінювання нафти*. Цей метод дозволяє реєструвати і товщину плівки. Найбільш ефективними є виміри, що виконуються безпосередньо над плівкою. Виміри з літака також є можливими, хоча мають меншу дозволяючу спроможність. Вплив хвилювання моря на цей метод слабкий; погода і час доби не впливають на результати вимірів. Але цей метод не застосовується для нафти з низькою природною радіоактивністю.

До активних систем дистанційної індикації нафтових забруднень відносяться системи, які реєструють флюоресцентне випромінювання нафтових плівок, яке виникає при опроміненні потужним джерелом випромінювання, а також радіолокаційні системи і системи лазерної локації.

***Застосування активної радіолокації для виявлення нафтових забруднень ґрунтується на ефекті зміни розсіяного сигналу нафтової плівки у порівнянні з чистою водою.*** Суттєве обмеження застосуванню методів створюють сильні вітри (більше 5-8 м/с), при яких ха-

рактиктер хвилювання ніяк не визначається наявністю на поверхні води нафтопродуктів. Радіолокаційні системи дозволяють інспектувати значні площі, можуть використовуватися цілодобово, навіть за наявності туману і опадів.

Радіолокаційний метод дозволяє картографувати площі нафтового забруднення, а також визначати тип нафти. Використовується область спектру 0,1-100 см. Точність визначення межі нафтової плями при використанні літака сягає 10-20 км, при висоті польоту 1 км. Найбільший контраст по відношенню до чистої води був отриманий при швидкості вітру більше 10 м/с.

Реєстрація відбитого лазерного випромінювання є досить перспективним методом виявлення нафтових забруднень. Дослідження показали, що при використанні CO<sub>2</sub> – лазера, генеруючого на довжині хвилі 10,6 мкм, контраст у відбивній спроможності води, вкритої плівками нафтопродуктів, і чистої води складає 4,7-4,9. Солоність морської води і зміни температури поверхні води в інтервалі 10-50°C практично не змінюють вказаних значень контрасту. Те ж відноситься до наявності піни та хвилювання води. Хвилювання впливає на величину сигналу, який реєструється, зменшуючи його, не змінюючи величину контрасту.

**Метод може бути використовуватися цілодобово при хвилюванні моря до 5-6 балів.** Виявлення нафтового забруднення таким методом є можливим також при використанні дослідженні відбивання гелій-неонових лазерів (довжина хвилі  $\lambda = 3,39$  мкм), лазерів на рубіні ( $\lambda = 0,69$  мкм), лазерів на неодімовому склі ( $\lambda = 1,06$  мкм). Але для цих довжин хвиль контраст менший-приблизно 2.

Для вивчення відбиваючої спроможності плівок нафтопродуктів (дизельного палива і автолу) на спокійній і схвилюваній поверхні морської поверхні в різні часи доби застосовують лазери на основі GaAs. Встановлено, що плівки дизельного палива призводять до збільшення відбиваючої поверхні лазерного випромінювання, яке змінюється в залежності від товщі і стану поверхні.

Наприклад, для плівки товщиною 0,05-0,1 мм і злегка схвилюваної поверхні відбиваюча спроможність (по відношенню до відбиваючої спроможності чистої води) складає приблизно 3,5-4,0; при товщині 0,2 мм відбиваюча спроможність  $\approx 1$ , далі вона зростає і при товщині більш 0,7 мм залишається практично постійною – 2,5. На

спокійній морській поверхні при товщині плівки більше 0,1 мм відбиваюча спроможність дорівнює 5-7, зі збільшенням товщини відбиваюча спроможність зменшується. Досить перспективним методом для дослідження нафтових забруднень є реєстрація штучно збуджених спектрів флюоресценції на основі використання різного типу лазерів, що випромінюють в ультрафіолетовій частині спектру.

Окрім виявлення нафтових плям, метод дозволяє здійснювати ідентифікацію типу нафти і визначати товщину нафтової плівки.

Наприклад, для визначення забруднення іранською сировою нафтою і нігерійською сировою нафтою використовують довжину хвиль збудження рівну 337 нм. Напрямок пучка випромінювання в цьому випадку близький до нормального до поверхні води.

Максимум флюоресценції для іранської нафти припадає на – 500-520 нм, а для нігерійської – на 460-480 нм.

Для розширення діапазону вимірюваних товщин нафтових плівок від декількох мікрон до декількох сотень мікрон (в залежності від типу нафти) і підвищення точності визначень, рекомендується використовувати декілька довжин збудження: 337, 490, 633 нм.

Експериментально доведено, що азотний імпульсний лазер з довжиною хвилі випромінювання 337 нм, встановлений на літаку, дозволяє (при потужності випромінювання в імпульсі 100 кВт) отримувати спектри флюоресценції нафти на поверхні моря. Виміри здійснювалися вдень при висоті над рівнем моря 150 м. Однак, у ряді випадків ефективність методу може зменшуватися через флюоресценцію води, обумовлену наявністю мікроорганізмів, які здатні до флюоресценції. Крім того, ці системи можна використовувати тільки за сприятливих гідрометеорологічних умов, відсутності хвилювання і тільки у нічні години.

Окремо можна виділити **візуальний метод** виявлення нафтових забруднень, який ґрунтується на тому, що альbedo нафтових плівок є в 1,5-2 рази вищим ніж альbedo чистої води. При цьому реєструють або повний потік видимого випромінювання, або потік випромінювання поляризаційних складових (нормальної і паралельної) і різниці між потоками випромінювання цих складових. Виміри можливі лише в денний час, на результати значно впливає хвилювання моря. Найбільший контраст у видимій області при фотозйомці нафтових плям досягається в діапазоні менше 400 нм і більше 600 нм, мінімальний ефект спостерігається в області 400-500 нм.

Таблиця 10

**Дистанційні методи виявлення нафтових забруднень**

<b>Метод виявлення</b>	<b>Використовувана область спектра</b>	<b>Контраст</b>	<b>Вплив хвилювання на результати виявлення</b>	<b>Час доби, коли може виявлятися</b>	<b>Атмосферні умови, при яких ще можливо виявлення</b>
<b>Пасивні методи</b>					
Реєстрація природного випромінювання нафтопродуктів з використанням сцинтиляційних $\gamma$ -спектрометрів	$\gamma$ -випромінювання 0,61-2,2MeV	1-3	Не впливає	Будь-який	Дош, сніг

Реєстрація відбитого сонячного випромінювання з використанням телевізійних і скануючих систем чорно-білої і кольорової фотографії	УФ	1,3-4	Сильний	День	Легкий серпанок
	0,28-0,4мкм				
	Видима	1-2	Сильний	День	Легкий серпанок
	0,4-0,7мкм				
	ІЧ	1,7	Сильний	День	Легкий серпанок
	0,7-0,98мкм	(хмарно) 1(ясно)			

**Продовження таблиці 10**

Реєстрація власного теплового випромінювання ІЧ радіометром	4,5-14мкм	T=1-2°K	Сильний	Будь-який	Слабкий туман
Реєстрація власного теплового випромінювання мікрохвильовим радіометром	1-3см	T=15-40°K	Сильний	Будь-який	Туман
<b>Активні методи</b>					
Реєстрація штучно збуджуваних спектрів	0,3-0,5мкм		Сильний	Ніч	Ясно

флюоресценції					
Активна радіолокація	0,1-100см		Дуже сильний	Будь-який	Дощ
Реєстрація відбитого лазерного випромінювання	ІЧ діапазон	1-7 у залежності від товщини плівки і довжини хвилі випромінювання	Слабкий	Будь-який	Слабкий туман

Проведене зіставлення ефективності різних дистанційних методів показало, що найбільш перспективними варто вважати метод лазерної локації, мікрохвильовий, радіометричний метод і метод реєстрації власного  $\gamma$ - випромінювання нафти. Останні два методи крім виявлення забруднення дозволяють визначити товщину нафтової плівки і оцінити масу пролитого нафтопродукту. Досить перспективним також є метод, оснований на фотографуванні у поляризованому світі.

Таким чином, дистанційні засоби виявлення нафтових забруднень дозволяють інспектувати великі площі за короткий час і є найбільш оперативними. *Дистанційні методи дозволяють виявити нафтові забруднення на стадії сліку – плівки, що – утворюється на поверхні відразу після розливу. Це дозволяє проводити ліквідацію забруднення з найменшими витратами.*

## **Організація візуальних спостережень антропогенних забруднень моря**

У системі органів Держкомгідромета та Держкомприроди накопичено практичний досвід організації візуальних спостережень забруднень водних об'єктів суші і ділянок моря з борту авіаносіїв. Отримана при цьому інформація сприяла підвищенню ефективності водоохоронних рішень, що приймалися за рахунок збільшення оперативності і надійності ідентифікації антропогенних забруднень. За даними систематичних візуальних спостережень водних об'єктів можна вивчати просторово-часовий розподіл забруднюючих речовин. Цей розподіл дозволяє уточнити межі зон ризику антропогенного забруднення акваторій, реалізувати оптимальне планування режимів контролю окремих ділянок водних об'єктів судовими і наземними засобами.

Накопичений досвід дає підґрунтя для висновку, що матеріали візуальних спостережень забруднення морів сприяють подальшому удосконаленню і підвищенню ефективності державної водоохоронної політики, якщо їх використання організовано в спеціалізованій системі аерокосмічного моніторингу. Поряд з авіаційними, в ній передбачається використання візуальних спо-

стережень процесів забруднення морів з борту довготривалих орбітальних станцій (ДОС).

Візуальні і інструментальні спостереження з космосу різних об'єктів на Землі і в атмосфері, а також оптичних явищ, стали невід'ємною частиною програми, що виконується екіпажами космічних кораблів. Не дивлячись на відомий факт, що з космосу можна спостерігати і реєструвати межі розділу водних мас, що відрізняються оптичними, хімічними, фізичними характеристиками, до контролю антропогенних забруднень моря візуальні спостереження систематично не застосовувалися.

### **Методика проведення візуальних спостережень**

У період передполітної підготовки ділянки морів, що є об'єктами візуального спостереження, наносяться на карту масштабу 1:1000000.

Райони, що представляють підвищену вірогідність забруднення, наносяться на ці карти. Окремі райони, особливо небезпечні за рівнем вірогідності забруднень і наявності джерел забруднень, наносяться на карти масштабу 1:2000000. На карту наносяться: берегова лінія, глибини, локалізація річкових гирл, приморських міст, приморських і морських нафтопромислів, морських відвалів ґрунту, морських і приморських нафтопроводів. Один екземпляр цих карт знаходиться на борту ДОС, інший у експертів-екологів у Центрі керування польотами (ЦКП), інші - в регіональних управліннях і інспекціях з охорони вод. На 2-х екземплярах карт (на ДОС і в ЦКП) відзначені зони антропогенного забруднення.

*Сеанси візуальних спостережень проводяться в наступній послідовності:*

- спостереження морських акваторій неозброєним оком і виявлення цвітової диференціації морської поверхні;
- ідентифікація маскуючих факторів і виявлення забруднень моря;
- ідентифікація джерел забруднення за допомогою бортової апаратури;



- передача на Землю координат, розмірів, інтенсивності джерел і характеристик динаміки забруднень;
- передача на Землю координат, розмірів і дешифрувальних ознак забруднень, виявлення джерел забруднення. Під час сеансу візуальних спостережень результати спостережень передаються на Землю (в ЦКП) у діалоговому режимі;
- фотографування найбільш характерних і крупних забруднень моря;
- під час наступних сеансів досліджуються: динаміка, форми і розміри плям забруднень, а також оцінюється ефективність проведених заходів з їх локалізації.

### **Досвід авіаційного моніторингу прибережних акваторій**

Істотною перевагою використання авіаційних платформ при моніторингу морських акваторій є можливість **оперативного планування районів і періодичності польотів**. Цим, зокрема, пояснюється більш широке їх практичне застосування порівняно з космічними. Як правило, спостереження забруднень моря здійснюються візуально.

Накопичений досвід виробничого використання технічних засобів аерокосмічного моніторингу морських акваторій свідчить, що вони можуть бути ефективні тільки в середовищі комплексних спеціалізованих систем охорони моря.

**Використання радіолокаційної техніки істотно розширює можливості авіаційних методів моніторингу морської економічної зони як за рахунок значно більшої ширини смуги огляду засобами телевізійної зйомки, так і за рахунок можливості вести зйомки.**

## **2.3 ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ГРУНТОВОГО ПОКРИВУ**

В останні роки серйозну увагу привертає застосування дистанційних методів у галузі **грунтознавства, а також сільського господарства**. Аерокосмічні методи являють собою об'єктивну автоматизовану систему збирання інформації про ґрунтові ресурси.

На зорі використання аерометодів для вивчення природних ресурсів академік О. Є. Ферсман у 1928 р. писав, що аерозйомка дозволяє отримати точний об'єктивний знімок території. Воно дозволяє виявити зміни, що вносить природа та господарська діяльність людини. Сьогодні це новий науковий напрям, що бурхливо розвивається, відомий під назвою дистанційно-аерокосмічного дослідження природного середовища, в тому числі ґрунтів і сільськогосподарських посівів. У 1931 р. академік Л. І. Прасолов зазначав, що використання знімків – це новий метод у ґрунтових дослідженнях. Найбільший ефект він дає для вивчення ґрунтового покриву важкодоступних територій. Зокрема, надає ефективну інформацію про сніговий покрив, вологість ґрунтів, ерозію ґрунтів.

За 60-річний період розвитку аерометодів проводилися дослідження щодо вивчення особливостей дешифрування ґрунтів та їх картографування за аерофотоматеріалами; вивчення спектральних відбивних особливостей ґрунтів і застосування спектрально-зональних аерозйомок. Розпочалися роботи з використання аерознімків при ґрунтовому районуванні, проведенні ґрунтово-меліоративних робіт, при вивченні ерозії ґрунтів, засолених ґрунтів, вологості ґрунтів і т.д.

В найближчій перспективі в ґрунтознавстві та сільському господарстві необхідно розвивати такі наукові дослідження у галузі використання аерокосмічних матеріалів у народному господарстві:

- вивчення складу і властивостей ґрунтів на основі дистанційного зондування, вивчення динамічних властивостей ґрунтів і охорона їх родючості. З використанням спектрофотометрів, радіометрів та іншої апаратури можливе автоматичне складання теплових карт місцевості, карт вмісту гумусу, вологості ґрунтів;

- складання і корегування за космічними матеріалами дрібно- і середньомасштабних ґрунтових карт;

- розробка нових шляхів удосконалення методики вивчення ґрунтів, що потребують меліорації, обліку фондів заболочених, засолених ґрунтів, встановлення ареалів сезонно та вторинно засолених ґрунтів, контроль за функціонуванням зрошувальних і осушуваних систем за матеріалами повторних космічних зйомок, вивчення стану і змін якості ґрунтів і площ ріллї під впливом меліорації, виявлення характеру зволоження і темпів чергових поливів і промивки.

*Найважливішим джерелом інформації, за яким роблять висновки про родючість ґрунтів, є карти гумусності.* Визначити кількість гумусу в ґрунтах можна за координатами кольору на знімках.

За космічними знімками можна оцінювати зону розвитку процесів дефляції ґрунтів, ступінь розвитку цього несприятливого для господарства явища.

Космічні зображення допомагають виявити осередки пилових виносів і, таким чином, виявити зони найбільшої дефляції ґрунтів та причини їх виникнення, і орієнтування на проведення захисних заходів (у тому числі, організацію насаджень, упорядкування використання ґрунтів).

Специфічні особливості ґрунтів, такі як засоленість, еродованість, зволоженість, різниця в механічному складі, також можна вивчати за допомогою дистанційних методів. При вивченні цих властивостей знаходять застосування спеціальні різновиди зйомки. Наприклад, для визначення такої важливої характеристики ґрунту, як засоленість, перспективним є використання радіотеплолокаційних вимірів, оскільки вологі засолені ґрунти відрізняються більш високою електропровідністю і підвищеними значеннями радіолокаційних температур.

На космічних знімках лісової зони ґрунти маскуються лісом і їх дешифрування повністю ґрунтується на розпізнаванні особливостей складу лісової рослинності, визначенні її місцерозташування в рельєфі. Все це дає можливість вивчати ґрунтовий покрив.

## Визначення вологості ґрунтів дистанційними методами

Багатьма експериментальними даними встановлено, що характер залежності між інтенсивністю дистанційного сигналу і вологістю ґрунтів достатньо складний і суперечливий.

Це пояснюється тим, що значення вологості змінюються дуже швидко і безпосередньо залежать від багатьох нестійких метеорологічних умов.

Дистанційними методами вологість визначається в різних спектральних зонах електромагнітної шкали (у видимій, ближній ІЧ, НВЧ). Використання для знімання кожної зони спектру має свої переваги і недоліки.

При обробці порівнювалася інформація аерофотознімання в різних областях спектру електромагнітних хвиль. Відомо, що у видимій області спектру важко кількісно визначити вплив на формування фотону вологості, рослинного покриву і високої гумусності ґрунтів. Усі ці параметри викликають на знімках фотон приблизно однакової щільності почорніння.

Формалізація отриманих результатів для оцінки вологості ґрунтів потребує переведення отриманої інформації в цифрові аналоги як для проведення порівняльного аналізу зображень об'єктів на дистанційних аерофотознімках і теплоснімках, так і для введення в комп'ютер при автоматизованому аналізі. Однак, вирішення цієї задачі пов'язане з труднощами, викликаними однією з дешифрувальних ознак – *оптичною щільністю почорніння аерофотознімка або теплового знімка, формування якого залежить від різних факторів навколишнього середовища.*

Для зволжених ділянок земної поверхні у формуванні їх температурного поля головну роль серед інших складових теплового балансу відіграє випаровування. Моделювання цього впливу для дуже зволжених поверхонь (зрошуванні землі) по-

казало, що випаровування дуже сильно знижує температуру поверхні.

Вплив випаровування на формування зниженого температурного поля істотно залежить від вологості повітря. Дослідження довели, що відбувається зниження температурних контрастів сухих і вологих ділянок ґрунтів і гірських порід зі збільшенням вологості приземного шару атмосфери.

Дуже сильний вплив вологості на характер температурного поля спостерігається при тепловому аерозніманні, яке здійснюється для якісного і кількісного картографування вологості при вирішенні широкого кола завдань меліорації, гідрогеології.

Не менш важливим параметром, з точки зору меліоративного проектування і експлуатації, є вологість ґрунтів і, зокрема, її граничні значення: повна і польова вологомісткість, вологість стійкого в'янення, а також запаси продуктивної вологи в шарі, де знаходяться корені рослин, в різні відрізки вегетації сільськогосподарської рослинності.

Хоча в літературі відсутні необхідні узагальнення з цього питання, існуючі дані, дозволяють говорити про значну просторову (за глибиною і площею) і часову мінливість такого показника, як вологість ґрунтів.

## **Вивчення теплових властивостей ґрунтів**

Експерименти зі спеціально запущеного у 1978 р. з метою картографування теплових властивостей ґрунтів супутника показали, що радіаційні температури можуть використовуватися як індикатори вмісту вологи у ґрунті. Області високих значень радіаційних температур чітко співпадають зі зниженим рівнем ґрунтових вод. Було також встановлено зв'язок між радіаційними і спектральними коефіцієнтами яскравості, який поширюється на ближню інфрачервону і червону частини спектру. Тим самим виявилася можливість за коефіцієнтами спектральної яскравості відновляти поля радіаційних температур, що вказують на місцезнаходження районів з нормальним і недостатнім зволоженням.

Експерименти, які проводились з літака, здійснені у Голландії, а також теоретичні розрахунки довели принципову можливість використання супутникових даних про відбивні властивості і радіаційні температури ґрунту для побудови карт сумарного випаровування. Останнє має важливе значення з точки зору оцінки розвитку посушливих умов і відповідної небезпеки для ґрунтів.

*Одним із найбільш перспективних дистанційних методів визначення вмісту вологи в ґрунті є метод НВЧ-радіометрії. Цей спосіб дозволяє не тільки визначати ступінь зволоження ґрунтів, також оцінювати запаси продуктивної вологи в ґрунті, якість поливу і роботи зрошувальних систем і агрегатів, проводити аналіз динаміки мінералізації водоймищ, визначати зони фільтрації води з каналів і ділянки з несприятливим для землеробства рівнем залягання ґрунтових вод.* Вирішення цих задач має важливе значення для планування сільськогосподарських меліоративних заходів і для оцінки стану гідротехнічних споруд, дозволяє значно зменшити незаплановані витрати води.

Власне радіотеплове випромінювання, що формується шаром ґрунту в дециметровому діапазоні довжин хвиль, досить мале. Його величина на декілька порядків менша за власне випромінювання поверхні Землі у інфрачервоному діапазоні, який традиційно використовується. Однак, сучасні технічні засоби приймання випромінювань у НВЧ-діапазоні можуть забезпечити надійну його реєстрацію. Існуючий рівень розвитку радіоелектроніки дозволив створити малогабаритну, відносно нескладну апаратуру. Встановлення НВЧ-вологомірів дозволить отримати глобальну картину розподілу вологості, оцінити елементи водного режиму континентів, спрямованість і інтенсивність різних природних процесів (розширення пустель, заболочування великих територій і т.д.).

Основна перевага ЗВЧ-радіометричних методів для розширення вищевказаного комплексу завдань полягає в тому, що вони дозволяють отримувати оперативні дані про вміст вологи у ґрунтах природно-територіальних комплексів різного рангу на суцільних профілях і великих площах. Найбільш перспективним є застосування дистанційних методів при визначенні вологості

сільськогосподарських угідь для великих територій, зайнятих однорідними сільськогосподарськими культурами.

## Вміст гумусу в ґрунті

Теоретичну основу дистанційної індикації вмісту гумусу в ґрунті складає вивчення зв'язку спектральної відбивної спроможності з вмістом гумусу в повітряно-сухому ґрунті в горизонті  $A_1$ . Деякі труднощі в узагальненні цих даних пов'язані з тим, що в одних роботах вміст гумусу складається з вмістом ґрунтових пігментів, в основному окислів заліза, в інших визначається загальний вміст органічної речовини або органічного вуглецю. Також різноманітні оптичні характеристики: альbedo, інтегральне відбивання, відносна зональна яскравість [50], оптична щільність негативного фотографічного зображення [54]. Найкраще всього визначати гумус у вагових відсотках ( $h$ , %) і коефіцієнт спектральної яскравості  $\rho_2$  [48,49].

*У видимій і ближній ІЧ областях спектру (0,4-1,2 мкм) коефіцієнт яскравості добре корелює і зменшується зі збільшенням вмісту гумусу в ґрунті [73]. Найбільші оптичні відмінності між багатогумусними ґрунтами і багатогумусними ґрунтоутворюючими породами спостерігаються в дальній червоній частині спектру (0,68-0,70 мкм), а порівняно високий оптичний контраст між ними (більше 0,2-0,3) простежується у всій області спектру (0,48-0,86 мкм) [59]. Червоний спектральний інтервал (0,64-0,72 мкм) є найбільш прийнятним для дистанційної індикації вмісту гумусу в ґрунті, що в цьому інтервалі  $\rho$  окислів заліза (в основному  $Fe_2O_3$ ) значно перевищує (на 0,08-0,12)  $\rho$  гумінових кислот, що різко підвищує внесок останніх у пониження  $\rho$  зі збільшенням  $h$  і, отже, підвищується достовірність визначення  $h$  за  $\rho$ . У ближній ІЧ зоні спектру оптичні відмінності багато гумусних і позбавлених гумусу ґрунтів до  $\lambda=1,2$  мкм згасають. Окрім того, коефіцієнт яскравості в ближній ІЧ зоні спектру (1,5-*

2,4 мкм) багато гумусних ґрунтів (із вмістом гумусу більше 10%,) може бути дещо нижчим (на 0,04), ніж у ґрунті, позбавленому гумусу, щоправда, з невеликим контрастом до 0,1 [52, 53].

Як показав аналіз різноманітних досліджень, використовуються різноманітні апроксимації зв'язку  $\rho$  (h) – лінійна (48 – 50), дробово-лінійна [70], квадратична [69], логарифмічна [52], експонентна [71]. Таким чином, накопичення емпіричного матеріалу не привнесло ясності у визначення форми зв'язку  $\rho$  (h).

Для визначення істинної форми зв'язку  $\rho$  (h) Виноградовим Б. В. та ін. [73] статистично були оброблені всі опубліковані та їх власні емпіричні дані з метою пошуку оптимальної функції, що, з одного боку, відображала б фізичну сутність явища, а з іншого – найкращим коефіцієнтом кореляції оцінювала б розподіл емпіричних даних на всьому інтервалі вмісту гумусу в досліджуваному ґрунті. Після відбору серед різних функцій, оптимальною була визнана експонентна. У результаті такого дослідження форми залежності коефіцієнту яскравості від вмісту гумусу в ґрунті вдалося описати універсальну форму зв'язку  $\rho$  (h) в помаранчево-червоній частині спектру (0,6-0,7 мкм) експонентною функцією вигляду:

$$\rho(h) = \rho_{\min} \quad (1).$$

Функція (1) добре описує зв'язок відбивної спроможності із вмістом гумусу в ґрунті протягом усього фактора.

Окрім того, знаючи точний закон зв'язку  $\rho$  (h), можна корегувати усі відомі дослідні дані і неоптимальні апроксимації. Тобто приводити рівняння до вигляду, що виключає вплив на  $\rho$  тих або інших речовин (наприклад, окислів заліза) (44).

Нарешті, знаючи закон зв'язку  $\rho$  (h) вигляду (1), можна відновити функції  $\rho$  (h) за небагатьма реперними точками: двом основним –  $\rho_0$  при  $h=0$  і  $\rho_{\min}$  при  $h$  близько 8-10 % і 2-3 додатковими при  $h=2$  і (або) 3,5 і (або) 5 %. Це дозволяє швидко складати сімейства градуированих кривих зв'язку  $\rho$  (h) для різних підтипів ґрунтів району, що досліджується (44).

Описаний експонентний хід залежності  $\rho$  (h) (1) фізично пов'язаний з різним розподілом гумусу в ґрунтових частках в



залежності від його концентрації і типу ґрунтоутворення. Задовільна кореляція зв'язку  $\rho$  (h), як правило, зберігається в межах одного типу або підтипу ґрунтів. Але навіть при такому обмеженні відбувається порушення зв'язку  $\rho$  (h) на неоднакових ґрунтоутворюючих породах. При екстраполяції зв'язку  $\rho$  (h) накладається вплив також інших контролюючих чинників: вологості, карбонатності, складу гумусу, включення окислів заліза. Ці впливи переростають у помилки інтерпретації h по  $\rho$ . Але ці впливи можна виключити або врахувати при обробці результатів.

*Для включення впливу вологості зйомка здійснюється в сухі без дощів періоди при повітряно-сухому стані верхнього горизонту ґрунту.*

Для врахування карбонатності рекомендується екстраполювати дешифрувальні ознаки вмісту гумусу в межах ареалів-аналогів кліматичних підзон, ґрунтоутворюючих порід і крупних форм рельєфу.

Вплив складу гумусу пов'язаний, головним чином, зі співвідношенням гумінових і фульвокислот. Гумінові кислоти відрізняються найнижчим коефіцієнтом яскравості (до 0,02-0,03), фульвокислоти дають більш високий  $\rho$  (до 0,04-0,06, особливо у помаранчево-червоній частині спектру). Співвідношення гумінових і фульвокислот варіюється. У результаті при одному вмісті гумусу та інших пігментів ці ґрунти світліші і абсолютна величина показника ступеня K у рівнянні (1) менша. Цей контролюючий чинник легко виключається обмеженням екстраполяції в межах одного зонального типу ґрунтів [73].

Помітно великий вплив окислів заліза, в присутності яких зменшується яскравість ґрунтів. Вплив окислів заліза на вирішення зв'язку  $\rho$  (h) виключається, по-перше, екстраполяцією в межах типу ґрунтів на одній ґрунтоутворюючій породі. Другим способом корегування є співставлення  $\rho$  у червоній (0,68-0,72 мкм) і в блакитній (0,46-0,50 мкм) частинах спектру, де оптичний внесок впливу окислів заліза на  $\rho$  різниться, а гумусу – більш постійний [73]. Нарешті, підрахунок  $\rho$  від  $\rho_0$ , як було

запропоновано [56], також зменшує їхній вплив на зв'язок  $\rho$  (h).

### **Екологічні наслідки утворення ярів і спостереження за ними за допомогою дистанційних методів**

Яружна ерозія є причиною великих і різнобічних збитків для різних галузей народного господарства і природного середовища. У процесі яроутворення відбувається повне знищення ґрунтового покриву, деградація ґрунтів на природних ділянках, обміління рік та водойм, забруднення навколишнього середовища гербіцидами і добривами.

Останнім часом все більшого значення набувають дистанційні методи спостереження за об'єктами.

**Найбільш охоплюючим (масштабним) і найефективнішим методом отримання інформації про ерозійні процеси є аерофотознімання – фотографування місцевості з літальних апаратів у видимому і ближньому інфрачервоному діапазоні**

Проведені дослідження вказують на принципову можливість розробки інструментальних методів вивчення осередків ерозії і паспортизації кожного осередку. За допомогою аерометрів можуть бути вирішені такі питання, як виявлення категорії змитості, визначення площинного змиву і його площі, складання ґрунтово-ерозійних карт і т.д. На аерознімках відображаються навіть незначні ерозійні утворення, які не помітні на місцевості і не зображуються на картографічних матеріалах зонального призначення.

Для оцінки ступеня руйнації ґрунтів ерозією можуть бути використані *спектрозональні, інфрачервоні аероплівки, а також інтегровані багатозональні зображення*. Виконується переважно планова аерофотозйомка. Знімки призначені для високоточних фотограмметричних робіт. Знімки виконуються з позовдвжнім перекриттям не менше 60 % і поперечним 20 % - 40 %.

Дешифрування аерознімків слід виконувати комплексно з використанням ландшафтних індикаторів у польових і камеральних умовах.

Для дослідження водно-ерозійних процесів необхідна зйомка за різного стану ґрунтового і рослинного покриву.

Цікавими є матеріали, отримані після завершення сніготанення (ранньою весною), а також після проходження інтенсивних дощів, коли рослинність відсутня. У цьому випадку помітні сліди водостоків і тимчасова струмкова мережа. В цей період погода характеризується значною мінливістю, тому найкращим часом знімання є ранок, коли відсутня турбулентність повітря, а контраст освітлених і затінених ділянок найбільший. У міру збільшення висоти Сонця контрасти зменшуються, посилюється турбулентність, підвищується купчаста хмарність, яка сприяє зростанню нерівномірного освітлення.

*Найкращі якості, з точки зору дешифрування, мають знімки, отримані при рівномірному освітленні під суцільною хмарністю.*

Фотографування елементів ерозійної мережі з метою районування території за інтенсивністю розвитку ґрунтоутворюючих процесів і вивчення загального стану досліджуваної території доцільно виконувати в масштабі 1:30000 – 1:40000 з наступним збільшенням знімків у 3-4 рази для виготовлення картографічних матеріалів.

Спектрозональні матеріали забезпечують більш надійні результати порівняно з чорно-білими при оцінці стану ґрунтових і рослинних особливостей, що властиві ярам та зарученим ділянкам. На спектрозональних матеріалах ґрунти і рослинність зображуються різними кольоровими відтінками.

Для полегшення наступного дешифрування елементів ерозії паралельно зі зніманням слід проводити аеровізуальні спостере-

ження, а також наземне обстеження ключових ділянок. Відмінністю ерозійних утворень на місцевості є форма, розміри, стадія розвитку, яскравість об'єктів, а на знімку – зображення цих особливостей у вигляді сукупності фотонів і структур. До **прямих дешифрувальних ознак** належать: фотон (колір), форма, розмір, власна і падаюча тінь. **Непрямі дешифрувальні ознаки** за сполученням прямих ознак, які належать одному об'єкту, дозволяють судити про наявність інших об'єктів або явищ, приурочених або пов'язаних з ними.

Основними непрямими ознаками є: характер рослинності, ступінь зволоженості і кольорові особливості ґрунтів, вигляд і взаємне розташування водних об'єктів, геоморфологічні особливості та інші.

*При дешифруванні елементів лінійної ерозії доцільно використовувати такі діагностичні ознаки:*

- оптична щільність (фототон),
- тінь,
- форма,
- закономірності появи і взаємне розташування зі суміжними об'єктами в даній ситуації,
- структура малюнку,
- локальні і інтегральні оптичні щільності.

**Дешифрування ярів і проміїн у камеральних умовах відбувається візуальним методом з використанням у необхідних випадках збільшеної лінзи і стереоскопів.** Об'єкти, які дешифруються, на аерознімку позначають умовними знаками. Як головні критерії дешифрування використовуються повнота і достовірність дешифрування фотознімку. Дані показники визначаються на ключових ділянках у польових умовах шляхом співставлення наземної ситуації і об'єктів, віддешифрованих на аерознімку.

Лінійна ерозія добре дешифрується на космофотознімках видимої зони спектру (0,6-0,7 мкм), навіть на відносно дрібномасштабних (1:200000) знімках будь-якого сезону рейдів на передгірських територіях; на зрошуваних землях, що характеризуються відносно пласким рельєфом, доцільно використовувати знімки, що відображають відкриту поверхню

(весняні знімки). У цей період різна зволоженість ґрунтів, обумовлена перерозподілом вологи за рельєфом, дозволить виявити зони ерозійного зносу і акумуляції матеріалу, що виноситься. На пологих схилах (до  $10^\circ$ ), складених щільними глинистими і важкосуглинистими відкладами, переважає площинна ерозія. На більш крутих схилах, особливо складених лесовидними суглинками, чітко виявляється лінійна ерозія. На схилах виділяються борозни – проміїни глибиною до 0,2-0,5 м і яри глибиною до 1,5-3 м і більше. Вони чітко дешифруються за струменевим малюнком фотозображення, що створюється річищами тимчасових водотоків. Найбільш чітко лінійна ерозія виділяється у передгірних районах. Площинний знос чітко виділяється на передгірно-рівнинних територіях.

Для лінійних форм ерозії важливою ознакою є їх належність до певних елементів рельєфу і орієнтованість відносно природних ліній поверхневого стоку і до напрямів концентрованого стоку, викликаних штучними межами. Основними лінійними формами ерозії є:

**1. Проміїна** – витягнута від'ємна форма рельєфу сучасного ерозійного походження з чітко вираженою брівкою і глибиною не більше 1 м.

*На чорно-білому аерофотознімку проміїни відображаються у вигляді витягнутих ліній сірих тонів.* Щільність тонів змінюється залежно від ступеня освітленості проміїни, її задернованості і відбивної властивості ґрунтів, що розмиваються. В умовах повної задернованості на чорно-білих аерознімках проміїни мають більш темний відтінок зображень відносно загального фону території, на якій вони розташовуються. По мірі зменшення щільності рослинного покриву (здернованості) тон їх зображення стає більш світлим. Проміїни на знімках можуть розташовуватися одинично, групами і утворювати складні деревоподібні системи. Часто проміїни є продовженням більш значних лінійних форм ерозії в їх верхній частині. Нерідко проміїни гирлами з'єднуються з відкосами ярів. Додатковою дешифрувальною ознакою проміїн є конуси виносу (відкладення) в їх гирловій зоні.

Засипані проміїни на чорно-білому фоні аерознімка зображуються у вигляді темних ліній з більш світлими

суміжними рядками по всій довжині – результат зрізання гумусового шару і переміщення його у проміїну як заповнювача.

**2. Яри**, як від’ємні лінійні форми рельєфу, на відміну від подібних об’єктів (ложбин, лощин, балок) **мають більш різку межу зовнішнього контуру (брівки) і більш світлу поверхню відкосів, пов’язаних з протилежним орієнтуванням їх відносно Сонця**. Часто до верхівок ярів примикають проміїни і ложбини, стоки природного або штучного походження. Якщо яри розвиваються по дну давньої гідрографічної мережі, то ложбинами стоку для них є залишки цієї мережі, розташовані вище ярів. За типом зображення давні форми лінійної ерозії більш темні, ніж сучасні, що є додатковою дешифрувальною ознакою. Для ярів, що розвиваються на схилах за межами давнього гідрографічного середовища, відмінними ознаками межі верхівок є вузькі водопровідні канали темного (чорного) тону.

Використання матеріалів аерозйомки дозволяє виявити тенденції розвитку процесів яружної ерозії, цілеспрямовано планувати об’єкти і ряд ярозакріплювальних робіт і заходів з меліорації зруйнованих ерозією ґрунтів з метою відновлення їх екологічної рівноваги.

## Діагностування лінійної ерозії

Зсуви, обвали, осипи теж належать до деградаційних, хоча і не ґрунтових процесів. Ці процеси необхідно враховувати при меліоративній характеристиці території через те, що вони потребують розробки комплексу меліоративних заходів щодо їх попередження. Ці процеси проявляються, як правило, в горах, але при цьому вони несприятливо впливають на більш низькі, передгірські і рівнинні території, призводячи до сходження лавин і завалів, до погіршення меліоративного стану земель, придатних до сільськогосподарського використання. Зсуви зазвичай утворюються на крутих схилах (до 30-40<sup>0</sup>) при перезволоженні верхньої дрібноземлистої товщі. При інтенсивному випаданні опадів у горах відбувається швидке насичення пухких дрібноземлистих

відкладів до контакту зі скельним ґрунтом або щільними глинами, що є поверхнею ковзання.

На космічних фотознімках опливні зсуви дешифруються за малюнком фотозображення. На схилі виділяються потоки язико-подібної форми, що розширюються донизу (фототон зазвичай світліший, ніж прилеглі ділянки; має випуклу форму). До переміщення приєднується велика кількість матеріалу, обсягом у сотні тисяч кубічних метрів. Зсуви у горах – це природний процес, але часто він провокується діяльністю людини: вирубками лісів, перевипасом худоби, будівництвом доріг, водосховищ і т.д.

Для дешифрування екзогенних процесів, що з'являються в горах, доцільно використовувати знімки літньо-осінніх сезонів, у масштабі 1:200000. Ці процеси чітко дешифруються за стереоефектом на чорно-білих знімках. Зсуви, обвали також чітко виділяються на космічних фотознімках за більш світлим фототонем, конусоподібним малюнком з потовщеною основою.

Обвали зустрічаються досить рідко. Вони спостерігаються, головним чином, у високогірних зонах. Погано дешифруються на знімках через те, що слабо відрізняються від корінних порід. Добре розпізнаються лише на ділянках, де перекривають річки, утворюючи природну греблю, що приводить до утворення підпертих озер. Обвали часто утворюють нішу, яку можна побачити на знімках за особливим фотозображенням.

## **Використання дистанційних методів при картографуванні ерозійних процесів**

У зв'язку з інтенсивним освоєнням земель велике значення має складання карт охорони природи, які можуть бути картографічною основою для забезпечення різних заходів з охорони природи. Екологічні карти можуть бути комплексними, багатоцільовими або одноцільовими, тематичними. До карт першого типу відносять карти опустелювання.

Ерозійні карти належать до другого типу. Космічні знімки можна використовувати для виявлення процесів вітрової і водної ерозії.

## Особливості дешифрування вітроерозійних процесів

Інтенсивність і характер вітроерозійних процесів досить тісно пов'язані з літологічним складом підстилаючих порід, особливостями і станом рослинного покриву, вітровим режимом, режимом опадів, зміною температур, діяльністю людини.

При визначенні вітроерозійного стану поверхні необхідно враховувати такі критерії:

- наявність і стан дернового покриву;
- щільність трав'яного покриву;
- наявність і характер рухомих піщаних форм;
- ступінь розчленованості ділянки;
- спрямованість та інтенсивність процесів вітрової ерозії.

Кожний з цих критеріїв має індивідуальні особливості, впливає на стан вітропіщаного потоку.

З урахуванням наведених вище критеріїв за допомогою космічних знімків можна виділити такі *типи вітрової ерозії*:

1) **сильна ерозія на розбитих і рухомих пісках.** У цей різновид ерозії об'єднані масиви розбитих пісків (антропогенного походження), а також масиви рухомих пісків, існуючих тривалий час в результаті природних фізико-географічних процесів. Розбиті і рухомі піски дешифруються на космічних знімках за більш світлим тоном зображення. Однак, їх межі не завжди виявляються на збільшених знімках.

2) **помірна ерозія на грядових, грядово-ячейстих пісках і їх сукупності.** До цієї ерозійної категорії належать найбільші площі піщаних пустель. Зі знімків з дрібним масштабом неможливо виділити окремі площі виявлення сильної ерозії на цій території.

3) **слабка ерозія на дрібногрядових, бугристих і пологохвилястих пісках.** Форми рельєфу пісків, що належать до цієї категорії, не дешифруються за космічними знімками. Виділення площ цього виду вітрової ерозії здійснюється головним чином за тоном фотозображення і непрямими ознаками.



4) **вітрова ерозія напіврозбитих і розбитих приозасних пісків** чітко виділяється на космічних знімках за малюнком фотозображення, що складається зі світлих і темно-сірих плям. Деталізація форм рельєфу пісків за космічними знімками ускладнена.

5) **помірна вітрова ерозія на пісках грядово-такирного комплексу.** Межі цієї категорії чітко вирізняються на космічних знімках. Розділення такирів і піщаних гряд добре дешифрується.

6) **сильна вітрова ерозія біля колодязів піщаних пустель.** Ця категорія найбільш чітко картографується за космічними знімками. Плями розбитих пісків діаметром від 0,5 до 3 км і більше дешифруються за тоном фотозображення. Ці плями мають розмиті межі.

7) **сильна вітрова ерозія біля колодязів лісової пустелі.** Плями розбитих пісків біля колодязів лісових пустель розпізнаються за космічними знімками ще більш різко, ніж у піщаній пустелі.

## **Особливості дешифрування процесів водної ерозії**

Вивчення проявів водної ерозії на великих територіях можливе тільки на підґрунті розуміння закономірностей просторових взаємозв'язків між компонентами ландшафту.

За космічними знімками добре дешифруються всі лінійні форми ерозії, чого не можна зробити навіть за великомасштабними топографічними картами. Лінійні форми ерозії дешифруються, головним чином, за формою і розміром.

За космічними знімками можна виділити такі *типи водної ерозії*:

1) **водна ерозія у передгірській глинистій пустелі.** Ця категорія чітко виділяється на космічних знімках за фотозображенням. Дешифрується за багаточисельними віялоподібними, частіше хвилястими, річищами тимчасового потоку.

2) **водна ерозія в бедлендовій пустелі.** Межі цієї категорії чітко виділяються і розпізнаються за дендритоподібним малюнком на світлому фоні глинистих низькогір, позбавлених рослинності.

3) **водна ерозія давніх річищ.** Дешифрується за реліктовими, часто хвилястими, річищами і старицями.

4) **зрошувальна ерозія.** Дешифрується непрямим шляхом за фотозображенням розораних земель.

5) **водна ерозія, викликана скидовими водами на передгірських територіях.** На знімках зображується у вигляді прямолінійних темних смуг річищ скидових колекторів, які закінчуються серією дренажних озер, що зображуються темним тоном.

б) **селеві потоки на схилах гір.** Дешифруються за дендритоподібним малюнком тимчасового водотоку.

При виділенні вищеперерахованих різновидів водної ерозії необхідно використовувати комплекс дешифрувальних ознак. За тоном фотозображення чітко виділяються території підгірських глинистих пустель, де розвинута водна ерозія. За малюнком і тоном фотозображення можна виділити території, де існує небезпека селевих потоків.

## **Засолення ґрунтів**

Методами дистанційної індикації засолення ґрунтів, головним чином, є *оптичний і радіотепловий діапазон*. Вплив засолення ґрунтів на їх оптичні властивості дуже великий, але погано піддається кількісній характеристиці, через те, що поперше, він дуже мінливий, як в часі, так і просторі, як за площею, так і за вертикальним профілем. По-друге, вплив засолення виступає разом із іншими контролюючими зображення факторами, головним чином, зі зволоженням, вмістом гумусу в ґрунті і проєктованим покриттям рослинності. Взаємодіючи з ними, засолення дає різноманітні оптичні і радіаційні ефекти. Однак, завжди вдається знайти такі ландшафти-аналоги, в межах яких сукупності контролюючих факторів приблизно однакові. Найбільшу цікавість викликає визначення в ґрунтах вторинних мінералів групи карбонатів

(CaCO<sub>3</sub>), сульфатів (CaSO<sub>3</sub> · 2H<sub>2</sub>O) і хлоридів (NaCl). Таким чином, в граничних умовах дистанційні індикатори можуть бути використані для чотирьох характеристик засолення ґрунтів – **вмісту в ґрунтах карбонатів, сульфатів, хлоридів та ємності поглинання основ**. Взагалі, солі відрізняються найвищим з ґрунтових утворень значенням яскравості [73].

*Карбонати у видимій області спектру мають порівняно високий коефіцієнт яскравості  $\rho$ , який рівномірно зростає зі збільшенням довжини хвилі від 0,2 до 0,4.* При початкових дозах збільшення вмісту карбонатів в ґрунтах  $\rho$  швидко збільшується, а потім зі збільшенням їх концентрації більш ніж на 10 % приріст яскравості уповільнюється.

У видимій і ближчій ІЧ ділянках спектру (0,4-1,1 мкм) залежність між  $\rho$  і вмістом солей S сухого ґрунту характеризується підвищенням  $\rho$  зі збільшенням S в усіх спектральних інтервалах [73].

*Характерною властивістю хлоридів є зростання  $\rho$  від зеленої частини спектру в бік фіолетових променів ( $\lambda=0,40$  мкм), іноді до 0,7-0,8* [73]. Підвищення відбиття в синьо-зеленій частині спектру (0,46-0,50 мкм) відрізняє хлориди від інших солей.

Існує значуща кореляція між яскравістю ґрунтів і концентрацію обмінних катіонів Mg, Na, K, Ca. Фізична причина впливу обмінних основ на оптичні якості ґрунту не визначена. На думку Б. В. Виноградова, вона здійснюється побічно через кореляцію з іншими контролюючими факторами. *Так, наприклад, зі збільшенням вмісту поглиненого Mg коефіцієнт яскравості спочатку різко падає, але потім вплив Mg на  $\rho$  зменшується* [65].

З метою дистанційного моніторингу засоленості ґрунтів перспективним є мікрохвильове знімання в сантиметровому діапазоні більше 0,3 см. Важливим є те, що засолені ґрунти часто мають підвищену вологість, що ускладнює їх вивчення оптичними методами. Радіотеплова локація засолених ґрунтів в такому випадку ґрунтується на тому, що в порівняних умовах зволоження зі збільшенням концентрації солей у ґрунтовому

розчині збільшується електропровідність ґрунту, а разом з цим і збільшується її радіояскрава температура  $T_B$ . У результаті  $T_B$  засолених ґрунтів значно вища, ніж незасолених або слабо засолених ґрунтів тієї ж вологості.

Швидше за все, кількісні зв'язки між  $T_B$  і засоленням будуть перспективними для дистанційної індикації полів із високою вологістю з переваженням вільних форм вологи в ґрунті.

Таким чином, для повної дистанційної індикації необхідно використовувати комплекс дистанційних приймачів у різних спектральних інтервалах.

### **Вивчення забруднення ґрунтового покриву при нафтовидобуванні**

Останні десятиріччя характеризуються стрімким розширенням і прискоренням нафтової галузі виробництва. Не дивлячись на заходи з обмеження залежності енергетичного балансу від нафти та нафтопродуктів, частка вуглеводневого палива складає зараз 2/3 світового рівня споживання енергії, а тільки нафти – більше половини.

Зараз у світі щорічно видобувається більше 2,5 млрд. тонн сирої нафти. Попит на нафту та нафтопродукти збільшується у середньому на 8 %, а видобуток – на 5 % на рік.

Негативним наслідком інтенсифікації нафтовидобування є забруднення природного середовища нафтою та її продуктами. За даними А. М. Рябчикова (1974 р.) при видобуванні, транспортуванні, переробці нафти та нафтопродуктів втрачається близько 50 млн. тон на рік.

Основними причинами розлиття нафти та нафтопродуктів є корозія та механічні ушкодження трубопроводів, порушення герметичності резервуарів, стравлювання під час ремонту, аварій на нафтопромислах. Розрив одного трубопроводу призводить до забруднення території площею 0,11 га.

Одним із найстаріших районів видобування нафти є Апшеронський півострів. Початок розробки тут нафтових родовищ належить до 70-х років XIX сторіччя. У результаті нафтовидобування ґрунти Апшерону виявились дуже

забрудненими нафтою. За даними Ш. М. Гасанова та М. П. Бабаєва (1975 р.), які проводили картографування нафтопромислових земель Апшерону за площею близько 25 тис. га, забруднені нафтою ґрунти складають: до глибини 10 см – 2611 га, до глибини 25 см – 1997 га, до глибини 50 см – 1357 га, до глибини 100 см і більше – 2727 га.

*Необхідність повернення у сільськогосподарський обіг ґрунтів, трансформованих під впливом нафтового забруднення, потребує розробки засобів їх рекультивациї. Рекультиваційні роботи, перш за все, повинні спиратися на дані про місцезнаходження забруднених нафтою ґрунтів і ступінь їх забруднення.*

*Існуючі засоби визначення вмісту нафти та нафтопродуктів в ґрунтах базуються на екстракції ґрунтових зразків різними органічними розчинниками з подальшим визначенням вмісту нафтових речовин в екстрактах інструментальними методами. Універсальний розчинник або поєднання розчинників для видалення нафтових компонентів з ґрунтів поки що не знайдено.* Різні дослідники застосовують найрізноманітніші розчинники: гексан, бензол, хлороформ, хлористий метилен, чотирихлористий вуглець, толуол, тетрагідрофуран і т.д. При цьому можливим є як неповне видалення сполук нафти з ґрунтів, так і додатковий вплив на ґрунтові компоненти і нафтові речовини, які призводять до хибних результатів. Крім того, всі розчинники, що використовуються мають токсичні властивості, шкідливі для здоров'я людини, вибухонебезпечні, що робить небажаним їх використання при масових аналізах.

Для діагностики і оцінки рівня нафтового забруднення ґрунтів була використана їх відбивна властивість. Як об'єкт дослідження були обрані сіро-бурі ґрунти (супіщані, легко- і середньосуглинкові) в районах нафтопромисловості м. Баку. Виміри відбивної спроможності фонових ґрунтів і ґрунтів з різним ступенем забруднення нафтою і нафтопродуктами, були проведені в стандартних лабораторних умовах. Отримані спектри співвідносяться з особливостями кривих спектрального відбиття ґрунтів аридної зони, вказаних раніше А. М. Рябчиковим (1974 р.), а величини коефіцієнтів відбиття

відповідають даним з відбивними властивостями фонових сіро-бурих ґрунтів Апшерону.

Залежно від рівня забруднення ґрунтів нафтою і нафтопродуктами змінюється характер кривої спектрального відбиття порівняно з фоновими ґрунтами, причому у міру збільшення ступеня забруднення зменшується відбивна властивість. При сильному забрудненні криві спектрального відбиття стають майже горизонтальними у всьому діапазоні довжин хвиль. Якщо інтегральне відношення фонових ґрунтів складає 27-30%, то дуже забруднених ґрунтів – 10-20 %, причому коефіцієнт відбиття в синьо-фіолетовій області знижується до 9-11%, а в червоній частині спектру – до 8-13 %.

Розробка методів дистанційного зондування ґрунтів з метою отримання достовірної інформації про стан екосистем, включаючи дані про ґрунтовий покрив, спроби побудови довготривалих прогнозів природокористування на основі цієї інформації потребує накопичення значного обсягу експериментальних даних з визначення відбивних спроможностей ґрунтів, забруднених нафтою та нафтопродуктами, що в кінцевому результаті дозволить встановити статистичні залежності і внести істотні корективи до дистанційних аерокосмічних методів дослідження ґрунтів і природних об'єктів в цілому.

## **Аерокосмічний ґрунтовий моніторинг**

Дистанційні методи можуть принести значний ефект у **ґрунтово-сільськогосподарському моніторингу. Під ним слід розуміти систему спостережень за станом ґрунтів і посівів; картографування вихідного стану ґрунтового покриву, динамічних змін і прогноз розвитку ґрунтового покриву.** З цією метою досить перспективним є використання оперативних різночасових аеро- і космознімків.

**Дистанційний ґрунтовий моніторинг є особливо важливим для спостереження, контролю і охорони ґрунтів і ґрунтового покриву, в умовах інтенсифікації землеробства і посилення антропогенного впливу на ґрунти. У багатьох промислових районах ріллі, ґрунти відчувають величезні, перевищуючі допустимі норми, техногенні навантаження від промислових підприємств, автотранспорту, кар'єрних розробок і ін.**

При вивченні нових екологічних проблем у ґрунтознавстві значну допомогу можуть надати оперативні аеро- і космічні методи дослідження земної поверхні, стану забруднення і розвитку ґрунтово-рослинного покриву. Метод дистанційного спостереження за станом ґрунтів і ґрунтового покриву і прогнозом змін згідно Андроннікову В. О. повинен включати:

- комплексний аналіз одиничних і багатоспектральних цифрових різночасових знімків, знятих синхронно з наземними спостереженнями;
- використання різносезонних знімків (чорно-білих, кольорових, спектрзональних, інфрачервоних та ін.) і знімків, знятих у різні часи доби;
- застосування даних спектрометрування і радіометричної апаратури;
- використання для еталонних ділянок знімків різних років.

*Перспективним напрямом в аерокосмічному ґрунтовому моніторингу є нагляд за динамікою ґрунтів, особливо в межах вивчення динаміки екосистем, сільськогосподарських земель, тобто більш широких ґрунтово-екологічних систем.*

Перший і основний спосіб аерокосмічного моніторингу динаміки ґрунтового покриву ґрунтується на розрахунках за повторними знімками тенденції площі як елементарних ґрупових ареалів, так і ґрунтових комбінацій.

Найефективніше цей засіб використовується при аналізі за повторними знімками динаміки площі контрастних ареалів порушення ґрунтів, у першу чергу, еродованих. Еродовані ґрунти з вмістом гумусу менше 0,5 ваг. %, як правило, добре розрізняються на фоні сформованих зональних ґрунтів. Вони мають високий коефіцієнт відбиття – 0,3-0,5, близький до коефіцієнта ґрунтоутворюючої породи; їх оптичний контраст із зональними

темно-каштановими і чорноземними ґрунтами перевищує 0,5. Завдяки цьому ареали еродованих ґрунтів дешифруються на панхроматичних знімках достовірно, а зміни їх площі добре автоматизуються.

Значно важче змалювати динаміку площ складових елементів більш-менш складних ґрунтових комбінацій, які картографуються в масштабах 1:30000 – 1:300000. Найпростіший спосіб кількісного вираження динаміки ґрунтових комбінацій за допомогою повторних аерокосмічних знімків – розрахунок просторових частот переходів ґрунтових класів один до одного. Здійснюється це методом «посткласифікації», тобто знімки всіх рейдів дешифруються за єдиною легендою. Потім отримані картограми порівнюються поточною, що дозволяє врахувати всі просторові частоти переходу. Отримана матриця переходів характеризує просторово-розподілену динаміку ґрунтових класів всієї досліджуваної системи.

Для вивчення динаміки ґрунтових комбінацій велике значення має *репрезентативність досліджуваної площі*. Дуже мала досліджувана площа може не виявити всього різноманіття переходів і не дозволить дати повного уявлення про ланцюги зв'язку систем території. Дуже велика досліджувана площа втягує в розрахунок генетично-різноманітні області, переходи між якими в сучасному масштабі часу не реалізуються. За дослідженнями Б. В. Виноградова оптимальний розмір досліджуваної площі для вираховування динамічної моделі складної системи знаходяться в межах 10-100 тис. га.

Наступний спосіб аерокосмічного моніторингу *динаміки ґрунтового покриву – стеження за змінами окремих ґрунтових показників: вологості, вмісту гумусу, засолення і т.п.* Він ґрунтується на «поточковому» або «попільському» порівнянні дистанційного сигналу, вимірюваного у фотометричних або радіометричних одиницях, одних і тих же ділянок у різні роки і інтерпретації відповідних їм змін ґрунтових показників.



## **2.4 АЕРОКОСМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АГРОЛАНДШАФТІВ**

Космічні знімки використовуються не тільки при дослідженнях природного середовища; вони широко застосовуються для вирішення задач, пов'язаних з господарською діяльністю, перш за все в сільському господарстві. На перших же отриманих з космічних кораблів фотографічних знімках чітко виявлялися землі сільськогосподарського використання. Необхідність в інвентаризації сільськогосподарських земель у поєднанні з яскравою вираженістю сільськогосподарських угідь на знімках обумовили той факт, що різні приклади складання карт за космічними знімками були пов'язані саме з сільськогосподарським використанням ґрунтів.

В застосуванні космічних знімків у сільському господарстві існує декілька напрямків:

- визначення складу і стану сільськогосподарських культур,
- прогноз родючості,
- вивчення пасовищних ресурсів,
- визначення біомаси пасовищної рослинності,
- інвентаризація сільськогосподарських земель,
- вивчення і картографування ґрунтів, що обробляються,
- стеження за його динамікою,
- виявлення захворювань і пошкоджень посівів,
- контроль за проведенням агротехнічних заходів,
- сільськогосподарське картографування.

Склад сільськогосподарських культур визначається при наявності еталонних зображень навіть за звичайними чорно-білими космічними знімками з достовірністю 70 %. Залучення матеріалів багатозональних знімків і повторюваність знімання протягом сезону вегетації підвищує надійність дешифрування на 90%. Дешифрування сільськогосподарських культур з використанням їх спектрального образу може виконуватися автоматично за спеціально відпрацьованими програмами, причому деякі культури виділяються з дуже високим ступенем достовірності (98 %).

Проводяться дослідження по визначенню за допомогою багатозональних космічних знімків не тільки набору культур, але і стану посівів. Таке використання космічних знімків потребує інструментального дешифрування з урахуванням чисельних факторів, що впливають на якість зображення. Вивчення складу і стану сільськогосподарських культур здійснюється для прогнозування врожаїв.

Як і в перші роки застосування космічної зйомки, одним з основних її напрямків залишається інвентаризація і картографування земельних угідь. Практична робота зі знімками надала можливість швидкого складання карт земельних ресурсів, що за якістю не поступаються, а перевершують аналогічні карти, складені в результаті багаторічної праці. Можливість періодичного повторювання космічних знімків дозволяє вирішувати питання про поновлення карт земельних угідь.

Космічні методи можуть забезпечити збирання статистичних даних у сільському господарстві в світовому масштабі, що виконується міжнародними організаціями. Відомості про використання земель та земельних угідь, їх площі, типи сільськогосподарських культур і площі, які зайняті ними, можна отримати за даними супутників і без їх попередньої картографічної обробки.

Інформація космічних знімків не обмежується оперативними відомостями щодо стану посівів сільськогосподарських культур, а включає широке коло питань, таких, як форми територіальної організації сільського господарства, системи землеробства, які використовуються, виробнича спрямованість господарств. Різниця в зображенні господарств різної виробничої спрямованості свідчить про можливість використання космічних знімків для аналізу та картографування особливостей сільськогосподарського виробництва в масштабі як окремих країн, так і Світу.

Методи дистанційного зондування являють собою швидкодіючі автоматизовані системи збирання і обробки інформації стосовно земельних ресурсів. Запровадження цих методів у сільське господарство створило нові можливості вивчення природно-сільськогосподарських (агроландшафтних) систем. За матеріалами дистанційного зондування можна вивчати структуру і динаміку агроландшафтних систем, виявляти

позитивні і негативні сторони сільськогосподарського впливу на природу, вирішувати задачі агроландшафтного моніторингу.

Дослідження територіальної організації природно-сільськогосподарських комплексів за аеро- і космічними знімками спрямовані на вирішення задач раціонального землевлаштування, регіональної і локальної диференціації систем ведення сільського господарства, меліорації ґрунтів, проектування культурних агроландшафтних систем. Агроландшафтні системи – результат взаємодії людини і природи. Тому їх слід розглядати як єдину систему взаємозв'язку природних компонентів і сільськогосподарської діяльності. Агроландшафтна система є відкритою; вона розвивається під впливом природного і соціально-економічного середовища і постачає за свої межі сільськогосподарську продукцію та інші продукти функціонування.

*Проблема дешифрування динаміки – одна з головних в агроландшафтному моніторингу.* Основною задачею цього моніторингу є отримання відомостей про деградацію сільськогосподарських угідь з метою пошуку шляхів раціонального використання земельних ресурсів у сільському господарстві відповідно до вимог адаптивного землеробства. Застосування машинного дешифрування дозволяє складати оперативні карти моніторингу, необхідні для корегування агротехнічних і меліоративних заходів і прогнозування врожайності посівів с/г культур.

## **2.5 ЗАСТОСУВАННЯ ДИСТАНЦІЙНИХ МЕТОДІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ЛІСІВ**

Уілсон (Wilson, 1967) дає оцінку різних типів зйомок (аерофотозйомок і космічних зйомок), залежно від здатності системи і можливості стереоскопічного сприйняття зображення (табл.11).

Таблиця 11

**Спроможність і приблизні масштаби аерофотознімків, що застосовуються в лісовому господарстві (Wilson, 1967)**

Вид застосування	Клас розрішаючої здатності і
------------------	------------------------------

	масштаб		
	Грубий дозвіл (10 футів і більше) 1:50000 і дрібніше	Середній дозвіл (1-10 футів) 1:8000-1:50000	Детальний дозвіл (1-12 дюймів) 1:600-1:6000
1	2	3	4
Приведення лісових масивів у популярність	x	x3	–
Інвентаризація об'єктів лісовпорядкування	x	<b>X3</b>	x3
Класифікація земель	x	X3	–
Зйомки з метою господарського використання лісів	–	x3	<b>x3</b>
<b>Продовження таблиці 11</b>			
Визначення запасів	–	–	<u>x</u>
Проектування лісозахисних заходів	–	x3	–
Виявлення ушкоджень лісу шкідниками	x	x	<b>X3</b>
Облік масового розмноження шкідників	–	x3	x3

*Примітка : x – застосування можливе; X - вимагається дозвіл об'єктів, що найчастіше зустрічаються; 3 – необхідне стереоскопічне сприймання.*

**Клас «груба розрішаюча здатність»** належить, головним чином, до космічних зйомок. Хоча застосування космічних знімків автор вважає можливим у багатьох випадках, є і більші перешкоди для цього. Якщо навіть у майбутньому, як очікується, буде підвищена їхня розрішаюча здатність до 10-20 футів (3,048-6,096м), залишається ще стереоскопічне сприймання. На даний час паралактичні виміри за космічними знімками можливі з точністю близько  $\pm 100$  футів (30,48м). Для досягнення точності  $\pm 5$  футів (1,524м) при висоті польоту космічного корабля 114 миль необхідне збільшення базису фотографування до 6 футів (1,8288м) (з відповідним збільшенням формату знімку), що навряд чи можливо.

Космічна фотографія відкриває нові можливості для обстеження великих лісових масивів, швидкого врахування колишніх змін у лісах, для оперативного керівництва лісовим господарством великих адміністративних районів і т.д. Космічна фотографія не може замінити звичайну аерофотозйомку з такою метою як, інвентаризація лісів, врахування ушкоджень лісу пожежами і шкідниками, класифікація земельних угідь та ін. З цією метою краще використати аерофотозйомку з середньою і детальною розрішаючою здатністю.

Однак, експерименти з космічною зйомкою виявили нові можливості, які спочатку ставилися під сумнів. Зокрема, дискусійним є питання про використання космічних знімків для інвентаризації лісу. Розглянемо у зв'язку з цим результати експерименту з використанням космічних аерознімків для інвентаризації лісів США.

*Дослідні роботи охоплювали площу близько 5000000 акрів (Aldzich, 1971).*

Зйомка була виконана з космічного корабля «Аполон-9» в масштабі 1:2430000 камерою «Hasselblad» з  $f_k=80$ мм на плівку шириною 70мм, мінімальний розмір розрішаючої наземної деталі складав 300 футів (91,44м).

Космічною зйомкою були охоплені 2 райони: перший був розташований у долині Міссісіпі, а до другого району входили частини штатів Алабама і Джорджія.

Зйомка виконувалася в чотирьох варіантах з використанням плівок (табл.12).

Зйомка виконувалася навесні, коли листяні породи дерев ще не мали листя, а поля були розорані, але не засіяні. Негативно вплинув на дешифрувальні властивості космічних знімків паводок на Міссісіпі. За інформативністю аерознімків найкращим був варіант А (спектрозональна плівка), після нього йшли D, С і В.

Цікаво навести ознаки дешифрування різноманітних природних об'єктів на спектрозональних аерознімках (діапозитивах). Насадження листяних порід зображалися синьо-зеленим кольором, у заплавах колір зображення змінювався до темно-синього. Соснові ліси (чисті за складом) зображалися пурпурово-червоним кольором, вирубки – світло-зеленим кольором з блакитним відтінком, пасовища – рожевим кольором різної інтенсивності, водні поверхні – темно-синім, розорані поля – рожево-сірим або пурпурно-сірим кольором.

Таблиця 12

**Поєднання фотоплівок і світлофільтрів при зйомці з космічного корабля «Аполон-9»**

<b>Фото-апарат</b>	<b>Тип фотоплівки</b>	<b>Світлофільтр</b>	<b>Спектральна чуттєвість поєднання фотоплівка – світлофільтр</b>
A	SO-180 Ekta, Infrared	Photar 15	510-800
B	3400 Ponatomic x	Photar 38 B	470-610
C	SO-246B/W Infrared	Photar 89 B	680-890
D	3400 Ponatomic x	Photar 25 A	590-715

Була зроблена спроба автоматичного розпізнавання різноманітних об'єктів на космічних знімках. З цією метою вимірюва-

лися щільності фотозображень з різними світлофільтрами за допомогою реєструючого мікрофотометра. У такий спосіб виявилося можливим розпізнавання 11 категорій земель, включаючи як вкриті, так і не вкриті лісом площі.

Інвентаризація лісів за космічними знімками виконувалася за схемою багатоетапної вибірки, що у різних варіантах використовується в лісовому господарстві США. Космічні знімки були поділені на квадрати з розмірами сторін 4 милі. На першому етапі вибірки вся територія за космічними знімками була поділена на лісову і нелісову категорії земель. Після цього були відібрані квадрати для наступного вивчення.

У доповнення до космічної зйомки проводилося вибіркоче аерофотознімання тієї ж площі в різних масштабах. За дрібномасштабними аерознімками (1:60000), отриманими як доповнення до космічної зйомки, вибиралися місця для аерофотознімання в масштабі 1:12000. Після цього виконувалося великомасштабне аерофотознімання (1:2000), що вкривало *триплетами проби* (по 3 кадри, щоб забезпечити повний стереоскопічний огляд центрального знімку), намічені за аерознімками масштабу 1:12000. За великомасштабними аерознімками виконувалися виміри висот дерев і діаметрів крон. Нарешті, за кожним дослідним полігоном були намічені наземні проби розміром 0,625 акрів, на яких виконувалися детальні таксаційні роботи.

**Результати інвентаризації показали наступне.** Для першого району загальний запас був визначений з помилкою  $\pm 13\%$ . На думку Алдрича така точність є значним досягненням для такого комбінованого способу інвентаризації. Для другого району досягти такої точності не вдалося. Загальний запас був визначений з помилкою  $\pm 30\%$ . Тут лісова площа була представлена найбільшими масивами, створюючи строкатий рисунок фотозображення. Кореляційні зв'язки між таксаційними і дешифрувальними елементами виявилися більш складними для другого району, система вибірки, що застосовувалася в цих умовах, себе не виправдала.

Про можливість застосування теплового аерознімання в лісовому господарстві опублікована низка робіт (Myeza, Allen, 1968; Olson, 1967; Rohde, 1970; Weber, 1971 та ін.). Намітилися

три основні напрями у використанні методу в лісовому господарстві. До них належать: *загальне дешифрування всього природного комплексу для різноманітної мети; вивчення пошкоджень рослинності і вивчення лісових пожеж*. Олсон (Olson, 1967) повідомляє про американський експеримент, проведений у штатах Мічиган і Мінесота. За допомогою інфрачервоної системи, яка мала детектор із сурм'янистого індію, була виконана теплова аерозйомка в зоні спектра 4,5-5,5 з висоти 3000 футів (914,4м). Зйомка виконувалася у липні, у нічний час доби за відсутності хмарності. На термальному зображенні найсвітлішим тоном зображалася річка та інші водні об'єкти. Тон зображення лісів був більш світлим порівняно з сільськогосподарськими культурами. Інші варіанти зйомки були виконані в денний час доби, вони виявилися більш вдалим (табл. 13).

З таблиці видно, що ознайомлення з об'єктами в натурі значно підвищило точність розпізнавання різноманітних об'єктів. У той же час можна відзначити порівняно низьку точність розпізнавання окремих порід дерев. Автор відзначає, що за прямими ознаками розпізнавання окремих порід складало великі труднощі, у більшості випадків ділянки лісу з переваженням різноманітних порід дерев виділялися за умовами місцезнаходження.

Арцибашев Є. С. та ін. (1971) вказують на перспективність використання теплової аерозйомки для виявлення малих прихованих осередків лісових пожеж за рахунок інтенсивного теплового випромінювання. Особливо ефективно використовувати з цією метою інфрачервоні системи, встановлені на висотних літаках і штучних супутниках Землі. Лісові пожежі, що починаються, можуть бути виявлені як з малих, так і з великих висот польоту. Через те що інфрачервоне випромінювання поглинається хмарами, бажано мати інші дистанційні приймачі, що дозволяють реєструвати лісові пожежі під хмарами.

Таблиця 13

**Точність дешифрування теплового зображення в штаті  
Мінесота (Ch.Olson, 1967)**



Назва об'єкту і вид дешифрування	Кількість випадків	Число правильно визначених об'єктів	Відсоток
1	2	3	4
1. Попереднє дешифрування (без польових робіт):			
– площі, що культивуються, або не культивуються	204	142	70
– сільськогосподарська культура	153	38	25
– лісова або не лісова площа	51	31	61
– породи дерев	16	1	6
шифрування після ознайомлення з об'єктом у природі:			
– площі, що культивуються або не культивуються	127	118	93
– люцерна	30	28	93
– кукурудза	43	31	72
– соєві боби	23	15	65
– лісова або не лісова площа	22	20	90
– чагарники або пасовища	10	2	20
– породи дерев	6	3	50

Про практичну реалізацію цього методу в США повідомляє Уебер (Weber, 1971). В умовах цієї країни близько 40 % малих лісових пожеж виявляється не раніше, ніж через вісім годин після їхнього виникнення. Інфрачервона система мала два канали: перший працює в діапазоні 8-14 миль, а другий – 3-6 миль.

Система встановлювалася на патрульному літаку, що покривав за один політ більше 20 тис. км<sup>2</sup> при висоті польоту до 7000 м. Результати практичного впровадження цієї системи довели, що вартість охорони і виявлення зменшилася вдвічі порівняно зі звичайним авіапатрулюванням у поєднанні з наземною охороною.

Цей же метод можна використати для картографування і вивчення великих лісових пожеж. Периметри таких пожеж і нові

осередки, що виникають при їхньому русі, можна закартографувати з допомогою інфрачервоних систем.

## **Історія застосування дистанційних методів у лісовій справі**

Перші спроби використання дистанційних методів для вивчення рослинності були зроблені у **1925 р.**

Першими об'єктами аерофотознімання були: Саблінське лісництво поблизу Ленінграду (9141га), Железинське і Федяйківське лісництва в колишній Тверській губернії (65000 га). Аерофотознімання було проведене організованим при Акціонерному товаристві «Доброліт» аерознімальним відділом під керівництвом М. Д. Бонч-Бруєвича. У 1926 році це ж товариство (за договором з лісовими організаціями) виконало аерофотознімання на площі 524 тис. га в Марійській АРСР. Це була перша велика робота по аерофотозніманню для потреб народного господарства.

Повітряне фотографування для фахівців лісового господарства і лісової промисловості являло в той час особливий інтерес, бо лісовий фонд (один із основних багатств країни), здебільшого не був вивчений. Крім того, для забезпечення розвитку промисловості необхідним було інтенсивне використання лісових масивів у нових районах, а для цього потрібно було терміново здійснити інвентаризацію лісів з метою виявлення їхньої цінності і значущості для потреб народного господарства.

Вже перші спроби застосування аерофотознімання з метою інвентаризації лісів і вивчення умов для організації їхнього промислового використання показали, що аерофотознімання є високоефективним технічним засобом, здатним різко прискорити процес вивчення лісового фонду і раціоналізувати процеси лісоінженерних вишукувань і проектувань.

Першою спеціальною організацією для проведення лісового аерофотознімання був трест лісової авіації, створений у 1936 році, на основі реорганізації інституту лісової авіації Всесоюзної академії сільськогосподарських наук ім. В. І. Леніна. З 1936 р. до 1953 р. цей трест провів аерофотознімання лісового фонду двічі.

У розглянутий період застосовувались такі види лісових аерозніскань і проектування: *аеровізуальні обстеження і аеротаксація лісів, лісоінвентаризація, проектування заліснення пісків і ярів, комплексні пошуки для проектування лісозаготівельних і лісоплавних підприємств, патрулювання лісоплаву, проектування лісоосушувальної меліорації, повітряних ліній електропередач, укладання топографічних планів для проектування промислового і селищного будівництва, пошуки для лісозведення і лісоочищення в зонах затоплення, де будуються ГЕС*. За допомогою матеріалів аерофотознімання до 1956 року вдалося повністю завершити облік лісового фонду колишнього СРСР.

Інвентаризація лісів полягає у збиранні і обробці докладної інформації про лісовий фонд, достатньої для обґрунтування і визначення основних напрямів розвитку лісового господарства і розробки комплексу заходів для правильного використання лісу, його відтворення і охорони навколишнього середовища. Вимоги до форми і повноти інформації про лісовий фонд визначають метод інвентаризації, який залежить від цільового призначення лісів, інтенсивності розвитку лісового господарства. Найбільше розроблені методи інвентаризації при докладному лісовпорядкуванні лісогосподарських підприємств.

Найважливіше завдання, що виникає перш за все при інвентаризації лісів – розподіл лісового фонду на однорідні в таксаційному відношенні (за складом порід дерев, висотою, товщиною дерев, повнотою, запасом, якістю деревини і т. п.) ділянки, площа яких може коливатися від 0,1 до декількох десятків гектарів. При роботах без аерофотознімків для цього прорубували взаємопаралельні лінії (візири) через 125-1000 м. Застосування матеріалів аерофотозйомки великих і середніх масштабів дозволило відмовитися від порубки більшої частини візирів і втричі скоротити їхню довжину, тому що контури більшості таксаційних виділів можуть бути встановлені безпосередньо за аерофотознімками з частковим уточненням їх натурі.

Впровадження в кінці 50-х років у практику лісовпорядкування кольорових спектральних аерофотознімків масштабів 1:10000 – 1:15000 дозволило значною мірою підвищити точність

встановлення контурів ділянок і в інтенсивній зоні майже повністю відмовитися від прорубки візирів.

Аерофотознімки при лісовпорядкуванні також використовують для безпосередньої таксаційної характеристики насаджень. Для організації і ведення лісогосподарського і лісопромислового виробництва необхідно визначати цілу низку характеристик лісу стосовно кожної окремої ділянки, а саме: склад порід дерев, середні діаметри, висоту і вік, повноту, запас і якість деревини, тип лісу або тип умов місцезнаходження (охарактеризувати підріст, підлісок, ґрунтовий покрив, відзначити особливості зростання і розвитку деревостанів, стан лісу, намітити конкретні заходи з догляду за лісом і рубки лісу, лісовідновленню, охороні лісу від пожеж і шкідників і ряд інших).

Роль аерофотознімання в проектно-пошуковій справі особливо велика. Ще на стадії підготовки до пошуків, матеріали аерофотознімання дозволяють розробити схему транспортного використання лісових масивів і визначити оптимальний напрям магістралі і під'їзних гілок у лісовому масиві.

Застосування матеріалів аерофотознімання при комплексних пошуках для проектування підприємств з промислового освоєння лісів підвищує їхню техніко-економічну ефективність.

## **Облік та інвентаризація лісів за допомогою дистанційного зондування**

Матеріали багатозонального космічного фотознімання (КФЗ) ефективно використовуються для поновлення даних лісовпорядкування. В основу цих методів покладене дешифрування КФС з дозволом по місцевості 20 м, збільшених до масштабу плану насадження лісу, вибірккові обсяги натурних таксаційних робіт, картографічні і таксаційні дані колишнього лісовпорядкування. При врахуванні лісосировинних ресурсів основна увага приділяється оцінці запасів і товарної структури спілих і перестійних

насаджень, при повторному лісовпорядкуванні виробляється інвентаризація всіх площ лісового фонду.

Основні методичні положення дешифрування КФЗ, використання матеріалів колишнього лісовпорядкування і послідовність робіт є єдиним для обох методів. Відмінності полягають тільки в обсягах робіт, засобах обробки натурних таксаційних матеріалів і результатів дешифрування.

Данюше С. П. і Березин В. І. (1984) пропонують на космічні знімки з планів лісонасаджень перенести контури вирубок, згарищ і молодняків, що зафіксувалися останнім лісовпорядкуванням, що при повторному зондуванні намічаються до натурної таксації, а при врахуванні лісосировинних ресурсів з подальшої обробки виключається. Після цього шляхом стереоскопічного аналізу КФЗ з використанням планів лісонасаджень і таксаційних описів дешифрується інша площа лісового фонду. Виділяються нові контури вирубок, залишених недорубок, гарей. Для знов виділених за КФЗ визначається переважна порода, група віку і відносна повнота. Інші таксаційні показники (склад, клас віку, висота і діаметр) беруться з таксаційних описів. При стереоскопічному аналізі незайманих будь-яким впливом насаджень перевіряється правильність визначення переважних порід і повноти. У випадку розбіжності ці ділянки намічаються до огляду в натурі. При інвентаризації (повторне лісовпорядкування) таксуються всі ділянки, не покриті лісом площі, молодняки, а також ділянки, що утворилися, в яких при дешифруванні відзначені розбіжності. Для незайманих насаджень, за винятком спілих і перестійних, таксаційні характеристики актуалізуються на основі моделі динаміки. Характеристики спілих і перестійних насаджень приймаються за даними колишнього лісовпорядкування без змін.

Економічна ефективність застосування технології інвентаризації при повторному лісовпорядкуванні за даними дослідно – виробничої перевірки склала 34 % відносно існуючого засобу інвентаризації.

**Інвентаризація лісів** полягає в збиранні та обробці докладної інформації про лісовий фонд, достатньої для обґрунтування і визначення провідних напрямів лісового господарства і розробки комплексу заходів для правильного використання усіх якостей лісу, його відтворення і охорони навколишнього середовища. Вимоги до форми і повноти інформації про лісовий фонд визначають спосіб інвентаризації при докладному лісовпорядкуванні лісогосподарських

Найважливіше завдання, що виникає перш за все при інвентаризації лісів – розподіл лісового фонду на однорідні в таксаційному відношенні (за складом порід дерев, висотою, товщиною дерев, повнотою, зростом, запасом, якістю деревини і т. ін.). Застосування матеріалів аерофотозйомки великих і середніх масштабів дозволяє відмовитися від прорубки більшої частини ділянок і, по-друге, – скоротити їхню довжину тощо. Контури більшості таксаційних ділянок можуть бути встановлені безпосередньо за аерофотознімками з частковим уточненням їх у натурі.

Зaproвадження в кінці 50-х років у практику лісовпорядкування кольорових спектральних аерофотознімків масштабів 1:10.000-1:15.000 дозволило в значній мірі підвищити точність встановлення контурів ділянок і в інтенсивній зоні майже повністю відмовитися від прорубки останніх.

Для організації і ведення лісогосподарського і лісопромислового виробництва необхідно визначити низку характеристик лісу стосовно кожної окремої ділянки, а саме: склад деревних порід, середні діаметри, висоту і вік, повноту, запас і якість деревини, тип лісу або тип умов місцезнаходження (схарактеризувати підріст, підлісок, ґрунтовий покрив, відзначити особливості зростання і розвитку деревостоїв, стан лісу, намітити конкретні заходи з догляду за лісом і рубки лісу, лісовідновленню, охороні лісу від пожеж і шкідників і ряд інших).

Виходячи з докладності, способу і точності визначення таксаційних характеристик насадження можна виділити чотири групи способів і лісоінвентаризації:

- Інвентаризація, основана на **контурному** дешифруванні аерознімків і **натурної таксації** насаджень (польове дешифрування аерознімків).

- Інвентаризація на основі **камерального** дешифрування аерознімків.

- Інвентаризація на основі **поєднання камерального** дешифрування і часткової **натурної таксації** насаджень.

- Статичні способи **лемоінвентаризації** на основі дешифрування матеріалів аерофотознімання і космічної зйомки.

- Інвентаризація лісів, основана на **контурному дешифруванні** аерофотознімків і натурної таксації насаджень, характеризується трудоемністю і великими витратами засобів, високою точністю результатів (точність визначення запасу на 1 га для ділянки 12-15 %). Її застосовують при лісовпорядкуванні в умовах інтенсивного ведення лісового господарства. Для всієї площі об'єкту спочатку проводять камеральне аналітичне дешифрування аерофотознімків з одночасним розподілом площі лісу на ділянках, а після цього натурну таксацію для уточнення кордонів ділянок, таксаційних характеристик насаджень і призначення лісогосподарських заходів.

- При інвентаризації шляхом **камерального дешифрування** аерофотознімків натурні роботи проводять в основному для вивчення ознак дешифрування і тренування виконавців. Кордони ділянок і таксаційні характеристики насаджень визначають за аерофотознімками в камеральних умовах. Точність визначення запасу на 1 га складає + 24-30%. Такий спосіб інвентаризації застосовується в лісах, освоєння яких намічається через 10-15 років.

- Інвентаризація на основі **поєднання камерального дешифрування і часткової натурної таксації** насаджень передбачає суцільне таксаційне дешифрування аерознімків у камеральних умовах, а після цього вибіркові натурні таксаційні роботи для перевірки і доповнення таксаційних характеристик насаджень, а також для призначення лісогосподарських заходів. Обсяг натурних робіт залежить від характеру насаджень в об'єкті, ступеня освоєння лісів і може складати 30-50 % обсягу

робіт, що виконуються при суцільній натуральній таксації. Точність визначення запасу на 1 га ділянки лісу коливається в межах  $\pm 18-24\%$ . Цей спосіб придатний для інвентаризації лісів експлуатаційної зони.

В основі статистичного способу врахування лісового фонду лежить теорія вибіркового обстежень для отримання потрібної інформації. Вибіркові обстеження полягають у тому, що для вивчення цілого беруть частину, за якою можна говорити про все, що цікавить суспільство.

Виконані у Радянському Союзі професійні фотографування з літаків з великих висот, з ПОС «Салют-4» і ПКК «Союз-22», показали перспективність використання дрібномасштабної літакової і космічної інформації у поєднанні з вибірковою великомасштабним аерофотозніманням для отримання точних відомостей про лісовий фонд, що задовольняють вимогам лісоінвентаризації резервних лісів. На підставі цього розроблений фотостатичний спосіб інвентаризації лісів.

Цей спосіб заснований на суцільному дешифруванні дрібномасштабних знімків з літака або космічних фотознімків з дозволом 20-30 м на місцевості у вимірювальному і аналітичному дешифруванні фотопроб за великомасштабними аерознімками (М 1: 5000), розміщений у певній системі відповідно до вимог методів вибіркового дослідження, законів теорії ймовірностей і математичної статистики.

Повний цикл фотостатичної лісоінвентаризації можна поділити на три періоди: **підготовчий період, польові роботи і камеральна обробка матеріалів.**

Основна задача *підготовчих робіт* полягає у визначенні обсягів і розміщенні вибірки і на основі цього в складанні проекту вибіркової аерофотозйомки. Оскільки вибірковою спосіб будується на ландшафтній основі, в першу чергу проводять природне районування об'єкту інвентаризації, складають попередню схему типів лісу і стратифікують площі лісового фонду. Після цього обсягом вибірки визначають для кожного ландшафту. Загальний обсяг одержують, складаючи вибірки за ландшафтами. Таким чином, у підготовчий період виконують основні дешифрувальні роботи за надвеликомасштабним знімком з літака або космічним фотознімком.



Виконане у камеральних умовах попереднє ландшафтно-географічне районування уточнюють в натурі. Передусім, в результаті рекогносцирувального об'єкту остаточно встановлюють кордони ландшафтів і місцевостей, обстежують геоморфологічну структуру ділянки, уточнюють і намічають напрями і маршрути наземних досліджень.

При наземних обстеженнях за наміченими ходовими лініями здійснюють **візуальну таксацію** насаджень з одночасним описом морфологічної структури ландшафту.

У камеральний період у результаті обробки польового матеріалу і літературних джерел уточнюють схему типів лісорослинних умов, обчислюють співвідношення їхньої розповсюдженості і частоти появи.

Вибірково перекачувальну таксацію виконують у таксаційних виділах, типових для району і характеризуючи однорідність таксації, використовують для оцінки точності дешифрування аерознімків.

### **Застосування лісової типології при аерокосмічних дослідженнях лісів**

Представник Харкова Остапенко В. Ф. на Красноярській конференції в 1984 році з цього питання доповів про те, що вимір і дешифрування різних параметрів лісової рослинності з метою визначення їх якісної і кількісної оцінки спирається на заздалегідь вивчені і класифіковані наземні типові об'єкти. При аерокосмічних дослідженнях лісів доповідач пропонує таксони класифікаційної системи лісоводської типології. Просторове положення лісорослинних зон, областей і регіонів, типів лісу і лісових біоценозів, які відображають переважну дію чинників життя на якості зміни, що відбуваються в лісових екосистемах, підпорядковане закономірностям. Виявлення цих закономірностей і координатного положення таксонів одночасно індиціє наземні об'єкти, які вивчаються, і пояснюють результати дистанційного зондування підстиляючої поверхні. Метод типологічних аналогів і конкретне знання якісних і кількісних характеристик об'єктів, що вивчаються наземно, на

думку доповідника, може сприяти дешифруванню космічних знімків лісів.

Остапенко В. Ф. стверджує, що відомості, якими ми володіємо, дають достатнє підґрунтя для пояснення географії, найважливіших властивостей і особливостей лісів різних регіонів, дозволяють прогнозувати розвиток лісових ценозів. Зокрема, лісотипологічному дешифруванню космічних і підсупутникових знімків могли б сприяти географічно окреслені таксони лісорослинного районування.

При аерокосмічному вивченні гірських лісів їх дешифрування полегшує знання типів вертикальної зональності, кожний із яких стосовно конкретної гірської системи має свої особливості.

На завершення доповідач вказав, що паралельне лісотипологічне наземне і аерокосмічне дослідження індикаторної ролі лісової рослинності (деревинної і трав'янистої) підвищує результативність і достовірність вивчення ритміки природних процесів біологічної продуктивності лісів і складання тематичних лісових карт.

### **Дистанційні методи в охороні лісів від пожеж**

Аналіз матеріалів зйомок, що отримуються за допомогою космічних апаратів, показав потенційну можливість їх використання для виявлення лісових пожеж. ***На знімках пожежі дешифрують за димовими шлейфами, що мають витягнену форму і значну довжину.***

Отримання серії послідовних, різночасних знімків однієї території дозволяє постійно стежити за розвитком пожеж, що забезпечує найбільший ефект всього комплексу заходів щодо їх локалізації і гасіння.

Наприклад, в зоні тайги значний відсоток пожеж виникає від грозових розрядів. За оглядовими космічними знімками з дозволом біля 2 км, одержаних з ШСЗ «Метеор», грозову хмарність добре розпізнають і відстежують її рух. Це дозволяє прогнозувати райони можливої появи лісових пожеж.

Важлива задача в циклі заходів щодо охорони лісів від пожеж – виявлення конвективної хмарності, перспективної для

виникнення штучних опадів. Така хмарність характеризується цілою низкою ознак, таких як форма, розміри, розвиток за вертикаллю, температурою та ін. Для визначення перспективності хмарності необхідно знати метеорологічну ситуацію, розповсюдження хмарності в часі і просторі, хмарний режим у лісових районах. Оперативна інформація, одержана з ШСЗ «Метеор» дозволяє виявляти конвективну хмарність, її характеристику і динаміку.

**Важлива задача в системі організації охорони лісів від пожеж – укладання карт пожежної небезпеки лісових територій за умовами погоди.**

Різні дослідження свідчать про те, що лісовий фонд може бути поділений на ділянки за пожежною стійкістю, що залежить від характеру насаджень, лісорослинних умов, пори року і стану погоди.

Карти можуть бути складені окремо для весни, літа і осені, бо в різні часові періоди пожежна небезпека одних і тих же ділянок може бути різною.

Інфрачервона знімальна апаратура перспективна і для виявлення джерел пожеж у лісі, в тому числі точкових, що знаходяться під кронами дерев, під шаром торфу. Важливо те, що інфрачервоні системи дозволяють виявляти лісові пожежі на початковій стадії їх виникнення.

**Лісова пожежа – потужне і складне джерело випромінювання.** У ньому можна виділити чотири випромінювальних компоненти: *розпечену тверду поверхню деревини, вуглі, що горять, полум'я та дим.* Всі чотири компоненти входять до сумарного спектрального складу випромінювання лісової пожежі. В інфрачервоному діапазоні оптичного спектру вони випромінюють енергії значно більше, ніж у видимому діапазоні спектру. Наприклад, розпечена поверхня деревини у видимому діапазоні спектру випромінює всього 0,1 % енергії, а 99,9 % припадає на інфрачервону частину спектру. Вуглі, які остигають, випромінюють у видимому діапазоні спектру всього 0,002 % енергії, а в інфрачервоному – 99,998 %, тобто практично всю енергію.

Для виявлення лісових пожеж можуть бути використані і методи, які ґрунтуються на прийомі власного випромінювання пожеж у зверхвисокочастотному діапазоні, що охоплює довжини хвиль  $\lambda$  від  $\approx 60$ -30 см до 1мм. На виміри у НВЧ-діапазоні, на відміну від ІЧ-діапазону, умови освітлення Сонцем, що постійно змінюються, практично не впливають. НВЧ-апаратура (радіометри) в комплексі з іншою апаратурою знаходить застосування для виявлення лісових пожеж.

## **Дистанційне вивчення пошкоджень рослинного покриву**

Перший досвід із застосування аерофотознімання для обліку пошкодження рослинності належить до 1929 року (Meuser, French, 1967), коли цим засобом вивчалася гнилість на коренях бавовнику. Потім ці роботи одержали подальший розвиток, особливо у зв'язку з виникненням плівок, чутливих до інфрачервоних променів. Почали вивчатися пошкодження цитрусових, злаків і порід дерев. Масові спалахи розмноження шкідників лісу, пошкодження дерев смогом і отруйними газами, що викидаються в атмосферу, змусили звернути серйозну увагу на розробку та удосконалення методів виявлення цих ушкоджень. В умовах високо інтенсивного лісового господарства країн Західної Європи, США, Канади облік лісів, уражених комахами і хворобами, ведеться головним чином наземними методами. Однак при масових спалахах розмноження шкідників і при обліку пошкоджень, що викликаються смогом і газами промислових підприємств, дистанційні методи є найбільш ефективним методом обліку подібних ситуацій. Будь-які аномалії у прояві чинників довкілля можуть сприяти виникненню лісових пошкоджень.

Чинники, що викликають пошкодження рослинності, поділяють на біотичні, абіотичні і антропогені.

До біотичних належать шкідники, комахи, хвороби лісу, механічні пошкодження тваринними. З великої різноманітності комах і хвороб виділяють найбільш шкідливі, за якими обов'язково ведеться особливо ретельне спостереження і облік. Шкідливому впливу біотичних чинників в першу чергу підда-

ються насадження з пониженою біологічною стійкістю. Число причинних зв'язків між зниженням біологічної стійкості насаджень і шкідливим впливом біотичних чинників велике і різноманітне, однак знання і виявлення цих зв'язків – важлива умова для збільшення вірогідності встановлення лісових пошкоджень за допомогою матеріалів авіа космічної зйомки.

Особливо велику групу складають зміни, що *викликаються комахами, потім йдуть грибкові хвороби й інші типи порушень*.

Хеллер (Heller) поділяє ушкодження, що викликані комахами на три основні групи:

- 1) що викликані короїдами;
- 2) що призводять до скидання листя або хвої;
- 3) що викликаються комахами.

У 80-х роках було опубліковано кілька робіт американських авторів, у яких відзначається, що збитки від пошкоджень лісу короїдами в штатах Вірджинія, Техас і Теннессі обчислюються мільйонами доларів. Сієсла (Ciesla зі співавторами, 1967) докладно викладає методику, що застосовувалася для дешифрування пошкоджень.

Для виявлення пошкоджень було застосоване вибіркове аерофотознімання триплетами (по 3 кадри, щоб забезпечити поясне стереоскопічне поглядання центрального знімка). Відстань між маршрутами була 0,75 милі, відстань між центрами триплетів – близько 1,2 милі. Аерофотознімання виконувалося в серпні на кольорову плівку в масштабі 1:3960. На аерознімках відображалися проби розміром 50 акрів із таким розрахунком, щоб уся проба містилася на одному аерознімку розміром 18x18 дюймів.

На кожній пробі підраховувалося число осередків, а в кожному осередку число пошкоджених дерев. *Сосни з почервонілою хвоєю зображалися на знімках яскраво-жовтим кольором, усохлі дерева – жовтим кольором, а дерева без хвої – яскраво – зеленим кольором*. На аерознімках виділялися також крони деяких листяних порід, що рано прийняли осіннє забарвлення. Однак їх можна було відрізнити за однорідним зображенням кольору. За аерознімками не вдалося виявити уражені шкідниками сосни, які мали зелену хвою. Очевидно, це можна пояснити тим, що спектральна яскравість в інфрачервоній області ще недостатньо знизилася.

Зі спектральною яскравістю співвідноситься також той факт, що сосни з червоною хвоєю зображуються жовтим кольором. Червонозабарвлені об'єкти, що відбивають інфрачервоні промені (наприклад, листя деревинних порід восени), як відомо, теж зображуються жовтим або жовтогарячим кольором. Червонозабарвлені об'єкти, що мають знижену спектральну яскравість в інфрачервоних променях, зображуються зеленим кольором (наприклад, старі ялини в соснових лісах, де дерева втратили хвою).

Демаскуюча плівка показала кращі результати порівняно з кольоровою, хоча вона не може виділити зелені сосни, ушкоджені шкідником. Здорові дерева листяних порід мають більш високу спектральну яскравість в інфрачервоній частині спектру порівняно з хвойними, тому вони зображуються червоним або жовтогарячим кольором, а хвойні породи темним пурпурним кольором. На аерознімках, отриманих на кольорову плівку, поділ хвойних і листяних порід без стереоскопічного переглядання ускладнений, тому що всі породи зображуються зеленим кольором. Крім того, аерофотознімання на демаскуючу плівку можна робити при наявності серпанку з мінус блакитним (жовтим) фільтром.

Порівняння наземних спостережень із даними дешифрування (за двома категоріями пошкоджених дерев – із червоними верхівками й усохлими) показало, що значний відсоток пошкоджених дерев не враховувався за аерознімками. Це пояснюється злитим зображенням крон, особливо дрібних розмірів. Не вдалося виявити зв'язок між кількістю пошкоджених дерев, що змінили забарвлення, і уражених, але зелених дерев. Однак отримана точність дає можливість правильно вибрати місця для наземного контролю.

Кінцеві результати обстеження характеризуються такими даними. Для обстеженої території площею 60000 акрів число осередків на 1000 акрів складає 28,7, а число уражених дерев (на 1000 акрів) – 1262,8 (з імовірністю 90 %).

Пошкодження, які викликані личинками молі (*Choristoneura tumiteranu*), ведуть до втрати хвої хвойними породами. Цей шкідник широко поширений у лісах Північної Америки. Для обліку ушкоджень були складені спеціальні таблиці запасів, що ґрун-

туються на визначених ступенях пошкоджень за великомасштабними аерознімками (Weber, 1964). Інвентаризація пошкоджень на площі 220000 га була проведена статистичним методом за схемою двохступінчатої вибірки. До цієї ж групи належать пошкодження, що викликані довгоносиками. Так, *Pissodes strobi* викликає пошкодження верхівкових пагонів в культурах сосни веймутової. Для обліку таких пошкоджень потрібно виконувати аерофотознімання в масштабі – близько 1:1600, для чого використовувалися малоформатні камери.

Великий інтерес являє виявлення за допомогою аерофотознімання грибкових захворювань деревинних порід. Складність полягає лише в тому, що наявність захворювання не завжди встановлюється навіть при натуральному огляді уражених дерев. Дуже важливим є питання про те, чи можна виявити за допомогою аерофотознімання наявність змін, якщо відсутні їхні візуальні ознаки.

Хартер (Charter, 1959) вважає, що при грибкових захворюваннях рослин уражається насамперед їхня губчаста паренхіма. Ці зміни починаються задовго до того, як змінюється зелений колір листя. Через те, що інфрачервоні промені сильно відбиваються губчастою паренхімою і майже не відбиваються поверхнею листя, зміна в структурі або складі губчастої паренхіми впливає на характер відбивання інфрачервоних променів. Аерофотознімання дозволяє виявити ці зміни й встановити площу, на якій рослинність має які-небудь ушкодження, наприклад, нестача або надлишок поживних речовин у ґрунті, поганий дренаж, захворювання, викликані комахами і т.д. З цією метою найкраще застосовувати інфрачервоні плівки, що дозволяє одержати при аерофотозніманні такі дані, які не можна одержати, використовуючи плівки, чуттєві у видимій зоні спектру. Будь-яких додаткових витрат при цьому не потрібно.

Шкідливий вплив **абіотичних** чинників середовища на ліс різноманітний. Це взаємне поєднання дерев, що викликане хитанням крон, бурелам, вітролам, сніголам, блискавки, посухи (атмосферні і ґрунтові). При інтенсивній атмосферній посуші (відносна вологість повітря падає до 15-25 %) створюються критичні умови, притаманні пожеженебезпечному періоду. У цей час від різних причин можуть виникнути лісові пожежі.

Шкідливий вплив **антропогенних** чинників середовища на ліс залежить від господарської діяльності людини. Це в першу чергу забруднення повітря газовими і пиловими викидами, інтенсивні вибіркові рубки, випас худоби і т.д.

За допомогою спектрозональних аерознімків можна виявити осередки пошкоджень листяних лісів отруйними газами (Wolf, 1970). Так були вивчені ділянки дубових і букових лісів, уражені хлористим воднем. Ці ділянки були розташовані на відстані 500-2500 м від підприємства, що викидає в атмосферу зазначений газ. Уражені дерева передчасно змінили забарвлення, що відобразилося на спектрозональних аерознімках, отриманих у середині вересня. Букові деревостої без листя зображувалися зеленим кольором, при невеликому ступені ураження дерева буку і дубу зображувалися жовто-коричневим кольором, а сильно уражені дерева, що цілком змінили забарвлення листя, – коричневим кольором. На аерознімках чітко виділялися вирубки, на яких у результаті дії отруйних газів підріст і вся рослинність цілком загинули. Відновлення лісу, на думку авторів роботи, тут неможливе.

Всі наведені приклади підтверджують можливість використання аерофотознімання для виявлення пошкоджень, що призводять до часткової або повної втрати листя або, у випадку порушення діяльності, асиміляційного апарату. **Однак не менш важливим є питання про те, чи можна виявити патологічні зміни в деревах до появи візуальних ознак, помітних незброєним оком.** Спеціально проведені експерименти у деяких випадках дали позитивну відповідь на поставлене питання. При штучному ураженні дерев сірчистим ангідридом візуальні ознаки з'являлися через 554 дні, спектрозональні аерознімки дали можливість виявити пошкоджені дерева через 1 день, а кольорові – тільки через 7 днів (Wolf, 1970).

Для інвентаризації пошкоджених насаджень розроблена спеціальна методика, що ґрунтується на системі двофазної вибірки. Ця методика, на думку авторів роботи, забезпечує необхідну точність для проектування лісогосподарських заходів, спрямованих на ліквідацію наслідків пошкоджень.

Розглянуті вище методи виявлення й обліку пошкоджень ґрунтуються, головним чином на обліку видимих ушкоджень,



що викликані одним агентом. Крім того, аерознімки – документ, за допомогою якого можна дати повну характеристику санітарного стану лісу.

## Дистанційні дослідження хлорофілу в листях рослинності

Відбивна спроможність порід дерев у значній мірі залежить від їх фенологічного стану. Молода хвоя, що з'явилася, і пагінці мають високі коефіцієнти яскравості, в той час коли стара хвоя має коефіцієнти яскравості майже в чотири рази менші. По мірі старіння яскравість молоді хвої спочатку швидко, а потім повільніше зменшується, наближуючись до яскравості старої хвої. Стара хвоя набуває змін яскравості за вегетаційний період. Після зимового спокою, коли яскравість її найменша, хвоя проходить новий цикл розвитку, пов'язаний з її фізіологічними функціями і перш за все зі змінами хлорофілу, який весь час поновлюється.

Відносний вміст хлорофілу в молодій хвої – 11,9 %, тоді як дворічна хвоя містить 32,5 %. Підвищення вмісту хлорофілу в старій хвої обумовлює велику насиченість зеленого кольору, збільшує поглинання світла і знижує відбивну спроможність. Це є справедливим лише для хвойних порід, але не розповсюджується на усі породи дерев.

*На відбивну спроможність рослинності великий вплив мають географічні умови. Рослини суворого клімату характеризуються більш низькою відбивною спроможністю, ніж рослини помірною клімату.*

Відбувається зменшення коефіцієнтів яскравості при збільшенні висоти зростання. Зменшення яскравості відбувається з довжини хвилі 540 нм. *В інфрачервоній області спостерігається сильна тенденція до зменшення відбивання зі збільшенням абсолютної висоти.*

Навесні і влітку перший невеликий максимум яскравості у видимій області спектра спостерігається у зоні променів. Осіннє пожовтіння і почервоніння листя різко збільшує відбивну спроможність порід, і максимум кривої спектральної яскравості змі-

щується в область рожево-червоних променів. В той же час висока яскравість в інфрачервоній області зберігається практично такою високою, як і для зеленого листа.

З метою вивчення впливу умов освітленості різних частин крон дерев на їх відбивну спроможність були зроблені виміри хвої і листя, що було взяте з різних частин крон, а також зміни яскравості верхнього (світлого) і нижнього (тіньового) боку листя. Хвоя з нижніх частин крон, а також північної експозиції має велику яскравість, тобто відбиває більше світлових променів і для ока є більш млявою. Найбільші відмінності спостерігаються у листяних порід.

Кольоровий тон хвої і листя з верхньої, нижньої і північної частин крони залишається таким же, а змінюється лише їх яскравість.

Аналіз хвої вказує на залежність між освітленістю, аналітичною будовою і вмістом хлорофілу.

Оптичні властивості хлорофілу багато в чому залежать від температури зовнішнього середовища, причому ці зміни можуть відбуватися доволі швидко.

Величина приросту стовбурової деревини змінюється в залежності від коефіцієнта використання поглиненої фотосинтетичної активної радіації (в межах 400-720нм).

Спектральна яскравість листя змінюється в залежності від умов зростання. Зі збільшенням вологості ґрунтів відбувається падіння коефіцієнтів яскравості в інфрачервоних променях. У видимій області спектра зміни незначні і визначаюча закономірність ясно не простежується.

Морфологічні особливості листя і їх анатомічна будова в умовах підвищеного засолення змінюються. Зі збільшенням ступеня засолення ґрунтів спектральна яскравість листя збільшується. Особливо впливає вміст хлору. А збільшення дози фосфору в добривній суміші викликає помітне зменшення відбивання і пропускання світлової енергії, збільшується її поглинання. Зі зменшенням вологості ґрунтів збільшується яскравість рослин.

Падіння яскравості рослин в інфрачервоних променях відбувається під впливом різних пошкоджень (пожеж та грибкових

хвороб) через порушення обміну речовин, руйнацію хлорофілу і зневоднення листя.

На світловому боці листя концентрація зерен хлорофілу в декілька разів вища, ніж на тіньовій, а значить і насиченість зеленого кольору і поглинання світлових променів також буде вища зі світлового боку листя.

В усіх породах дерев і об'єктів, що вкриті живою рослинністю (луки, вирубки тощо), криві спектральної яскравості мають виражений максимум в зеленій області ( $\lambda=520-570$  нм), мінімум – в червоних променях, в зоні поглинання хлорофілу ( $\lambda=650-680$  нм), різкий підйом і високу яскравість – в інфрачервоній області спектру.

Відбивна спроможність деревних порід зазнає значних змін за сезонами року, в залежності від їх фенологічного стану. Навесні найбільші значення коефіцієнтів яскравості у видимій області спектру спостерігаються у молодого листя і хвої порід дерев – найменше у хвої старої.

## **Дистанційне дослідження забруднення рослинності важкими металами**

Дослідження залежності між концентрацією важких металів у ґрунті, рослині і зовнішнім виглядом рослинності почалися досить давно і проводилися з метою визначення родовищ корисних копалин. **Ще в 1588 році Таліус схарактеризував мінцарцію як рослину-індикатор металів.** Джугель у 1772 році ідентифікував смуги ялівця, вишні, верби уздовж жил важких металів.

За певних умов (залежно від концентрації важких металів, видів рослинності, хімічних особливостей ґрунтів та ін.) виявляються так звані геоботанічні аномалії. Вони можуть бути виражені по-різному:

- аномальним розподілом видів і (або) рослинних співтовариств;
- затримкою росту і (або) зменшенням рослинного покриву;

- зміною пігментних комплексів у листі і (або) фізіологічних процесів, що призводять до жовтих плям на поверхні листя (хлорозис) і до зміни транспірації;
- аномальним фенологічним циклом, що призводить до раннього старіння листя і раннього листопаду восени, зміни періоду цвітіння і (або) пізнього розпускання листя навесні;
- аномальними розмірами і кольором насіння, плодів, власне рослин;
- аномальною скрученістю і (або) крихкістю гілок, більш слабким розвитком листя;
- природними без лісовими ділянками з карликовою рослинністю на периферії.

Зараз невідомий повний механізм впливу металу або комплексу металів на розвиток рослин. Скоріше за все, високі концентрації цих елементів або їхніх комплексів у ґрунті якимось чином впливають на нормальну асиміляцію й утилізацію внутрішніх поживних речовин.

Супутникові дослідження та дослідження з літака для картографування біологічних і геохімічних аномалій розвиваються протягом останніх 20 років. Проривом у цій області слід вважати роботи Коллінза і співробітників. Використовуючи унікальний 500-канальний спектро радіометр «Марк-1», що реєструє випромінювання в області 450-1000 нм з шириною смуги пропускання 1,4 нм, вони показали, що викликаний металами стрес рослин (дослідження проводилися над хвойними лісами, що склалися в основному з ялини і сосни) призводить до зсуву червоного краю спектра у бік більш коротких довжин хвиль приблизно на 10-20 нм. Цей зсув був названий «блакитним» зсувом. Дослідження кукурудзи, пшениці, сорго в період переходу від вегетативного росту до репродуктивного (колосіння і цвітіння) виявили «червоний» зсув такого ж порядку. У результаті досліджень Коллінза й інших було встановлено, що явище «блакитного» зсуву спостерігається у спектрах відбитку хвойних дерев в інтервалі довжин хвиль 710-740 нм під впливом важких металів, що містяться в ґрунтах.

Субсинхронні наземні роботи з відбору проб рослин і ґрунтів і дистанційні спектроскопічні прецизійні зйомки у видимому діапазоні були виконані Інститутом геологічних наук АН України на сільськогосподарських угіддях північної частини степової зони України на території Дніпровського міжгалузевого аероко-смічного полігону контролю стану навколишнього середовища. На ділянці, умовно названій Павлоградською, на п'ятьох профілях загальною протяжністю 123 км були проведені наземні літо-і біогеохімічні випробування із середнім кроком спостережень 250 м і маршрутне аероспектроскопічне знімання, що виконувалося надир спектрометром СКИФ-М, встановленому на літаку АН-2. Середня швидкість польоту 41,7 м/с на висоті 150 м. Час зняття одного спектру 0,25 с на площі візування близько 2,5\*10,5 м, орієнтованій уздовж лінії маршруту.

Площа робіт характеризується рівнинним степовим рельєфом, слабкою залісеністю, витриманістю складу ґрунтового покриву на значних площах. Техногенний вплив на площу робіт здійснюється промисловими підприємствами міста Павлоград і його комунальними стічними водами, численними вугільними шахтами, розвіюванням териконів, фільтрацією шахтних вод з відстійників, гірничо-збагачувальним комбінатом, а також у результаті інтенсивного сільськогосподарського впливу (агрохімікатами, тваринницькими комплексами, штучним зрошенням). На площі робіт знаходяться ділянки просідання поверхні над шахтними полями і ділянками підтоплення сільськогосподарських угідь. Територія вкрита густою мережею автомобільних і залізничних шляхів.

#### **Методика досліджень була такою:**

- ✓ спочатку прокладалися опорні маршрути на землі;
  - ✓ на них визначалися точки відбору проб рослинності і ґрунтів;
  - ✓ далі проби оброблялися для визначення концентрацій важких металів у золі рослин;
  - ✓ маршрути літака прокладалися за наземними.
- Наземне дослідження проводилося практично синхронно з проведенням аероспостережень (із розривом не більше 2-3

години). Забезпечувалося максимально можливе суміщення маршрутів, точок наземних і аероспостережень;

✓ маршрути спостережень проходили над посівами таких поширених сільськогосподарських культур, як пшениця, ячмінь, лукові трави, озима пшениця. Результати спостережень показали наявність **явища «блакитного» зсуву в інтервалі довжин хвиль 680-730 нм у спектрах відбивання сільськогосподарських культур з інтенсивним вмістом у них важких металів.** У період проведення дослідження кукурудза знаходилася в стадії росту 10-12 листків, ячмінь – у стадії колосіння, лукові трави – у стадії цвітіння, озима пшениця – у стадії молочної сплості, яка супроводжується масовим пожовтінням листя, колосів і зменшенням вмісту хлорофілу, у зв'язку з чим, характерний для неї в попередніх стадіях розвитку *аналогічний «блакитний» зсув у спектрі відбивання хлорофілу в даному експерименті не спостерігався.*

Таким чином, зараз можна вважати встановленим факт впливу важких металів на спектри відбивання озимої пшениці, кукурудзи, ячменю і лукових трав у період до настання їхньої стиглості, що може бути основою для дистанційного визначення зараженості сільськогосподарських угідь важкими металами на площах вирощування цих культур.

**Величина «блакитного» зсуву залежить від концентрації важких металів.** Це було встановлено під час описаного вище експерименту. За допомогою регресійного аналізу були отримані криві залежності, що пов'язують значення  $\Delta\lambda$  із сумарним вмістом важких металів для різних видів рослин. На графіку показана типова залежність «блакитного» зсуву в спектрі відбивання рослин від вмісту в них суми важких металів.

Відповідно до цього графіка, «блакитний» зсув у спектрі відбивання рослини тим більший, чим більше важких металів міститься у рослині і (або) ґрунті.

Дані залежності, отримані в ході експерименту на Дніпров-

ському полігоні, були використані для оцінки сумарного вмісту важких металів за розрахованими значеннями  $\Delta\lambda$ . Отримані розрахунки можна використати для побудови схем забруднення рослинності важкими металами, тобто виділення районів різної інтенсивності забруднення.

Сукупність отриманих результатів проведених на Дніпровському полігоні робіт дозволяє розробити схему інтерпретації площинних аероспектрометричних і опорних наземних біогеохімічних даних для визначення інтегрального забруднення сільськогосподарських культур важкими металами.

Негативні наслідки порушень циклу азоту, викликаних господарською діяльністю людини, включають забруднення нітратами рослин, ґрунтів, підземних вод і продуктів харчування. Зараз одним з важливих показників стану сільськогосподарських посівів є вміст в них нітратів. Надмірне внесення азотних добрив на сільськогосподарські угіддя призводить до накопичення нітратів у рослинах, яке перевищує ГДК за санітарними нормами. *Розроблені оперативні дистанційні методи діагностики насиченості рослин нітратами дозволяють оптимізувати підкормку рослин азотними добривами, виявити ділянки, де рослини містять надлишкову кількість нітратів, тобто піддаються нітратному забрудненню.*

Дослідження в цій області розвиваються в основному в таких напрямках: **вивчення просторової і часової мінливості вмісту нітратів і його зв'язків з іншими параметрами рослин; обґрунтування дистанційних ознак виявлення нітратів і технічних можливостей дистанційного зондування визначення цього параметру.** Подібні експериментальні дослідження проводилися в Україні співробітниками ІГН АН України в липні 1989 року на Обухівському зрошуваному масиві (Київська область). Дистанційна зйомка проводилася за допомогою спектрометричної системи СКИФ (конструкція Інституту Фізики АН Республіки Білорусь) з літака АН-2 (висота польоту 150м, швидкість 41,7м/с) з 10 до 15 годин за місцевим часом. В ході експерименту проводилась реєстрація оптичних характеристик рослинності (коефіцієнта спектральної яскравості (КСЯ), коефіцієнта пропускання, поляризація світла, відношення

КСЯ при різних довжинах хвиль у різних діапазонах), пов'язаних із мінливим досліджуваним параметром, зокрема концентрацією нітратів.

Спектрограми рослинності мають складну структуру: для кожної культури є свої мінімуми, максимуми, точки перегину в залежності від вигляду культури, фенофази, ступеня пригніченості рослини. Для виявлення цих «тонких» ефектів необхідна радіометрична апаратура з високим спектральним дозволом (4-5нм).

Така ж високоточна спектрометрична апаратура для зйомки необхідна для вирішення задачі пошуку і розробки тестових характеристик для дистанційного визначення вмісту нітратів у рослинах.

В ході проведених експериментів в інтервалі довжин хвиль 500-600нм була виявлена зворотна залежність КСА від вмісту нітратів у рослинах у другу фазу їхнього вегетаційного розвитку.

Зі спектрограм, отриманих в результаті проведення дистанційної спектрометричної зйомки у видимому діапазоні, знімалися значення інтенсивності відбитої радіації ( $E$ ) при  $\lambda=550\text{нм}$ , тому що на цьому каналі отримується інформація, яка відображає вміст хлорофілу, який у свою чергу в другій фазі вегетації рослин залежить від забезпеченості рослин азотним живленням. Попередньо проводилося нормування спектру відносно інтенсивності відбитої радіації при  $\lambda=394-433\text{нм}$ . У результаті були отримані значення інтенсивності відбитої радіації ( $E_{\text{пр}}$ ) при  $\lambda=550\text{нм}$ .

Паралельно з проведенням дистанційної зйомки уздовж маршруту були відібрані проби листя рослин для лабораторного визначення вмісту нітратів у лабораторії Інституту фізіології рослин і генетики АН України. У таблиці 14 подані матеріали по кукурудзі. Оброблені дані підтверджують зворотню залежність приведеної інтенсивності відбитої радіації і логарифмів концентрації нітратів у листі кукурудзи.

Таким чином, прослідкувавши динаміку вмісту хлорофілу і нітратів у листі рослин, характер і тісноту зв'язків між цими параметрами в різні періоди вегетації, відібравши зразки рослинності з польових ділянок з різним вмістом нітратів і відзнявши



спектральні характеристики цієї рослинності, складають калібрувальну залежність  $KСЯ_{550nm} = f(C_{NO_3})$ , де  $KСЯ_{550nm}$  – коефіцієнт спектральної яскравості даного зразка (у польових умовах), для якого визначений вміст нітратів у рослинній частині. Далі виконується спектрометрична зйомка всієї контрольованої площі сільськогосподарських угідь і за ступенем зменшення  $KСЯ_{550nm}$  рослин у порівнянні  $KСЯ_{550nm}$  фонові ділянки рослинності, що містить нормальну (припустиму) кількість нітратів, будуються ізолінії (або інтервали) зміни  $KСЯ_{550nm}$ , що відповідають вмісту нітратів у рослинах, який поступово збільшується.

*Одержання кореляційних залежностей між спектральними параметрами і вмістом нітратів для різних рослин дозволить у майбутньому дистанційно визначити забруднення сільськогосподарських культур нітратами. Ділянки подібного зараження рослин також непрямо вказують на нітратну зараженість у їхніх межах ґрунтових розчинів, а, отже, у перспективі (якщо не припинити або не зменшити азотну підкормку угідь) вони можуть стати шляхами переносу зазначених токсикантів у підземні і поверхневі води.*

Таблиця 14

**Залежність спектральних характеристик листя кукурудзи від вмісту в них нітратів (при  $\lambda=550nm$ )**

<b>N відбору проб на профілі</b>	<b>Умовний коефіцієнт яскравості, <math>E_{сп.}</math></b>	<b><math>Ig C_{NO_3^-}</math>, мг/кг вологої речовини</b>
47	18,7	2,25
49	1,87	2,58
41	18,8	1,87
44	19,0	2,16
46	19,1	2,25
43	19,5	2,30
48	19,6	1,87
45	21,4	2,16
42	21,6	1,83
<b>Продовження таблиці 14</b>		
40	24,0	1,66

## Дешифрування аерокосмознімків лісів

При дешифруванні аерознімків лісів виникає необхідність отримання тих же характеристик насаджень, які зазвичай визначаються при наземній таксації, тобто треба визначити склад, вік, бонітет, тип лісу, повноту, середню висоту, діаметр і запас насаджень.

## Дешифрування видового складу насаджень

Дешифрування складу насаджень на аерознімках, як і інших таксаційних показників, здійснюється за фотозображенням деревостоїв. З цією метою використовують як прямі, так і непрямі ознаки дешифрування.

Стосовно дешифрування насаджень, використання дешифрувальних ознак повинне проводитися з урахуванням природних умов району, біологічних особливостей порід дерев, фенологічного стану насаджень, спектральної відбивної спроможності порід, типу аероплівки і світлофільтру, масштабу зйомки і місцезоташування ділянки на аерознімку (центр, край).

Значно краще, ніж на чорно-білих аерознімках, склад насаджень визначається на інфрахроматичних аерознімках. У силу підвищеної диференціації відбивної спроможності деревинних порід у інфрачервоній області спектра тон зображення стає головною дешифрувальною ознакою. Недоліками інфрахроматичних аерознімків є дуже щільні чорні тіні і чітка робота плівки: відсутні напівтони, що обумовлює підвищену чутливість плівки до падіння освітленості кадру.

Найкращі дешифрувальні властивості мають спектрзональні кольорові аерознімки на плівці СН-2. Ця двошарова плівка реагує на світлові промені обох областей спектра – видимої та інфрачервоної.

## Дешифрування віку, бонітету і типів лісів

Дешифрування віку, бонітету і типів лісу повинно проводитися комплексно, тому, що ці характеристики найбільш тісно пов'язані між собою.

При дешифруванні використовують прямі і непрямі ознаки. *Основними ознаками, що характеризують вік, бонітет і тип лісу, є форми і розміри крон, стереоскопічна висота дерев, варіювання розмірів крон і висоти, а також тон зображення проєкцій крон і щільність тіней.*

До непрямих ознак належать закономірності зв'язків між лісом і середовищем – рельєфом, гідрологічними умовами і ґрунтами.

Тип лісу, окрім даних про переважаючу породу, характеризує умови росту і тісно пов'язаний з бонітетом. Дешифрування лісів повинно починатися з визначення рельєфу, гідрографічної мережі, боліт, сільськогосподарських угідь і особливостей видового складу насаджень.

## **Дешифрування повноти насаджень**

Визначення повноти насаджень в наземних умовах в принципі ґрунтоване на вимірі площі поперечних перетинів стовбурів дерев на висоті грудей.

Для вираження повноти у відносних величинах площу перетину стовбурів на висоті грудей даного деревостою відносять до площі перетину нормального насадження, прийнятого за одиницю. Так визначається повнота на пробних площах, де здійснюється перерахунок усіх дерев з виміром діаметрів стовбурів.

При дешифруванні повноти насаджень за аерознімками є можливість *використати два чинники – густоту стояння дерев і зімкнутість крон, які відображаються на знімках.*

При визначенні повноти насаджень аерознімки досить корисні тим, що дають можливість бачити ділянку в цілому, чим виключають грубі помилки.

## **Визначення середніх висот і діаметрів стовбурів**

Середня висота деревостою в цілому і його елементів є одним з основних таксаційних показників. Від точності її визначення залежить точність встановлення запасу деревини на одиницю площі, тому що вихідним елементом у таблиці запасів є висота. Крім того, від неї залежить виявлення класу бонітету і типу лісів.

*Для визначення висот дерев і деревостоїв існує декілька способів:*

- Основний спосіб базується на стереоскопічному вимірі різниці повздовжних паралаксів дерев з подальшим вирахуванням висот за формулою.
- Окомірно – стереоскопічний спосіб базується на окомірному визначенні стереоскопічної висоти деревостоїв з подальшим множенням на вертикальний масштаб зображення.
- За довжиною тіні. Спосіб простий і дає досить задовільну точність ( $b = \pm 7 \div 8\%$ ), але має обмежене застосування. Він придатний для окремо стоячих дерев і стін лісу у вирубках на рівній місцевості.
- Визначення висот дерев за величиною паралактичного зміщення верхівок дерев відносно їх основ (викривлення за рельєфом). Спосіб ґрунтується на використанні відомої формули  $b_r = \frac{h \times r}{H_0}$ , звідки  $h = \frac{b_r H_0}{r}$ . Для виміру величини  $b_r$  необхідно бачити на аерознімках основу і верхівку дерева. Величина паралактичного зміщення ( $br$ ) загалом мала, тому вимагає порівняно крупно масштабних аерознімків масштабу 1:7000 і крупніше, бажано отриманих широко кутовими АФА.
- Визначення середньої висоти деревостою через виміри діаметрів крон дерев. Між діаметрами крон дерев і висотами дерев існує кореляційний зв'язок, який дозволяє визначити середню висоту деревостою. Спосіб має меншу точність, ніж спосіб стерео вимірювань. Перевагою способу є незалежність від проглядання земної поверхні, що є необхідним в усіх попередніх методах, тому він може використовуватися в густих деревостоях, з відсутністю проглядання землі на великій площі.

## Удосконалення методів таксаційного дешифрування аерознімків

Цікаві пропозиції з удосконалення методів таксаційного дешифрування аерознімків вніс Зайченко Л.П. (1984р.). Автор показує, що в результаті проведених дослідів високу точність показали дешифрування методом еталонів (помилка за середньою висотою дерев 4-5%, за діаметром 5-9%, за повнотою – 0,005%, за запасом – 6-10%), прийнятну точність – метод математичних моделей насаджень (помилка за діаметром 11-12%) і низьку точність – кореляційні зв'язки (помилка за діаметром 14-24%). Високу точність еталонів забезпечує корегування результатів дешифрування розробленим у Красноярську «релатопічним» засобом.

Після введення високоточних прийомів дешифрування почали гостро відчуватися методичні помилки за рахунок великомасштабності, повноти і великого варіювання числа стовбурів в нижній частині пологую насаджень. Для уникнення цих перешкод автор пропонує показник «щільність» (єдину для всіх порід «метрологічну» повноту) і розподіл деревостою на основну і пригнічену частини.

Для лісовпорядкування запропонована методика таксації лісового і лісосічного фондів на основі дешифрування спектральних аерознімків М 1:15000. Ця методика передбачає:

**А.** Вивчення зв'язків лісової рослинності з компонентами ландшафту;

**В.** Поділ території кожної таксаційної ділянки на ландшафтно-історичні блоки (ЛІБ) – первинні таксаційні райони, всередині яких насадження вивчають як цілісність у лісорослинному та історичному відношенні. Аналоги ЛІБ – урочища і місцевості, на яких насадження мають однакову історію росту. За умови значного антропогенного впливу на ліс замість ЛІБ виділяють «генералізовані» виділи (ГВ);

**С.** В ЛІБ або ГВ здійснюють вибірково – перерахувальну таксацію фонових насаджень на протилежних і серединних формах мезорельєфу з розрахунку 2-4 вимірвальних пункти

таксації (ВПТ), що мають низьку, високу і середню повноту, на одну стереопару. ВПТ використовують як повні еталони і за ними складають математичні моделі насаджень з указанням середніх і крайніх таксаційних показників на групу форм мезорельєфу. Малопредставлені насадження (включення) таксують індивідуально;

**Д.** При окомірній таксації здійснюють закладку часткових еталонів, на яких визначають тільки середній вік, висоту, діаметр і товарність елементів лісу по кодовій лінії (3-4км на 1тис.га);

**Е.** Таксаційне дешифрування видів окомірно-стереоскопічне – з порівнянням повноти, складу середньої висоти порід з еталонами і з релатопічним корегуванням, проставленням значень не фізіономічних таксаційних показників по еталонам або математичним моделям з врахуванням бонітету і запасів за таблицями;

**Ф.** Здійснюють таксацію лісосічного фонду з меншими лісоексплуатаційними виділами, у складних випадках – з окомірною таксацією за периметром лісосік, більш ретельним релатопічним корегуванням, що проводиться в особливо складних випадках у дві руки;

**Г.** Контроль і приймання таксаційно-дешифрувальних робіт на одній-двох стерео парах в кожному ЛІБ, з контролем в лісі виділів, які мають неприпустимі відхилення.

## **2.6 АЕРОКОСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ДИНАМІКИ ЕКОСИСТЕМ**

Аерокосмічні методи виявлення динаміки екосистем є одним з основних розділів екологічного моніторингу, оскільки тільки вони можуть забезпечити швидке і просторове (глобальне, регіональне, локальне) картографічне подання даних про швидкість і розповсюдження сучасних, особливо антропогенних, змін у просторі між наземними станціями моніторингу.

Індикаторами динаміки є різноманітні ознаки екосистем, які з певною достовірністю вказують на зміни в часі їхнього складу

і структури. В рамках аерокосмічного моніторингу екосистем це дешифрувальні ознаки, що встановлюються на еталонних ключових ділянках і екстраполюються в межах ландшафтів – аналогів.

Наземними динамічними індикаторами є ознаки зміни екосистем шляхом безпосередніх вимірів за повторними знімками однієї і тієї ж території з інтервалами часу, суттєвими для виявлення їх динаміки. Вони дають кількісні оцінки динаміки екосистем. Індикатори динаміки за формою зв'язку з процесом поділяються на три групи:

- **Прямі індикатори.** Характеризують сутність процесу. Це, як правило, динамічні індикатори за знінками різних років.
- **Непрямі індикатори.** Показують причини або наслідки динаміки за знінками одного терміну рейду.
- **Логічні індикатори динаміки.** Виявляються за допомогою різного роду еколого-динамічних рядів, концепції клімаксу, а також встановлюються за знінками одного терміну рейду.

Екологічний прогноз здійснюється різними методами, і лише використання всіх методів дасть достатньо надійні результати. Розрізняють декілька **методів екологічного прогнозу** – *популяційний, балансовий, натурної подібності, моделювання, індикаційний, транспонування, екстраполяційний* та ін.

Деякі з них, такі, як індикаційний, краще реалізуються за аеро- і космічними знінками, як одночасовими, так і повторними. Інші, такі, як популяційний або балансовий, – гірше. Не всі з цих методів дають кількісні характеристики динаміки і прогнози на певну дату. Методи якісного прогнозу, такі, як індикаційний або транспонування екологічних рядів, дають досить невизначені прогнози, які не можна прив'язати до певної дати. Методи кількісного прогнозу, такі, як популяційний, екстраполяційний, матричний, більш трудомісткі, але дають базові прогнози на певні дати.

## **Засоби аерокосмічного моніторингу екосистем**

Основним напрямком розвитку аерокосмічних засобів спостереження природного середовища є використання реєстрацій відбивання світла і власного випромінювання Землі в різних спектральних інтервалах: візуальні спостереження (0,40-0,64мкм), фотографування (0,40-0,92мкм), спектрофотометрування (0,40-2,5мкм), телевізійна зйомка (0,45-0,75мкм), теплова ІЧ зйомка (2,6-5,5 і 8,0-14мкм), багатоспектральна зйомка (0,32-12,5мкм), мікрохвильова зйомка (0,3см і більше), а також активні методи локації.

### *Фотографування*

Фотографування дає найдетальнішу інформацію про просторову структуру земної поверхні. Техніка аерофотознімання істотно не змінюється, і значний інтерес має космічне фотографування. Фотозйомки з пілотованих орбітальних станцій (ПОС) здійснюються ручними або стаціонарними картографічними камерами. Знімки з ПОС досягли розрішення 10-40 м. Головна перевага космічних знімків перед звичайною аерофотозйомкою в їхній оглядовості і генералізації, а не в деталізації зображення природних утворень. Задачі детального дослідження природи вирішуються звичайним аерофотозніманням у широкому діапазоні масштабів від 1:1000 до 1:150000 з розрішаючою здатністю від 3 см до 4 м і покриттям від 0,04 до 500 км<sup>2</sup>. Відповідно до існуючих міжнародних норм, вважається припустимою глобальна космічна зйомка стану природного середовища із розрішаючою здатністю не більше 16-30 м, що відповідає масштабу фотографування 1:4000000 - 1:8000000 при розрішаючій спроможності 0,035мм. Оптимальною розрішаючою здатністю космічного фотографування є 30-100м, що відповідає оригінальному масштабу негатива близько 1:1000000-1:3000000. Задовільні також космічні фотозйомки з розрішаючою здатністю до 100 м у масштабі 1:3000000.

Аерофотознімання обслуговує картографування у великих і середніх, так званих «знімальних» масштабах 1:10000-1:300000. Космічні фотографії – чорно-білі на панхроматичній плівці, кольорові в природних і спектрально-зональних умовних кольорах – є основою середньо- і дрібномасштабного тематичного картогра-



фування. Вони використовуються головним чином для контурного дешифрування, виділення природних утворень, відстежування їхніх меж, вивчення внутрішньої структури і картографування природних і трансформованих екосистем на рівнях мезо-, макро- і мегахор у масштабах 1:300000 - 1:3000000.

**На космічних фотографіях** також видно детальну морфоструктуру антропогенних впливів з відображенням співвідношень різних генетичних типів антропогенних трансформацій з детальністю 5-10% площі в ансамблі. Однак, незважаючи на достатню просторову розрішаючи здатність і успішне контурне дешифрування, імовірності розпізнавання складу екосистем за космічними фотографіями можуть варіювати головним чином у межах 0,6-0,9, що не може цілком задовольнити вимоги практичного використання.

#### ***Багатозональне фотографування***

Значно підвищує достовірність розпізнавання складу екосистем багатозональне фотографування, тобто синхронне фотографування тієї ж ділянки багатооб'єктивною фотокамерою з різними комбінаціями фотоплівок і світлофільтрів.

Застосування багатозональних фотографій з оптимальним поєднанням зон чутливості підвищує імовірність правильного розпізнавання складу екосистем при локальній екстраполяції дешифрувальних ознак до 0,80-0,95, що в більшості випадків задовольняє вимогам наукового і практичного використання космічних знімків.

Так, при аналізі шести зональних зображень, отриманих камерою МКФ-6, виділили ряд оптимальних поєднань зон для вивчення тих або інших природних об'єктів.

Послідовне використання багатозональних фотографій дозволяє деталізувати фітоценохори за космічними знімками.

#### ***Спектрофотометрування***

Вимір відбивної спроможності природних і антропогенних утворень здійснюється наземно і з літаків. Перше успішне космічне спектрофотометрування, проведене в 1970р. з ПКК «Союз-9» В.І.Севастьяновим, дозволило вперше класифікувати основні типи природних утворень за спектрами, що виміряні за межами земної атмосфери (табл. 15).

**Оптимальні поєднання спектральних інтервалів МКФ-6 для вивчення природних і антропогенних систем**

Об'єкти розпізнавання	Спектральний інтервал, мкм					
	0,46-0,50	0,52-0,56	0,58-0,62	0,64-0,68	0,68-0,78	0,78-0,88
густа рослинність у період вегетації		+		+		+
сухі ґрунти без рослинності	+		+	+		
вологі ґрунти без рослинності				+		+
забруднення акваторії	+	+	+	+		+
забруднення повітря		+		+	+	
суха рослинність	+	+		+		+
населені пункти	+			+		+

За космічними спектрами характеризуються усі основні типи природних утворень, що описані наземно. Спектри відбивання екосистем диференціюються за інтегральним складом екобіоформ рослинних співтовариств. Космічне спектрофотометрування враховує оптичну неоднорідність ділянки. У результаті інтегральний коефіцієнт спектральної яскравості, виміряний із космосу, для більшості екосистем (за винятком гірських снігів) вищий, ніж виміряний на земній поверхні.

Незважаючи на значні труднощі в інтерпретації космічних спектрів, вони мали велике значення в теоретичних дослідженнях спектральної передавальної функції атмосфери, закономірностей оптичної генералізації і вибору оптимальних спектральних інтервалів, а також у практичних дослідженнях: виявлення атмосферних забруднень, моніторинг вмісту хлорофілу в морській воді і т.п.

*Телевізійна зйомка*

Телевізійна зйомка (ТВ) здійснювалася з метеорологічних ШЗС у спектральному інтервалі 0,5-0,75 мкм з розрішаючою здатністю 1-3 км. Після 1974р. для одержання ТВ-зображення використовувалась удосконалена камера середньої розрішаючої здатності 0,3-0,6 км, що дозволяло стандартизувати виміри й одержувати кількісні дані про оптичні характеристики земної поверхні. ТВ знімки надходять щодня з сонячно-синхронних ШЗС у визначений місцевий час у ранкові години; з геостаціонарних ШЗС ТВ - зображення можна одержувати і частіше – в інтервалі 40 хвилин.

ТВ-зйомка найбільш перспективна для спостереження швидкоплинних природних явищ. Для спостереження за сніговим покривом використовуються зйомки з регулярністю 1 раз на 5 днів. Вологість ґрунту в період весняного просихання відстежується також 1 раз на 5 днів, в інші сезони – 1раз на 10-15 днів. Зміна вегетації рослинності пасовищ і сільськогосподарських культур реєструється з інтервалом до 10-15 днів. Деякі катастрофічні ситуації: повені, урагани, пожежі – вимагають і більш частих зйомок - щоденних.

**Особливо цікавий феномен ТВ-зйомки з космосу – пилові бурі і скупчення літометеорів в атмосфері.** За ТВ-знімками виявляється місце виникнення, простежується область поширення і напрямок переносу, концентрація пилу в атмосфері, швидкості переміщення і добові ритми.

#### *Інфрачервона зйомка*

ІЧ зйомка проводиться з літаків і супутників у першому  $\lambda=3,4-5,6$  мкм і в другому  $\lambda=8,0-12,5$  мкм вікні прозорості атмосфери.

**ІЧ зйомка дає просторово-часовий розподіл радіаційних температур системи Земля-атмосфера.** Після урахування впливу атмосфери, радіаційні температури, що вимірюються з ШЗС 2 рази на добу, можуть бути використані для вивчення багатьох параметрів екосистем: їх радіаційних полів, частотно-просторових, частотно-часових характеристик. Ці радіаційні характеристики враховують більшість властивостей екосистем, таких як наприклад, вегетативний стан рослинності, її водозабезпеченість, фенологічні зміни, стан ґрунту, його вологість, температуру, теплоємність, експозицію і рельєф. Стресові стани ро-

слинності, пов'язані з недостатньою кількістю вологи і надлишком солей у ґрунті, захворюваннями, ураженнями комахами, відрізняються більш «теплыми» тонами. Вологі ґрунти, виходи ґрунтових вод, навпаки, відрізняються «холодними» тонами.

Радіаційні виміри показують вплив діяльності людини на екосистеми: розорення ґрунтів улітку зменшує альbedo екосистем на 6-10% і збільшує їхні радіаційні температури на 2-4°C. Урбанізовані і промислові системи розрізняються протягом усього року, особливо сильно в зимово-весняний час, високими позитивними аномаліями радіаційних температур на 6-8°C. Сильно збиті пасовища і позбавлені рослинності піски, навпаки, дають більш високе альbedo - на 6-12% вище у порівнянні з закріпленими пісками, але більш низькі радіаційні температури на 2-4°C нижчі, що особливо помітно у весняно-літній час.

### ***Багатоспектральна зйомка***

Багатоспектральна зйомка, тобто зйомка в багатьох вузьких спектральних інтервалах за допомогою ФЕУ, світлофільтрів і сканерів як з літаків, так і з КЛА. Багатоспектральна зйомка здійснюється з метеорологічних ШЗС з висоти близько 900 км з нахилом орбіти 81,2° у чотирьох спектральних інтервалах  $\lambda=0,5-0,6$ ;  $0,6-0,7$ ;  $0,7-0,8$ ;  $0,8-1,1$  мкм ширококутовою камерою щоденно з малою просторовою розрішаючою спроможністю 0,9-1,2 км шириною сканування 2500 км і середньо-кутовою камерою із середньою розрішаючою спроможністю 0,3-0,4 км і шириною сканування 500 км. Проводиться багатоспектральна зйомка з ШЗС для вивчення природних ресурсів Землі з висоти близько 900 км і нахилом орбіти 99,1° із просторовою розрішаючою спроможністю зображення 70-100 м, шириною сканування 185 км у тих же 4-х спектральних інтервалах із частотою зйомки 1 раз на 18 днів.

Крім того, багатоспектральна зйомка здійснюється з ПОС у 13 спектральних інтервалах, з яких одночасно знімалася інформація лише у будь-яких 4-х обраних інтервалах.

Багатоспектральна зйомка особливо перспективна для вивчення сільськогосподарських угідь і посівів.

### ***Мікрохвильова зйомка***

Мікрохвильова зйомка, тобто реєстрація пасивного радіотеплового випромінювання Землі в діапазоні 0,3-30 см, проводиться в експериментальному порядку з ШЗС (такими як «Метеор», «Nimbus») і з ПОС (наприклад «Skylab»).

Основна перевага мікрохвильової зйомки полягає в тому, що в усіх діапазонах (крім діапазону близько 3,5 см) коефіцієнт пропускання атмосфери складає 0,7-1,0. У спектральних діапазонах Q (0,60-0,91см), X (2,42-3,66см), S (7,60-11,53см) помилка у визначенні радіояскравої температури ( $T_v$ ) суші, викликана наявністю хмарності і водяної пари, не перевищує 1-2°K.

При аналізі екосистем Північної Африки за даними з ШЗС «Nimbus-5» було показано, що за радіотепловим випромінюванням розрізняються основні типи рослинності й екологічні типи пустель і саван, різного роду гідротермічні аномалії. Крім того, зміни радіояскравості температури виявили засолення ґрунту і літологічні неоднорідності відкритих ґрунтів.

#### *Активна локація*

Активна зйомка, тобто *радарна, лідарна, лазерна* і т.п., проводиться винятково з літаків, тому що ще важкодоступні для космічної зйомки через великі енергетичні витрати. Проте їхнє використання відкриває великі перспективи через їх високу просторову розрішачу спроможність, незалежно від стану атмосфери, спектральної вибіркової, глибини взаємодії з екраном і т. і.

Радіолокаційні зйомки використовуються в діапазонах Q ( $\lambda=0,8\text{см}$ ) і X ( $\lambda=3\text{см}$ ). На радіолокаційних знімках екосистеми, як природні, так і культурні, розрізняються за параметром відбитого сигналу  $\gamma$ : горизонтальною  $\gamma_{\text{ГГ}}$ , вертикальною  $\gamma_{\text{ВВ}}$  і поперечною  $\gamma_{\text{ПП}}$  поляризацією. Радіолокаційні зображення реєструють геометрію відбиваючої поверхні. Тому що всі культурні впливи і всі штучні споруди відрізняються саме специфічною геометрією внутрішньої структури і зовнішнього малюнка, на радарних знімках вони дешифруються в першу чергу. Відбивний сигнал сильно зростає при порушенні рослинності: після скошування травостою, рубки лісу.

Другою ознакою текстур є їхня регулярність орієнтації. Це приводить до того, що при однакових величинах  $\gamma$  на культурних екосистемах різниця вертикальної і горизонтальної поляризацій більша порівняно з природними аналогами (ліс, злаковий луг). Великим досягненням радарної зйомки у вивченні трансформованих екосистем і екотехнічних систем є підкреслення структурних меж: часто контури, що не розрізняються за сигналом, на радарному знімку чітко відрізняються за лінією межі, де ехо підсилює будь-які геометричні порушення. Крім наземних екосистем, радарні зйомки перспективні для виявлення антропогенних ефектів на воді, головним чином піни і нафти.

На завершення слід зазначити, що будь-який окремо взятий приймач випромінювання не забезпечує необхідною дистанційною інформацією, лише поєднання приймачів у різних спектральних інтервалах, із різними просторовими розрішаючими здатностями, різною оглядовістю і різною частотою зйомки дає інформацію про природу, що задовольняє вимогам за комплексністю, детальністю і достовірністю.

## Оптичні й радіаційні властивості екосистем

Оптичні і радіаційні властивості екосистем безпосередньо **визначаються в першу чергу рослинним покривом**, а там, де покриття рослинності менше 30-40 %, також і **грунтами**. Рослинність і ґрунти представляють ту фізичну активну поверхню, яка формує відбивання падаючого сонячного світла і власне випромінювання. Оптичні і радіаційні властивості екосистем розглядаються в чотирьох областях спектру. У видимій області спектра відбувається відбивання падаючого сонячного світла в інтервалі довжин хвиль 0,4 – 0,7 мкм. В найближчій інфрачервоній області спектру також відбивається сонячне світло, але у невидимому для людини інтервалі 0,75 – 2,5 мкм. Більш довгохвильова частина спектру формує власне пасивне випромінювання екосистем, і це зображення може бути отримане як у денний, так і у нічний час. Це середня інфрачервона область спектру – 3 – 30 мкм і дальня інфрачервона область спектру – 30 – 300 мкм. Потім іде досить інформативна мікрохвильова область

пасивного радіовипромінювання в інтервалі довжин хвиль 0,3 – 30 см. Однак, не в усіх перерахованих спектральних інтервалах можлива аеро- і космічна зйомка, через те, що атмосфера, в особливості водяна пара і вуглекислий газ, поглинає світло і випромінювання повністю або частково. Так, повністю поглинається атмосферою і виключається з дистанційної індикації дальня інфрачервона область спектру. В інших областях спектру також є багато атмосферних смуг поглинання і аерокосмічне знімання здійснюється у вікнах між ними.

Видима область спектру 0,4 – 0,7 мкм найбільш інформативна як за спектральною, так і за просторовою розрішаючою спроможністю систем. Основні екобіоморфи рослинності і класи типів ґрунтів характеризуються специфічними оптичними властивостями.

Класи біоморф рослинності описують різними кривими коефіцієнта яскравості  $p$  і вимірюються на основних ділянках спектру: синій, зелений, червоний, ближній інфрачервоний.

Криві коефіцієнта спектральної яскравості виміряні в різних географічних зонах для основних типів ґрунтів, їх верхнього генетичного горизонту.

Радіаційні властивості екосистем залежать від спроможності елементів, що їх складають, випромінювати в спектральному інтервалі 3 – 300 мкм. Спроможність випромінювання розраховується за відношенням спектральної щільності енергетичної яскравості досліджуваного елемента до тієї ж характеристики абсолютно чорного тіла, яке повністю поглинає падаючу на нього енергію випромінювання. На основі цього положення всі об'єкти мають радіаційну температуру, яка розраховується за відношенням до цього абсолютно чорного тіла.

Спроможність до випромінювання екосистем в мікрохвильовому діапазоні 0,3 – 30см визначається такими факторами, як діелектрична проникність, розчленованість поверхні, температура і вологість, і вимірюється радіояскравою температурою  $T_e$  у Кельвінах. Контрасти радіояскравої температури зумовлені неоднорідністю коефіцієнтів випромінювання.

## **Дистанційне дослідження екологічного стану болотних ландшафтів як окремих самостійних екосистем**

Справа в тому, що кожен географічний тип **болотного масиву** являє собою **достатньо сформовану екосистему**. В різних природних умовах процес болотоутворення протікає специфічно, в результаті чого виникають болотні масиви, що відрізняються один від одного.

Сучасні аспекти охорони і раціонального використання болотних ландшафтів (БЛ) припускають широке використання комплексу методів наземного і дистанційного зондування території з метою виявлення її ресурсного потенціалу і розробки прогнозу оптимізації природного середовища. Найважливішим питанням у дослідженні інформації про окремі компоненти БЛ і навколишнє природне середовище в цілому є синтез комплексної системи збору й обробки даних, яка об'єднує дистанційні і контактні виміри, одержані в результаті багаторічних досліджень динаміки природних систем, тобто моніторингу.

Комплексний моніторинг природних систем **припускає в якості основних задач:**

- вивчення геосистем шляхом проведення багаторічних спостережень за природними й антропогенними процесами з метою своєчасного виявлення змін стану біосфери і структури конкретних ландшафтів з урахуванням росту антропогенного впливу на навколишнє середовище;
- розробку ландшафтно-екологічного прогнозу раціонального природокористування.

Для вирішення поставлених задач знаходять широке застосування матеріали аерокосмофотоінформації.

Як найважливіший інструментарій здійснення багаторічних спостережень за БЛ застосовуються **радіолокатори** – методи визначення стану окремих характеристик заболочених територій. Зондування здійснюється радіолокатором, встановленим на борту гелікоптера.



Використання методів НВЧ (радіометрії) здійснюється за допомогою активних і пасивних супутникових і датчиків літаків. *Основна проблема, що виникає при цьому, зводиться до виявлення найбільш інформативних довжин хвиль, що дають якісну інформацію про стан досліджуваних ресурсів БЛ.* Одержана радіофізична модель розсіювання НВЧ-випромінювання використовується при синтезі зображення територіальної диференціації окремих компонентів БЛ, типів і видів рослинних угруповань.

Кінцевою метою вивчення природно-ресурсного потенціалу БЛ на основі матеріалів радіофізичного моніторингу, космофотоінформації, а також приземного зондування є одержання *тематичних карт*, що дозволяють оцінити запаси і якість основних ресурсів боліт (торф, сапропель, болотні води, рослинний покрив і т.д.) і розробити комплекс заходів щодо їх використання і збереження як специфічних і унікальних екологічних ніш, радикальної організації території БЛ, які піддаються антропогенному впливу.

### **Дистанційні методи дослідження боліт**

Перші роботи з використання аерометодів при гідрологічних дослідженнях боліт були опубліковані в 1936-1937рр. Найбільший розвиток вони отримали у роки Великої Вітчизняної війни. В цей період була організована спеціальна група для вивчення боліт у зоні бойових дій. За відсутності можливостей для наземного обстеження боліт єдиним шляхом їх вивчення могли бути лише методи, що ґрунтувалися на використанні матеріалів аерофотозйомки.

**Дешифрування аерознімків боліт** (на основі розробленої класифікації болотних ландшафтів Галкіною О.О.) знайшло широке застосування при складанні **топологічних** карт боліт.

В подальшому питання дешифрування аерофотознімків боліт детально було розглянуто в роботах Романової Є.А., Іванової К.Є. та інших дослідників. В результаті дешифрування визнача-

лися *типи боліт та болотних мікроландшафтів, їх площі і окреслення в плані, характер поверхні і обводненості мікроландшафтів, рельєф болотного масиву при наявності окремих нівелювальних ходів, розміри озер і водотоків, площі їх водозборів* і т.д.

Зв'язки між природними компонентами внутрішньотериторіальних комплексів різного об'єму і розташування неоднакові, що свідчить про різні шляхи їх вивчення, вибору під охорону, доцільного використання. У цій справі дуже допомагають дистанційні методи. З їх допомогою досить просто і швидко можна визначити міру розповсюдження, цілісності різних географічних типів болотних масивів. Існує два можливі шляхи зонального поділу території – **широкозональний і вузькозональний**.

Вузька кліматична зональність і закономірність змін рослинного покриву, що відображені на дрібномасштабних картах рослинності, добре збігаються з геотектонічними межами геологічних карт, тим самим відображаючи зв'язок фізико-географічних територіальних комплексів з болотними.

Природа болотних масивів складна. Болота являють собою нерозривний комплекс, що складається з рослинності, торфу, води і ложа.

Особливо динамічною частиною масиву є вода. Її достатність, джерела живлення, швидкість і форми руху визначають умови існування рослин і мікрофауни.

Форми руху води відображаються в закономірностях розповсюдження рослинного покриву, в процесі торфоутворення і торфонакопичення, в зміні форми поверхні.

Найбільш консервативним є **ложе болотного масиву** – його форма, розміри, літологія, розташування над рівнем моря і основним водоприймачем. Однак і цю консервативну частину не можна розглядати як щось незмінне. Сучасна конфігурація масиву – результат багатовікової історії. Тільки шляхом частих **зондувань і нівелювань** поверхні можна встановити відповідність сучасної площі і форми болотного масиву його початковим умовам – виникнення і розвитку, а також їх зв'язок з сучасними надболотними схилами.

Крім процесів саморозвитку значний вплив на ложе і поверхню болотних масивів виявляють тектонічні процеси, що протікають у земній корі. **Глибинні рухи і тріщини** впливають на характер поверхні боліт, особливо на їх гідрографію. Великий вплив на характер боліт виявляють і **антропогенні впливи**.

*Зараз аерофотозйомка широко використовується при картографуванні боліт.* Численні монографії і статті доводять доцільність використання аерофотозйомки для вивчення властивостей болотних масивів.

В той час, коли в міжнародних масштабах приділяється особлива увага охороні довкілля, в тому числі і боліт, аерофотозйомку доцільно використовувати в процесі виділення об'єктів, що охороняються, а також **для організації багаторічних спостережень за динамікою болотних екосистем.**

З розвитком техніки дистанційних досліджень ширшим стає коло питань, які можуть вирішуватись за допомогою дистанційних методів. Створення нових типів плівок (кольорових, спектрально-розональних) дозволяє проводити більш детальне виділення болотних ділянок і вивчати їх будову.

Нові види дистанційних зйомок (радіолокаційна, теплова, багатозональна) обіцяють нову інформацію про болотні екосистеми. Найбільш широке розповсюдження з нових видів зйомки отримала радіолокаційна зйомка.

Вивчення *болотних систем за допомогою радіолокаційної зйомки дає багатий матеріал.* Висока генералізація зображення сприяє чіткому зображенню регіональних і планетарних закономірностей в розповсюдженні болотних систем. Скульптурність радіолокаційного зображення дозволяє дешифрувати структуру болотних масивів. Рельєфність зображення залежить від напрямку зйомки, тому при можливості потрібно використовувати матеріали зйомок різних рейдів.

Дуже цікавим є радіолокаційні знімки для *вивчення динаміки водного режиму* болотних екосистем. Для цього необхідні повторні зйомки в різні сезони року, які дозволяють виявляти деталі будови і отримувати уявлення про внутрішньоболотні стоки.

Цікаві відомості з радіолокаційних знімків можна отримати стосовно *ступеню освоєності боліт і стан меліоративних систем*.

Великі перспективи для вивчення болотних масивів також відкриває багатозональна зйомка. Комплекс дистанційних зйомок може забезпечити повноцінну інформацію про стан і розвиток болотних систем.

### **Екологічна інтерпретація антропогенних геофізичних ефектів**

Відбивні і випромінювальні характеристики природних екосистем входять до ряду вироблених протягом тривалої еволюції пристосувальних ознак екосистем. Антропогенні порушення природних екосистем, таким чином, позначаються як на зміні їх водного органічного обміну, так і енергетичного балансу, у тому числі відбивних і випромінювальних характеристик порушених екосистем. Для екологічної інтерпретації геофізичних ефектів антропогенних впливів необхідний аналіз факторних і сезонних, оптичних і радіаційних ефектів у світлі вивчення гранично допустимих навантажень (ГДН). За допомогою геофізичних ефектів визначаються **три стадії антропогенного впливу**.

**Перша** – припустимих порушень, за якої антропогенні зміни випромінювальної і відбивної характеристик природної екосистеми невеликі знаходяться у межах припустимих відхилень які, суттєво не порушують функціонування екосистем.

**Друга** – порогових порушень, де відбуваються суттєві порушення оптичних і радіаційних характеристик екосистем.

**Третя** - область руйнівних порушень, де геофізичні ефекти антропогенні досягають максимальних значень. На відміну від обчислюваних функціональних ГДН за допомогою аеро- і космічних знімків стає можливим обчислення просторової структури ГДН екосистем, що практично дотепер ніким не було зроблене.

Геофізичні ефекти порушення екосистем визначаються ступенем відхилення антропогенної модифікації і від вихідної природної екосистеми  $Z$  за функціями станів різних геофізичних характеристик  $R$  (наприклад, коефіцієнт спектральної яскравості

$\rho_\lambda$ , енергетичної яскравості  $R_\lambda$ , радіаційної і радіояскравої температур  $T_R$  і  $T_B$ , оптичної щільності фотозображення  $D_{neo}$ ) під впливом природних чинників  $F$ . Залежності  $R(F)$  нелінійні, отже, області припустимих, порогових і руйнівних порушень можна визначити за змінами форм зв'язку  $R$  і  $F$  і їхніми похідними. Область припустимих порушень відповідає малоградієнтній ділянці залежності  $R(F)$  від екологічного оптимуму до першого максимуму другої похідної. Область порогових порушень знаходиться на високоградієнтній ділянці залежності  $R(F)$  з різким перегином кривої з максимумом 1-ої похідної. Нижче знаходиться область руйнівних порушень.

Для аналітичного опису екологічного порушення (тобто відхилення даного стану екосистем від екологічного оптимуму, під яким на практиці розуміється корінний або умовно-корінний стан екосистеми) була введена аналітична функція стану екосистеми [66]. При цьому геофізичні характеристики ( $\rho_\lambda$ ,  $R_\lambda$ ,  $T_R$ ,  $T_B$  і  $D_{neo}$ ) приймаються за функцію, яка змінюється в просторі  $S$  і часі  $t$ :  $\eta(S,t)$  або територіально узагальнену функцію  $\eta^*(t) = \int_S \eta(S,t) ds$  – дана функція характеризує стан як простих екосистем, так і їхніх комбінацій і має кінцеве значення в припустимих для екосистеми межах.

Потім вводиться функція антропогенного впливу на екосистему  $\acute{a}(S,t)$ , яка записується для окремої точки як  $\eta_i(S,t) = \eta(S,t) \cdot \acute{a}(S,t)$ , а для просторової структури як  $\eta_i^*(S,t) = \int_S \eta(S,t) \acute{a}(S,t) ds$ .

**Ці функції описують геофізичні ефекти антропогенних екосистем.** За кривими зв'язку  $\acute{a}(S,t)$  можна визначити критичні і припустимі значення функції, тобто  $\acute{a}_{lim}$  і  $\acute{a}_{adm}$ , причому іноді  $\acute{a}_{lim}$  має два значення – максимальне і мінімальне. Різниця між фактичним станом і припустимим відхиленням є екологічним резервом екосистеми.

Нажаль, аналіз форми кривих залежності геофізичних ефектів антропогенних впливів та їхніх градієнтів дозволяє обчислювати структурні припустимі і порогові значення антропогенних порушень не усіх екосистем, а тільки *клімаксових або параклі-*

*максових* (корінних або умовно-корінних), тобто таких екосистем, що з максимальною ефективністю використовують сонячну енергію для фотосинтезу, такі, наприклад, складні лісові, лугові, степові і пустельні екосистеми з оптично щільним рослинним покривом. Тільки стосовно них можна розвивати наведені вище концепції.

Через нелінійність залежності відбивної і випромінювальної характеристик екосистем від природних і антропогенних чинників виходимо з того, що безградієнтні або малоградієнтні ділянки кривої, прилеглі до  $\alpha$ , відповідають області припустимих порушень. Точка перегину високоградієнтної ділянки відповідає області порогових порушень геофізичних ефектів похідних екосистем. Ця закономірність виявляється як на елементарному біогеоценотичному рівні з просторовим дозволом знімальної системи менше одного метра й оглядовістю до 10-100 км<sup>2</sup> при аерофотозніманні, так і на інтеграційних рівнях з розрішаючою здатністю більше одного кілометра з оглядовістю більше 1000 км<sup>2</sup> при космічній зйомці.

## **2.7 АЕРОКОСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТВАРИННОГО СВІТУ**

Дистанційні методи вивчення тваринного світу різноманітні як за технологією, так і за застосуванням: найкрупномасштабніші зйомки використовуються для спостереження і підрахунку окремих особин, головним чином великих тварин; великомасштабні та середньомасштабні – для вивчення і картографування стаціонарних і напівстаціонарних форм впливу тварин на рослинність і ґрунти; середньо- і дрібномасштабні аеро- і космічні знімки – для індикації потенційних стадій тварин, а також супутніх екологічних і гідрометеорологічних умов.

**Види знімання, що використовуються при моніторингу тваринного світу**

**Аерознімання** (поєднання суцільних аеровізуальних обстежень і вибіркової великомасштабної аерофотозйомки) успішно використовується при *спостереженні за розташуваннями і чисельністю, природом і відмиранням, міграцією і віково-статевою структурою популяції стад крупних копитних тварин*. **Аеровізуальні обстеження і аерофотозйомка з масштабом М 1:50000 та М 1:1000**, використовуються для підрахунку чисельності дикого північного оленя з поділом на віково-статеві групи. На великомасштабних знімках (М 1:10000) можна підрахувати лише загальну кількість тварин без їх підрозділів. На середньомасштабних аерознімках (М 1:25000) можна бачити розміри і контури стада.

Знімання переважно здійснюється в **зимові часи**, коли високим є оптичний контраст тварин з фоном, менше заважають листяні дерева, а тварини концентруються у великі стада.

В савані і пустелі стада антилоп та сайгаків підраховуються аеровізуально і за знімками при низькій висоті Сонця на фоні всохлої рослинності.

В лісовій зоні виявлення окремих особин ускладнене. В лісі особливо перспективним є теплове знімання великих тварин. Інвентаризація біломорського стада гренландського тюленя виконується на фоні засніженого льоду за знімками М 1:3000. Аеровізуально спочатку визначаються місця найбільшого скупчення тварин, а потім за аерофотознімками розпізнається їх чисельність і віково-статева структура.

**Інфрачервоне знімання** дозволяє проводити облік і вивчати розподіл тварин у нічні години. Поєднання аерофотознімання і теплового знімання може бути засобом підрахунку кількості померлих тварин.

Теплове знімання перспективне також для підрахунку чисельності водоплаваючих птахів, наприклад, гусей, причому зчитуючій пристрій по рядках скануючого денситометру дозволяє автоматизувати підрахунок живих особин.

На великомасштабних аерофотознімках виявляються великі морські ссавці: білуха, дельфіни, сірий і великоголовий кит. У прозорих водах помітні не тільки плаваючі, але і екземпляри, що пірнули. При спостереженні окремих особин не можна не згадати метод радіостеження за особинами з фіксованим радіопере-

давачем і приймачем сигналу на літаку або на ШСЗ. Так, в Канаді за допомогою ШСЗ «NIMBUS-3» досліджувалася міграція ізюбра за радіомаяком, сигнал якого приймався два рази на день з точністю прив'язки 1,6 км протягом декількох сотень кілометрів.

## **2.8 МОНІТОРИНГ ПРИРОДНИХ СТИХІЙНИХ ЯВИЩ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИСТАНЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **Моніторинг опустелювання**

За даними ЮНЕП (Програма ООН з навколишнього середовища) у цей час пустелями охоплено понад 70 % всіх посушливих земель, що становить біля чверті земної поверхні. Опустелювання наносить величезний соціально-економічний збиток, від наслідків якого страждає одна шоста частина населення земної кулі.

Наприклад, у Росії зоною найбільш інтенсивного опустелювання є територія Калмикії. Калмикія розташована в північно-західній частині Прикаспійської низовини. Її найбільша довжина із заходу на схід становить 420 км, з півночі на південь - 450 км, площа - 74 000 кв.км. Найбільші темпи деградації ґрунтово-рослинного покриву спостерігаються в районі **Чорні землі** (близько 40 % території Калмикії), де з 1952 по 1991 р. площа пустель збільшилася більш ніж у 10 разів. Калмикія включена ЮНЕП у список територій, підданих найбільш інтенсивним процесам опустелювання.

Для моніторингу процесів опустелювання необхідно здійснювати збір інформації про стан ґрунтово-рослинного покриву кілька разів у періоди максимумів вегетаційного циклу (кінець травня - початок червня й вересень) з інтервалом 1-2 тижня. При цьому потрібно одночасно охоплювати великі території. Ефективним засобом рішення даного завдання є ДЗЗ з космосу. Оперативні КЗ дозволяють із високою періодичністю (від 1 до 15 днів) робити зйомку територій розмірами від декількох десятків до декількох тисяч кілометрів.

***Основні моменти моніторингу опустелювання:***



- регулярне картування районів опустелювання на основі спільної обробки й аналізу комплексної космічної, картографічної й наземної інформації;

- побудова багаторічних рядів даних, що дозволяють визначати тренди динаміки площ вогнищ опустелювання.

Для цього використовується інформація з КЗ «Про1», NOAA.

При дослідженні процесів опустелювання дані ДЗ повинні забезпечувати користувача інформацією про об'єкти або явища, що мають дрібний масштаб, але зачіпають великі території. Апаратура з високим просторовим розрішенням, що дозволяє виділяти дрібномасштабні структури, має дуже малу смугу огляду й низьку періодичність зйомки. Тому перекриття всієї досліджуваної території інформацією з високим розрішенням виявляється або технічно неможливим, або дуже дорогим. Інформація з середньою, і, особливо, низькою, просторовою розрішаючою здатністю не завжди дозволяє виділяти об'єкти, що характеризують процес опустелювання, з достатньою точністю. Оптимальний підхід до вирішення даної проблеми полягає у комбінуванні різних видів космічної інформації. Апаратурою з високою розрішаючою здатністю здійснюється зйомка тестових ділянок; потім отримані результати екстраполюються на всю досліджувану територію на основі інформації середнього й низького розрішення.

## **Моніторинг повеней**

Щорічно у світі витрати на проекти по захисту від повеней становлять близько 500 млн. доларів. Тому рішення завдань прогнозування, виявлення, контролю й оцінки наслідків повеней має важливе економічне й соціальне значення.

Обширність річкових заплав і швидкість процесів, що протікають на них, затоплення й спорожнення, з одного боку, і недостатня густота мережі гідрологічних постів, з іншого боку – ускладнюють одержання інформації про повені наземними засобами. На основі космічної інформації можливе визначення основних гідрологічних параметрів, що характеризують процес повеней.

Інтеграція даних ДЗ у ГІС разом з картографічними матеріалами, результатами наземних обстежень й іншої геокодованої інформації дозволить одержувати принципово нові інформаційні продукти.

Метою таких проектів є картування районів повеней на основі сумісної цифрової обробки космічної інформації й комплексних гідрологічних даних. Результати картування дозволять прогнозувати зони ризику затоплення, спостерігати за динамікою процесів затоплення й спорожнення річкових заплав та оцінювати наслідки повеней.

Вихідною супутниковою інформацією є архівні й оперативні дані КА «Про1» (МСУ-Э, МСУ-СК), «Про» (З, МСУ-СК), «Океан-01».

У ході виконання таких робіт здійснюється збір та аналіз отриманої і архівної супутникової інформації з території заплав, що підвержені підтопленню. Створено інформаційну базу даних, що включає в себе супутникові зображення середньої розрішаючої здатності МСУ-СК ІСЗ «Про1» і результати їхньої обробки та результати наземних вимірів на гідрологічних постах.

При визначенні затоплених і незатоплених територій, зображення перетворювали до бінарного виду з використанням граничного й кластерного методів.

На основі космічних даних будуються картограми затоплень заплав. Для кожної з ділянок проводиться оцінка площі затоплення. Будуються графіки залежностей площ затоплення від значення рівня води для деяких ділянок заплав. В результаті отримані залежності дозволяють, за обмірюваним на гідрологічних постах значенням рівня води, оцінювати площі затоплень заплав.

## **Вивчення зон підвищеної сейсмічної небезпеки (землетрусів)**

Щорічно у світі від наслідків землетрусів гине близько 100000 чоловік. Землетруси наносять надзвичайний економічний збиток, що оцінюється більш ніж у 100 млрд. євро.

Сучасні наукові концепції прогнозування катастрофічних землетрусів засновані на дослідженнях комплексу геофізичних полів за допомогою ієрархічно організованої мережі досліджень. Важлива роль відводиться детальному аналізу полів напруг сейсмоактивного району. Вивчення на сучасному рівні вимагає використання даних дистанційного зондування.

Ефективність використання космічної інформації («Ресурс», SPOT, «Алмаз») була продемонстрована при виконанні масштабного проекту з вивчення Спітакського землетрусу 1988 р. (НІЦ «Планета», інститут фізики Землі ім. О.Ю. Шмідта РАН). В результаті виконаного проекту була вироблена методика дистанційного вивчення території з точки зору сейсмічної небезпеки, що заснована на цифровій обробці космічних знімків різного розрішення та їх комплексної геолого-географічної інтерпретації. Побудовані схеми сейсмічної небезпеки. На основі цієї якісно нової інформації, що отримана за дистанційними даними, вивчена геодинамічна обстановка регіону.

Аналіз сучасної ситуації за допомогою супутникових методів спостереження за землетрусами надзвичайно необхідний.

Представляється доцільним проведення досліджень на трьох рівнях: лабораторному, наземному й супутниковому. При цьому авіаційний рівень спостереження не розглядається як істотний рівень спостережень. Це пов'язано з високою вартістю аерознімання.

Користувачів інформації можна розділити на чотири категорії:

- 1) кінцеві користувачі;
- 2) наукові користувачі;
- 3) інженерні й будівельні компанії;
- 4) космічні агентства.

Їм необхідна різна інформація про землетруси. Проте, можна сформулювати деякі загальні вимоги користувачів до супутникової інформації:

- 1) методики зйомок, що не залежать від погодних умов (хмарності);
- 2) тимчасові інтервали зйомок: від декількох місяців до поштовху - до одного тижня після події з періодичністю в добу;

3) швидка й цілодобова автоматизована обробка даних та їхня доставка користувачам, низька вартість даних.

Необхідно також враховувати проблеми стандартизації методів обробки й форматів даних, пов'язувати з існуючими геологічними та геофізичними спостереженнями, аналізом історичних даних. Потрібно проводити освітні заходи щодо використання супутникових даних серед користувачів [14].

Наземні спостереження є невід'ємним компонентом моніторингу землетрусів. Необхідно вести спостереження за нахилом, напругами, рівнем води; виконувати GPS- і VLBI-спостереження, метеорологічні й електромагнітні спостереження, проводити аналіз газового та аерозольного складу атмосфери [17].

### **Існуючі й перспективні супутникові системи**

У цей час існує кілька систем, що дають інформацію про деформації земної поверхні, температури поверхні, хімічний склад у вертикальному розрізі атмосфери. Перспективні супутникові системи дадуть значно більш широкий діапазон параметрів, що вимірюються.

- **Деформація поверхні.** Сучасні супутники, такі як ERS, ENVISAT не можуть дати достатньої інформації для організації моніторингу. Основний недолік цих систем полягає в дуже довгому періоді спостережень від 27 до 44 днів. Для спостереження за землетрусами і іншими природними катастрофами необхідний, як мінімум, 1-2-денний період спостережень. Цю вимогу більш за усі задовольняють системи COSMO-SkyMed та Pleiades. Чутливість відновлення рельєфу земної поверхні повинна бути підвищена до міліметрів. Необхідне створення супутникових систем з довжиною хвилі діапазону L (15,0-30,0 см) на відміну від сучасних систем з довжиною хвилі діапазону З (3,8-7,5 см). Цей діапазон значно більш стійкий при побудові інтерферограмм і рельєфу.

- **Температура поверхні.** Сучасні супутникові системи дають теплові знімки з високим розрішенням на місцевості, високою чутливістю (~0,1 K) і високою періодичністю 0,5 год - 1 день. Супутники NOAA і EOS поставляють щоденні дані з розрішенням 1 км протягом десятиліть. Геостаціонарні

супутники дають зображення земного диска кожні 0,5 год. Подальший розвиток буде пов'язаний з мікрохвильовими всепогодніми системами спостережень. У цей час мікрохвильові радіометри мають низьку просторову розрішаючу здатність ( $n \cdot 10 - n \cdot 100$  км).

Фундаментальною проблемою теплової зйомки є залежність теплових аномалій на земній поверхні від метеорологічних процесів, які маскують корисний сигнал.

- **Вміст газів в атмосфері.** Спостереження газового складу з супутників були досить рідкі в минулому. Озон був єдиним газом, що вимірювався на регулярній основі. У цей час спостерігається вибух інтересу до хімії атмосфери. Системи супутників EOS (Aqua й Terra) і ENVISAT є найбільш багатообіцяючими системами, запущеними в самий недавній час. Завдяки роботі цих супутників став можливим вимір концентрацій CO і CH<sub>4</sub> в атмосфері. Одне з основних завдань газових вимірів - відновлення концентрації газів та аерозолію в приземному шарі атмосфери.

- **Електромагнітні спостереження в іоносфері.** Електромагнітні спостереження в іоносфері почали проводитися досить давно. Такі дослідження проводились в колишньому СРСР і Франції в 1970-х та 1980-х рр. На дійсний момент анонсовано кілька нових супутників:

- 1) французький DEMETER (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions);

- 2) італійський ESPERI (Earthquake investigations by Satellite and Physics of the Environment Related to the Ionosphere and Atmosphere);

- 3) два вітчизняних супутники - «Компас» і «Вулкан». Важливою проблемою електромагнітних спостережень є низьке просторове розрішення [40].

### **Рекомендації із застосування супутникових методів для моніторингу землетрусів**

Рекомендації із застосування супутникових методів для моніторингу землетрусів були зроблені в результаті аналізу стану й перспектив супутникових і наземних досліджень землетрусів, аналізу планів космічних агентств в сфері вивчення

Землі, результатів робіт декількох міжнародних груп ЮНЕСКО та ООН.

Пропонується створити або доповнити дослідження на декількох полігонах у сейсмонебезпечних районах, наприклад, на Північному Кавказі, у Забайкал'ї, на Сахаліні й Камчатці: за даними радіолокаційної зйомки побудувати рельєф поверхні на території полігонів і почати моніторинг зсувів земної поверхні, при необхідності розташувати пасивні або активні відбивачі; за результатами теплової зйомки розрахувати теплові потоки на території полігона й почати моніторинг теплових аномалій.

*Запропоновано кілька рекомендацій космічним агентствам:*

1) створити супутникові радіолокаційні системи з довжиною хвилі діапазону L й 1-2-денним періодом повторення зйомки, при цьому розрішення на місцевості може бути знижений до сотень метрів;

2) розробити мікрохвильові всепогодні системи для виміру температури поверхні;

3) створити системи для аналізу вмісту газів та аерозолів у приземному шарі атмосфери;

4) продовжити дослідження з електромагнітних спостережень іоносфери й створити устаткування для вивчення світіння іоносфери [68].

В подальшому такі дистанційні дослідження можуть застосовуватись для аналізу сейсмічних структур та оцінки сейсмічного ризику сейсмоактивних зон ряду територій: Каліфорнії, Китаю, Камчатки, Балкан.

## **Моніторинг цунамі**

Цунамі, як і землетруси, є найнепередбачуванішими природними явищами. Проблеми прогнозування цих явищ не можна адекватно розв'язати, науково-технологічний потенціал ДЗЗ необхідно спрямувати у сферу координації підготовчих заходів та швидкого реагування на катастрофічні події, тобто у сферу управління ризиками і зменшення збитків [99].

Принаймні постійна просторова локалізація потенційної загрози сприяє підвищенню ефективності використання

супутникової інформації в системах моніторингу і контролю катастрофічних цунамі. Так, зони затоплення та руйнації уздовж берегової лінії можуть бути детально картовані, що надасть можливість завчасного детального визначення соціо-економічних ризиків, та мінімізації небезпеки для мешканців цих зон.

Катастрофи такого масштабу, як останню, ставлять на порядок денний світової спільноти задачу формування транс-регіональних та глобальних планів зменшення ризиків цунамі в рамках глобальної стратегії сталого розвитку. Основою такого плану можуть стати розробки відповідних національних агенцій, наприклад розпочата під егідою NOAA у 1994 р. Національна програма зменшення небезпеки цунамі.

Першим кроком реалізації такої діяльності має стати створення комплексу карт затоплення в рамках розповсюджених ГІС загального доступу [99].

Дані ДЗЗ, зокрема високого розділення, мають стати базовим інструментом при розробці та вдосконаленні адекватних регіональних цифрових карт територій з високим ризиком затоплення та руйнування.

Важливим є також створення баз даних міждисциплінарного характеру щодо природних та антропогенних характеристик особливо небезпечних регіонів [100].

Поєднання можливостей ДЗЗ- та ГІС-технологій дасть змогу розробити якісно нові підходи та інструменти оцінки ризиків та на їхній основі вдосконалити стратегії управління ризиками природних катастроф [98].

### **Можливості дистанційного зондування у вирішенні задач катастрофічного моніторингу**

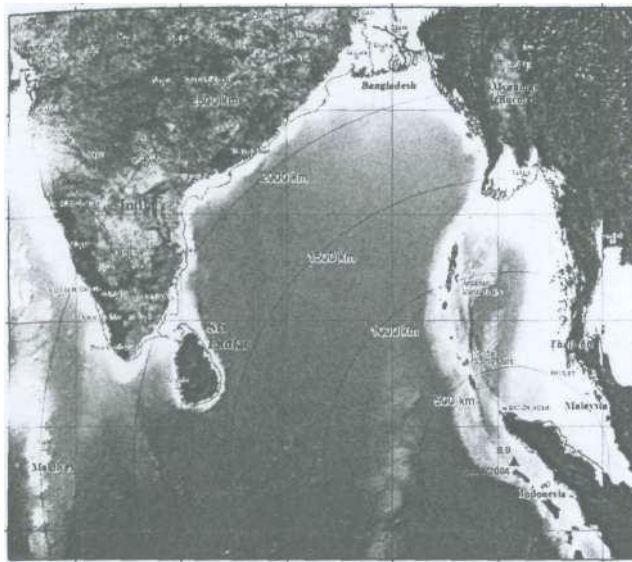
З точки зору загального феноменологічного аналізу важливо визначити просторову локалізацію та можливі масштаби затоплень та руйнувань, що могли бути спричинені природною катастрофою. Для цього розглянемо карту регіону (рис. 36).

На цій карті представлені території, які за умовами рельєфу були затоплені хвилею цунамі, і зазнали, таким чином, найбільших руйнувань і збитків.

Використовуючи дані ДЗЗ, розглянемо детальніше окремі регіони, що зазнали найбільшого впливу стихії, а саме, райони

міста Калутара на острові Шрі-Ланка, та на острові Катчал (Нікобарські острови, Індія).

Бачимо, що берегова лінія зазнала значних втрат, зокрема практично повністю зруйнована вся інфраструктура, будинки, змито частину берега (рис. 37 а, б). Спостерігається значне руйнування будівель, інфраструктури, берегових споруд, відслідковується зміна гідрологічного режиму (рис. 38).



**Рисунок 36 - Оглядова карта регіону, що зазнав впливу цунамі 26 грудня 2004 р**

Порівняння різночасових зображень за допомогою сучасних систем обробки даних та геоінформаційних систем дозволяє швидко оцінити масштаби катастрофічного впливу, визначити точну просторову локалізацію руйнувань, оцінити таким чином прямі збитки та оперативно визначити оптимальні транспортні шляхи в зруйнованих регіонах. Навіть просте візуальне порівняння цих зображень дає можливість оцінити загальні масштаби катастрофи. Застосування простих методик інтерпретації космічних зображень сприяє вирішенню задачі оцінки збитків та мінімізації наслідків природної катастрофи.

Вивчаючи дані космічної зйомки можна дійти висновку, що





всі втрати адекватно враховані. Зокрема не вивчено інтрузію морських вод на суходіл або зміну фізичних властивостей та хімічного режиму прибережних вод океану тощо.

*а*  
*б*

**Рисунок 37 - Територія, що постраждала внаслідок катастрофічного цунамі (м. Калутара, о-в Шрі-Ланка; джерело даних Digital Globe від 26 грудня 2004 р)**



*a*

*б*

**Рисунок 38 - Територія, що постраждала внаслідок катастрофічного цунамі (м. Мелабо, о-в Суматра, Індонезія; джерело даних: CRISP, National University of Singapore) : *a* - берегова лінія та прибережна зона. Дані зйомки IKONOS від 17 серпня 2004 р.; *б* - ураження берегової лінії та прибережної зони. Дані зйомки IKONOS від 7 січня 2005 р.**

Відповідні соціо-екологічні ризики також не мають належної оцінки. Однак за даними деяких дослідників [29] відкладений вплив наслідків природних катастроф може скласти в середньостроковій перспективі близько 40 % прямих втрат. Як показує відповідний досвід [101] в оцінці цих показників методи супутникового спостереження ще мають зіграти визначальну роль.

### **Роль супутникових методів в управлінні ризиками цунамі**

Таким чином, на базі продемонстрованих підходів до інтерпретації космічної інформації, може бути сформована супутникова складова системи управління ризиками катастрофічних цунамі. Основною сферою діяльності тут має стати розробка сценаріїв використання систем супутникового спостереження Землі за відповідними напрямками заходів безпеки [99, 103].

Моніторингова система такого плану буде сприяти розробці адекватної стратегії управління ризиками катастрофічних цунамі. Однак створення такого роду стратегії є проблемою, яка поки що не має адекватної постановки. Організація підготовчих ходів діяльності під час подій та відновлювальних робіт базу-

ється, як правило [99], на різнострокових моделях катастроф, що мають за основу статистичні підходи.

Зокрема, цунамі можуть розглядатися як окремі незалежні випадки з просторово-розподіленою ймовірністю виникнення. Таке уявлення дозволяє побудувати прикладні розрахунки моделі розподілу ризиків та визначити певні часові закономірності катастроф [96].

Тут слід зазначити, що пряме використання супутникових зйомок для детектування цунамі не можна вважати ефективним. Звичайно, виникнення та розповсюдження гігантської хвилі можна визначити за допомогою дистанційного зондування, але періодичність відповідних зйомок і оперативність передачі інформації не є задовільними для такого роду задач.

Сучасні системи отримання та передачі космічних зображень мають оперативність від 3 до 6 годин, тоді як часовий масштаб руху цунамі складає від кількох десятків хвилин до двох-трьох годин. Звичайно, такі умови не дозволяють побудувати функціональну систему завчасного попередження про небезпеку цунамі за допомогою супутникових методів на сталому базисі.

Інший, загалом більш обґрунтований, підхід базується на генетичному уявленні про виникнення цунамі, тобто на статистичних моделях землетрусів. Застосування статистики землетрусів та сценаріїв виникнення цунамі в розрахунках ризиків дозволяє певною мірою підвищити коректність прогнозування та уточнити просторовий розподіл небезпеки виникнення катастрофічних цунамі [102].

З точки зору створення системи, стійкої до зовнішніх збурень, найприйнятнішим є шлях аналізу наслідків. Найефективніше зменшення збитків катастрофічної події буде полягати у створенні стратегії довгострокового управління ризиками. Таким чином, ми переходимо до аналізу наслідків події та оперування відповідною статистикою. Це дозволяє нам проводити дослідження закономірностей розповсюдження цунамі в рамках методологічних підходів аналізу ризиків повеней [97].

## **Моніторинг деяких небезпечних природних явищ**

Серед небезпечних природних явищ, для дослідження та управління якими використовують методи ДЗ, відмітимо наступні:

**Пилові бурі.** Це швидкоплинний природний процес, що наносить значні господарські втрати: відбувається видування ґрунтів, великі площі культурних рослин заносяться пилом. Особливо небезпечними є сольові пилові бурі (хлориди, сульфати). Такі аварії спостерігаються періодично вздовж усєї Волги у смузі 800 км. Виявлення та вивчення пилових хмар можливо за космічним зображенням ІЧ та видимого діапазонів. Для визначення вертикальних профілів стану атмосфери можуть аналізуватися дані радіозондування.

**Цвітіння шкідливих водоростей.** Проблема швидкого (1-2 місяці) розмноження токсичних водоростей характерна як для південних (узбережжя Італії), так і для північних (Норвегія) прибережних вод. Воно наносить великий економічний збиток рибному господарству та індустрії туризму. Наприклад, в Росії подібна пролема також має місце у зв'язку з цвітінням великих водосховищ та Азовського моря. На сьогоднішній день для безперервного моніторингу використовується інформація КА NOAA, оскільки за даними, що отримані у ІЧ – діапазоні, можна установити температуру поверхні моря, що дозволить опосередковано картографувати розповсюдження водоростей.

**Селі.** Проводяться перед селеві дослідження гірських озер та водосховищ, контроль території, що постраждала в результаті сходу селєвих лавин.

**Снігові лавини.** За результатами порівнянь різночасових космічних знімків проводиться оцінка наслідків сходу снігових лавин.

**Забруднення радіонуклідами.** Вивчення забруднення на суші шляхом дослідження рослинності, особливо лісів, як індикаторів радіоактивного забруднення; на воді шляхом дослідження впливу радіоактивності на морські екосистеми, а також спостережень та моделювання розповсюдження радіонуклідів.

Ці природні явища у різні роки успішно дешифрувалися за космічними знімками з використанням методів та технологій обробки супутникової інформації, що розроблена у НІЦ

## **2.9 ДИСТАНЦІЙНІ МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ**

**Міста** – центри зосередження великої кількості людей – **вважаються центрами сильного тиску людини на природу.** Сучасне загострення екологічної ситуації в містах вимагає, з метою її контролю, застосування широкого арсеналу засобів і методів спостереження за станом навколишнього середовища. ***Космічні спостереження використовуються для стеження за великомасштабними змінами міського середовища.*** На знімках одержують чітке відображення кордонів міст, звичайно, не адміністративних, а реально існуючих. Шляхом порівняння знімків різних років і карт, виявляється зростання міст. ***Космічні зображення є корисними для виявлення можливих тенденцій зростання міст, за ними інколи краще відстежуються контури майбутнього міста.***

Космічна зйомка дозволяє точніше уявити масштаби зміни містами, оточуючих їх ландшафтів. Отримана з космосу інформація ще більше загострює питання необхідності збереження невеликих масивів, лісу навколо міст, а також лісопарків, підкреслює особливу важливість лісорозведення та організації нових лісопарків.

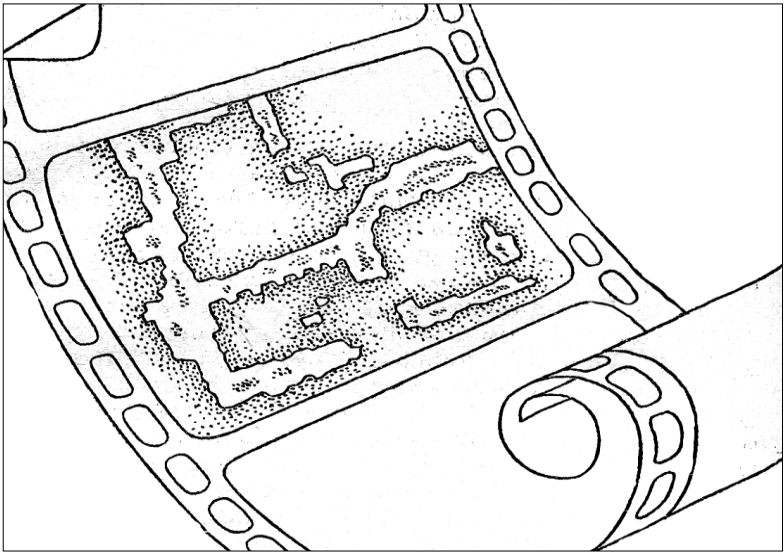
Масштаби забруднення містами суміжних з ними територій стали зрозумілими тільки після аналізу даних спостережень з космосу. На зимових знімках забруднення ідентифікується за наявністю зон потемнілого снігу. При цьому ареали забрудненого снігу найчастіше перевищують за площею розміри самого міста, іноді в декілька разів. Розподіл забрудненого снігу навколо міст залежить від потужності промислових і побутових викидів в атмосферу, від метеоумов, сприятливих або несприятливих для переносу та розсіювання повітряних забруднень.

На космічних знімках, отриманих навесні, влітку або восени, забруднення навколо міст безпосередньо не спостерігається. Але за цими знімками добре простежуються деякі результати випадання атмосферних забруднень за непрямими ознаками. Навколо деяких промислових центрів за знімками виявляються зони повністю або частково загиблої рослинності, ураженої димовими викидами.

З космосу можна дослідити й багато інших особливостей впливу міст на довкілля, зокрема теплового і світлового. *Деякі міста – джерела великої кількості енергії, тепла, що виділяються ними, – на інфрачервоних знімках фіксуються як своєрідні «острова» тепла.* Перепад температури між ними і прилеглою територією може досягати декількох градусів.

Існує особливий вид космічних зображень, зроблених у видимому діапазоні довжин хвиль у нічні години. Розміри світлових плям, інтенсивність світіння можуть бути використані як індикатори деяких особливостей міст, у тому числі чисельності населення.

На рисунку 39 приведені результати нічної теплової зйомки ділянки міської території, де світлі плями вказують на міста неорганізованого виділення тепла: погано ізольовані дахи домів, котельні, звалища таке ін.



*Будинки з лівої частини малюнку відрізняються від інших будинків підвищеним тепловим випроміненням, що свідчить про недостатню теплову ізоляцію даху (спектральний діапазон 8-13 мкм).*

**Рисунок 39 - Результат нічної теплової зйомки міського жилого кварталу**

**«Острівки» окремих джерел тепла** будинків та вулиць поєднуються у **теплові «архіпелаги» міст**, вносять свою, немалу, частку в загальне потепління, пов'язане з затримкою довгохвильового (теплого) випромінювання Землі вуглекислим газом, що накопичився в атмосфері.

Цікавість до міської території викликана в першу чергу її швидким зростанням в умовах дефіциту земельних ресурсів. Це вимагає точного врахування і максимально раціонального використання земельних фондів.

На створюваних картах використання міських земель, в першу чергу, фіксуються ділянки різноманітного функціонального використання. Вони розрізняються за характером планування, типом будівель, особливостями навколишнього ландшафту, положенням відносно транспортних шляхів тощо. На картах зазвичай виділяються житлові і промислові зони, землі, вільні від забудови тощо, з подальшим поділом цих типів на підтипи.



При дослідженні такого мобільного елемента культурного ландшафту оперативність засобів, що використовуються, має вирішальне значення. Саме тому космічні знімки почали використовувати в першу чергу для вивчення динаміки міст. Вирішенню цієї задачі сприяє і можливість періодичного повторення зйомок, тому що на підставі цих зйомок складаються серії карт використання міських земель, що фіксують стан на різні дати.

На підставі карт використання міських земель може також проводитися виділення фактичного кордону міста. Проведення цього кордону є надто актуальним завданням, через те що наявність таких кордонів дозволяє обчислювати площі населених пунктів, визначати щільність їхньої забудови і щільність населення.

Використання знімків дозволяє підійти до питання виявлення агломерацій шляхом розгляду зв'язків не окремих населених пунктів, а всієї їхньої сукупності на значній території.

Таким чином, серії різночасових аерокосмічних знімків можуть бути цінним матеріалом для контролю за зростанням і розвитком населених пунктів, виявлення потенційних і існуючих агломерацій тощо.

Космічні знімки надають також можливість для вивчення транспортної мережі, оскільки лінійні елементи зображуються на дрібномасштабних знімках дуже добре.

На знімках помітні дороги, ширина яких в чотири рази менша ширини мінімальних площинних об'єктів, що зображаються на знімку. З сухопутних шляхів сполучення найкращим чином відображаються покращені ґрунтові дороги і шосе. Чіткість зображення непрофільованих ґрунтових доріг залежить від навколишньої ситуації. Зображення залізниць менш чітке, ніж автомобільних шляхів; в основному вони зображаються завдяки насипам, виїмкам, смузі відчуження і т.д.

Непряме відображення знаходять на знімках також водні і повітряні шляхи сполучення – завдяки зображенню пристані і портових споруд, злітних смуг і аеродромів і т.п. Довго зберігається в океані слід корабля, який щойно пройшов. У відношенні картографування транспортної мережі, що швидко змінюється, знімки повинні використовуватися в першу чергу для поновлення карт, що швидко застарівають. Крім того, на знімках зна-

ходить непряме відображення інтенсивність транспортних зв'язків, тому окрім поновлення зображення транспортної мережі, знімки дозволяють проводити більш обґрунтовану генералізацію доріг при укладанні дрібно- і середньомасштабних карт.

За аерофотознімками можуть бути визначені різні типи промислових підприємств. З цією метою, зазвичай, використовують аерознімки середнього і крупного масштабу. За зображенням можна розрізнити підприємства видобувної та обробної промисловості. Серед підприємств **видобувної промисловості**, зазвичай, можна розпізнати гірничо-, соле-, нафтовидобувні та ін. підприємства. Вони мають характерні, тільки їм притаманні типи будівель і великі площі, певним чином порушеного рослинного покриву. **Гірничовидобувні підприємства** можуть бути представлені кар'єрами, шахтами, штольнями. Вони виділяються на аеро- і космічних знімках як позбавлені рослинного покриву ділянки (кар'єри, штольні) або за невеликими наземними спорудами (шахти), поєднані хорошими дорогами з розташованими поблизу підприємствами з первинної переробки видобувної сировини. **Солевидобувні підприємства** розпізнаються на аеро- і космічних знімках за поєднанням ділянок водоймищ, відгороджених дамбами, які зображаються різними фотонами. На знімках, отриманих у синій зоні спектра, чітко помітні білі плями сольових корок на готових для розробки ділянках. При багатозональній зйомці райони видобування солі можна виявити за цими сольовими корками і на космічних знімках. **Нафтовидобувні райони** впевнено розпізнаються за наявністю великої кількості чорних точок або окремих плям, навколо яких зазвичай багато транспортних шляхів і сильно порушений рослинний покрив.

**Підприємства обробної промисловості** можуть розпізнаватися на великомасштабних аерознімках і поділені у відповідності до процесів, що використовуються при обробці сировини (механічних, теплових і хімічних). Кожне з таких виробництв має свої характерні елементи. Для механічного процесу типові відстійники, дробарки і т.д. Для теплового процесу характерні «відвали» вугілля (а в деяких випадках шлаків і флюсів), високі димові труби, можуть бути трубопроводи. Для хімічного процесу – велика кількість труб малого діаметра.

## Спостереження за забрудненням атмосферного повітря міст

В останні десятиріччя ХХ століття в містах неодноразово спостерігаються явища сильних замутнень атмосфери антропогенного походження, небезпечні для нормальної життєдіяльності людини.

Забруднення атмосфери належить до динамічних явищ, мінливих у просторі і часі. При різкому збільшенні забруднень атмосфери виникає необхідність у застосуванні нових методів спостережень, одним з яких є космічна зйомка. За його допомогою виявилось можливим виділення декількох типів цього забруднення, оцінка площ його розповсюдження, міграції, виявлення джерел.

**Забруднення атмосфери** – одна з найбільш розвинених і складних форм впливу міст на навколишнє середовище. За сприятливого повітряного режиму в містах, розташованих на рівнинах, забруднення повітря виноситься за межі міст. Однак, у деяких випадках, у тому числі при утворенні температурних інверсій, штилях, підвищеній вологості повітря, з димових та газових забруднень формується **смог** – специфічне явище, притаманне деяким містам. Розрізняють три види смогу: *лондонський, лос-анджелеський та аляскинський*.

На космічному знімку **смог зображається у вигляді великої плями**, однорідного світлого тону, помітно менш яскравого, ніж хмари. Зокрема, на космічному знімку східної частини Північної Америки з ШЗС смог охопив великий простір в межах США і частково Канади і поширився з півночі на південь на відстань більше 1500 км. З заходу на схід смог простягається на 700-800 км.

З космосу постійно фіксуються дими від заводів та фабрик, теплоелектроцентралей, суден та літаків. Дані епізодичних спостережень з літаків та гелікоптерів над містами США показали, що *«шапка» диму* над ними зосереджена на висоті 1-2 км і при вітрі зміщується на 50-100 км [1]. Особливий інтерес викликає одночасний розвиток близько розташованих димових серпанків від декількох джерел. Такі димові скупчення

викликають забруднення атмосфери на площі до декількох сотень км<sup>2</sup>.

**Фотометричний аналіз** космічного зображення дозволяє побудувати поле оптичної щільності димової хмари, зробити оцінку розсіяння диму і за даними про динаміку розмірів хмари оцінити коефіцієнт турбулентної дифузії. Розрахований таким чином коефіцієнт можна використати для визначення концентрації забруднення поблизу земної поверхні і для співставлення з наземними

Димові факели розрізняють за щільністю тону зображення: найсвітліші, зазвичай, відповідають високій концентрації часток, дають помітну тінь; менш світлі факели з розмитими межами спостерігаються при меншій концентрації часток.

Серед специфічних забруднень атмосфери найбільш чітко помітні на космічних знімках інверсійні сліди від літаків. Спостерігаючи ці білі «стрічки» з поверхні землі, навіть спеціалісти практично не враховували їх як спеціальний вид забруднення. Тільки за допомогою спостережень з космосу виявлено широке розповсюдження цього виду забруднень, зокрема, над центром і, особливо, в північно-західній та північній Європі. Зокрема, зафіксовано 15 інверсійних слідів та їх розміри: в ширину – 1-10 км, іноді до 40 км, в довжину – 100-400 км. Смуги забруднення спостерігаються на площі близько 100000 км<sup>2</sup>. За оцінками фахівців, утворення приблизно 10 % всіх перистих хмар в Західній та Центральній Європі пов'язане саме з цими слідами від літаків [5].

### **Дослідження теплового впливу міст на урболандшафт**

В результаті наземних і особливо космічних досліджень на Землі були виявлені окремі **аномально нагріті ділянки**, що пов'язано з діяльністю людини в містах. З космосу такі **теплові**

**аномалії** фіксують на знімках, отриманих в інфрачервоному діапазоні спектра.

Особливо сильно нагріті великі міста, де різниця між температурою міста і його околицями часто складає 4-7°C. Окрім теплових полів, площа розповсюдження яких співпадає з площею всього міста, виявлені **теплові «куполи»** над містом [7].

Розмір площі теплових аномалій визначається ступенем промислового розвитку міста. Для великих міст вона сягає багатьох сотень кв.м, а для надвеликих – перших тисяч кв.км. Особливо значні теплові аномалії існують у великих міських агломераціях – наприклад, Рурський в Німеччині, мегаполісах на сході США. За даними зйомки, зробленої 29.07.1970 зі ШСЗ, в районі Рурської агломерації міст сформувалося тепла пляма площею близько 1000 км<sup>2</sup>, теплові контрасти з навколишньою місцевістю досягли 6-7°C.

Одна з головних причин виникнення «острова тепла» пов'язана зі зменшенням можливості регулювання нагріву поверхні шляхом випаровування через ґрунт і рослинність.

Підраховано, що енергія найбільшого «острова тепла» – мегаполіса «Босваш», розташованого на сході США між Бостоном та Вашингтоном, складає близько 5% від загальної суми енергії, що виділяється при природних процесах випромінювання в цьому районі. Антропогенно зумовлене випромінювання (витрати енергії) окремих міст є ще вищим. Для Лос-Анджелеса воно складає 20% від кількості природної радіації. Випромінювання центру Нью-Йорка (острова Манхетен) майже в 7 разів вище випромінювання природного фону.

Міста виділяють велику кількість тепла. Це безумовно впливає на кліматичні процеси цілого району, впливаючи на атмосферу і прискорюючи танення снігу в межах зайнятої ними площі. Звідси ясно, що зі збільшенням тепла промислового походження на Землі і в подальшому будуть виникати райони, де можна очікувати порушення природного теплового балансу.

## Вивчення світлового впливу на урболандшафт

З містами також пов'язані специфічні світлові поля, особливо чітко помітні з космосу в нічні години. Часто зустрічаються своєрідні світлові малюнки на нічних знімках Європейської частини СНД, вони спостерігаються у вигляді лінійно витягнутих смуг, які являють собою ланцюжки міст вздовж залізниць Москва-Петербург. Світлові поля можуть мати форму трикутників (табл. 16).

Таблиця 16  
Порівняння даних штучної та природно-обумовленої  
радіації, Вт/м<sup>2</sup>

(За матеріалами Григор'єва А. А., 1982 р.)

Місто	Площа, км <sup>2</sup>	Населення, млн.чол.	Витрати енергії, пов'язані зі штучним випромінюванням міста, Вт/м <sup>2</sup>	Витрати енергії, пов'язані з природно обумовленою радіацією, Вт/м <sup>2</sup>
Манхетен	59	1,7	630	93
Москва	878	6,42	127	42
Лос-Анджелес	3500	7,0	21	108
Район Лос-Анджелеса	10000	7,0	7,5	108
Західний Берлін	234	2,3	21,3	57
Фербенкс	37	0,03	8,5	18
Босваш	8700	33	4,4	90

Точки і плями, що світяться, відображають наявність великих промислових центрів і міст, при цьому яскравість світіння корелює з освітленістю того чи іншого центру і в деякій мірі непрямим чином характеризує їх енергетичну потужність.

Оскільки розміри світлових плям пов'язані з розмірами міста і таким чином з кількістю населення, а яскравість світіння залежить від витрат електроенергії, ці плями можуть використовуватися як індикатори енергетичного потенціалу міст. В результаті дослідження знімків встановлюються кількісні зв'язки між щільністю населення, розмірами міст і кількістю використаної електроенергії.

Специфічні фізичні поля, що фіксуються з космосу, дають можливість виявити важливі в містобудівному відношенні особливості міста, наприклад, втрати тепла, контрасти між температурою окремих частин міста і його околиць [3].

## **Вплив забруднення від міста на рослинно-грунтовий покрив**

Відомо, що міста «народжують» величезну кількість аерозолів промислового походження. Їх максимальна кількість осідає безпосередньо в межах самих міст. Частина забруднень затягується повітряними течіями переноситься на великі відстані, і частина їх випадає навколо міста.

Аерозолі, що випали на земну поверхню, перш за все забруднюють ґрунти і акваторії, *знижують врожайність сільськогосподарських культур, викликають захворювання трав і деревинно - чагарникової рослинності.*

Забруднені ділянки, що виникли поблизу урбанізованих районів, помітні навіть на ТВ-знімках невисокого розрешення. Зазвичай на фоні снігової поверхні вони виділяються темними плямами неправильної форми, розміри яких значно перевищують площу самого міста. При цьому центром плями є джерело забруднення – місто або навіть один великий завод.

Ареали в декілька разів перевищують територію, яку займає місто, це видно з табл.17.

Звичайно форма ареалу в значній мірі залежить від напрямку переважаючих вітрів, і тому його межі на космічному знімку, ніби повторюють земну розу вітрів в районі міста. Як показали дослідження В.В. Купріянова та В.Г. Покачаєвої, на базі космічних знімків навколо міст виділяються ареали забруднення різного орієнтування [6].

Таблиця 17

**Характеристика даних забруднення снігу навколо міста  
(за матеріалами Григор'єва А. А., 1982р.)**

Місто	Площа міста, км <sup>2</sup>	Дата знімання зі ШСЗ	Площа ареалу забруднення, км <sup>2</sup>
Москва	879	08.03.72	2500
Петербург	570	03.04.71	1450
Омськ	430	08.04.71	2000

Наприклад, у містах, розташованих в тундрі, таких як Воркута, Дудинка, Норильськ, площа забруднення витягнута в північному напрямку, що свідчить про переважання південних вітрів. Ареали забруднення снігу навколо Череповця, Вологди мають західний напрямок завдяки переважанню східних вітрів.

**Чим більша різниця у значенні альbedo власне міста і ландшафту навколо нього, тим чіткіше зображуються міста.** Особливо контрастно виділяються (темними плямами) міста на фоні снігу, що щойно випав. Перепад в альbedo (місто-фон) в таких випадках складає більше 50%.

Ще більший інтерес викликають зміни альbedo територій, розташованих навколо міста. В лісовій зоні це пов'язане зі знищенням лісів і заміною їх на сільськогосподарські угіддя (частіше за все розораними полями), внаслідок чого альbedo поверхні навколо міста в літні часи збільшується на 10-15%. В зонах пустель, напівпустель і степів в результаті антропогенного опустелювання навколо міст також виникають зони підвищеного альbedo порівняно з зональними.



Забруднення снігу зменшує його альbedo (з 70-90%) в 2-3 рази. **В результаті цього у весняні часи забруднений сніг більше поглинає сонячної радіації і швидше тоне, ніж чистий.** За допомогою знімків виявлене явище більш швидкого танення снігу навколо міст у весняні часи. Безпосередній вплив на цей процес, але на невеликій відстані, виявляє теплове поле самого міста. Головною ж причиною інтенсивного танення снігу за межами міста є забруднений сніг зі зниженим альbedo.

Строки випередження загального сходу снігового покриву можуть бути різними і визначаються місцем розташування міста в різних географічних районах, різних природних зонах. Навколо міст, розташованих в лісовій зоні, танення снігу за даними Купріянова В.В. [6] відбувається на 5-8 днів раніше зонального. Навколо окремих міст, розташованих в зоні тундри, ця цифра сягає 32-46 днів.

Атмосфера багатьох великих міст і промислових центрів виявляється токсичною для ґрунту і рослинності. Спостереження з літака Рурської області Німеччини дозволили виявити уражені ділянки лісу. Встановлено, що більшому ураженню піддаються старі дерева, а також лісові масиви, розташовані на підвищених ділянках. Поєднання інфрачервоних і кольорових аерофотознімків є найефективнішим при виявленні інтоксикації ґрунтів та обліку загиблих дерев.

Космічні знімки тільки починають використовувати з цією метою (багатоспектральні зображення великого розрішення). Про це свідчить те, що ушкодження лісу виявилися на велико-, середньо- і дрібномасштабних знімках.

## **Спостереження за забрудненнями природних вод поблизу міст**

***Міста світу – найбільші джерела забруднення акваторій, річок, озер, морів.*** На космічних знімках ідентифікуються різні особливості антропогенного забруднення акваторій, максимальний розвиток якого спостерігається поблизу великих промислових центрів: скиди аномально нагрітих промислових та міських стоків, утворення різних активних нафтових плівок. Ці особли-

вості вдасться визначити за допомогою різноманітних індикаторів, зокрема за змінами відбивної властивості забрудненої води, водної рослинності, характером хвилювання під впливом активних плівок, виникненням теплових аномалій.

За спостереженнями з космосу, неодноразово зафіксовані зони специфічного теплового випромінювання поверхні вод. Аномально нагріті води утворюються у прибережній смузі в результаті змішування природних холодних та нагрітих промислових вод. Судячи з інфрачервоних космічних знімків, найчастіше теплові забруднення відбуваються поблизу великих міст та гірл річок, куди потрапляють нагріті стічні води. В окремих випадках контрасти температур води досягали 6-7°C (поблизу гірл Темзи, Шельди, Сени, Ельби).

Антропогенний нагрів підвищує температуру води, змінює біологічний режим водоймища, викликає захворювання, а часто і загибель флори та фауни. Тому необхідний контроль за всіма змінами термального режиму водоймищ, за скидами в них нагрітих стічних вод.

*До специфічних, маловивчених видів впливу на гідросферу належить забруднення снігового покриву.* Основним джерелом забруднення снігу є атмосфера, з якої може випадати пил, який змінює забарвлення поверхні снігу. Пил може бути природного та антропогенного походження. Піднімаючись під час пилових бур, він може переноситись на великі відстані і осідати на сніг. При таненні снігу забруднені частки пилу потрапляють в гідросферу та ґрунти.

## **Визначення типів промислових підприємств**

За аерофотознімками можуть бути визначені різні типи промислових підприємств. Оскільки від типу промислового підприємства багато в чому залежить сучасна структура міських земель, перспективи її зміни в майбутньому, а також весь стан навколишнього природного ландшафту, то можливість визначення типів підприємств набуває важливого практичного значення.

Для вирішення цієї задачі звичайно використовують аерофотознімання середнього і великого масштабу. В деяких

випадках території промислових підприємств, особливо видобувної промисловості, можна розпізнати на космічних знімках. По зображенню можна розрізнати підприємства видобувної та обробної промисловості. Серед підприємств видобувної промисловості, звичайно, можна розпізнати гірничо-, соле-, нафтовидобувну та ін. Вони мають характерні, тільки їм притаманні типи будівель і більші площі певним чином порушеного рослинного покриву. **Гірничодобувні підприємства** можуть бути представлені кар'єрами, шахтами, штольнями. Вони виділяються на аеро- і космічних знімках як позбавлені рослинного покриву ділянки (кар'єри, штольні) або за невеликими наземними будівлями (шахтами), з'єднаними гарними дорогами (покрашеними ґрунтовими або шосейними в залежності від обсягів видобутку) з розташованими поблизу з підприємствами з первинної переробки сировини, що видобувається.

При стереокосмічному розгляданні аерознімків буває добре помітна глибина кар'єрів, а при сильному збільшенні знімків і дорога, по якій відбувається вивезення сировини із дна кар'єра. У більш великих кар'єрів чітко помітні паралельні лінії східців, по яких проводилися вскришні роботи. Розкриті пласти звичайно мають яскравий світлий фототон (у вугільних кар'єрах – чорний).

**Солевидобувні підприємства** розпізнаються на аеро- і космічних знімках за поєднанням ділянок водосховищ, відгороджених дамбами, які зображаються різним фотоном. На знімках, отриманих в синій зоні, чітко видно білі плями солевих корок на готових для розробки ділянках. У випадку багатозональної зйомки райони видобутку солі можна розпізнати за цими сольовими корками і на космічних знімках.

**Нафтодобувні райони** впевнено розпізнаються на аерофотознімках масштабу 1: 50000 і крупніших за наявністю великого числа чорних точок, розкиданих по території. На особливо великих родовищах точки можуть перетворюватися в окремі чорні плями, навколо яких звичайно сильно порушений рослинний покрив і проходить багато транспортних шляхів.

В тих випадках, коли видобуток нафти супроводжується запалюванням попутного газу, факели можуть бути помітними навіть на середньомасштабних космічних знімках.

**Підприємства промисловості, що обробляє,** можуть бути розпізнані на великомасштабних знімках і поділені у відповідності з процесами, що використовуються при обробці сировини (механічним, тепловим і хімічним). Кожне з таких виробництв має свої характерні елементи. Для механічного процесу типові відстійники, дробарки і т.д. Для теплового процесу характерні купи вугілля (а в деяких випадках шлаків і флюсів), високі димові труби, можуть бути трубопроводи. Для хімічного – труби малого діаметра.

### **Використання матеріалів аеро- і космічної зйомок для вивчення розселення та оцінки засвоєння території**

*Інвентаризація ґрунтів.* Цікавість до міської території викликана в першу чергу її швидким зростанням в умовах дефіциту земельних ресурсів, який швидко зростає. Це вимагає точного врахування і максимально раціонального використання земельних фондів.

На створюваних картах використання міських земель в першу чергу фіксуються ділянки різноманітного функціонального використання. Вони розрізняються за характером планування, типу будівель, особливостями навколишнього ландшафту, положенням відносно транспортних шляхів і т.д. На картах звичайно виділяються житлові і промислові зони, землі, вільні від забудови, і т. д. з подальшим підрозділом цих типів на підтипи.

При дослідженні такого мобільного елемента культурного ландшафту оперативність засобів, що використовуються, має вирішальне значення. Саме тому космічні знімки почали використовувати в першу чергу для вивчення динаміки міст. Вирішенню цієї задачі сприяє і можливість періодичного повторення зйомок, бо на підставі цих зйомок складаються серії карт використання міських земель, що фіксують стан на різноманітні дати.

На підставі карт використання міських земель може проводитися виділення фактичного кордону міста. Проведення цих кордонів є надто актуальним завданням, бо наявність таких кордонів дозволяє обчислювати площі населених пунктів, визначати щільність їхньої забудовлі і щільність населення.

**Виявлення агломерацій.** Використання знімків дозволяє підійти до цього питання шляхом розгляду зв'язків не окремих населених пунктів, а всієї їхньої сукупності на значній території.

Існує **три ознаки наявності агломерації**, що виявляються за допомогою знімків.

- **Перша** – більш яскрава відображеність на знімку агломераційних зв'язків у порівнянні з системоутворюючими зв'язками відповідного рівня.

- **Друга** – співвідношення між чисельністю населення центру і чисельністю населення в зоні його впливу.

- **Третя** – переважне зростання територій ближчих населених пунктів один назустріч іншому. Процес зростання добре помітний при порівнянні серії знімків зроблених з інтервалами в 5-10 років, або при зіставленні знімків зі старими картами.

Таким чином, серії різночасових аерокосмічних знімків можуть бути цінним матеріалом для контролю за зростанням і розвитком населених пунктів, виявлення потенційних і існуючих агломерацій, тощо.

**Вивчення транспортної мережі.** Оскільки лінійні елементи зображаються на дрібномасштабних знімках дуже добре, то на них яскраво виступає транспортна мережа. На знімках помітні дороги, ширина яких в чотири рази менша ширини мінімальних площадних об'єктів, що зображаються. З сухопутних шляхів сполучення найкращим чином відображаються покращені ґрунтові дороги і шосе. Чіткість зображення непрофільованих ґрунтових доріг залежить від навколишньої ситуації. Зображення залізних доріг менш чітке, ніж автомобільних; в основному вони зображаються завдяки насипам, виїмкам і т.і.

## Дистанційні дослідження сніготанення поблизу промислових центрів і можливості спостереження цього процесу дистанційними засобами

Сніговий покрив, який є одним з основних джерел води для багатьох річок, став у теперішній час також джерелом додаткового забруднення річкових, озерних і ґрунтових вод. Чистий за своєю природою об'єкт **сніг став природним накопичувачем і перерозподільником забруднень, що потрапляють у сніговий покрив в основному з атмосфери**. Підвищилась загальна фоновна забрудненість снігового покриття на земній кулі. І тепер найчистіші проби снігу відбираються в горах на великих висотах. Вони можуть бути еталоном для порівняння. Наприклад, у пробах снігу, що відбиралися на висоті 5000-6900 м (Памір), відзначена мінералізація менше 10 мг/л, а вміст окремих металів (Cu, Zn, Mn) не перевищував 0,003 мг/л. В промислових районах, поблизу металургійного виробництва, концентрація металів у пробах снігу може бути вищою в 100 разів і більше. Значна доля забруднень зі снігового покриття в підсумку опиняється в річках та озерах. Підраховано, наприклад, що в сніговому покриві на озерному водозборі розміром 2920 км<sup>2</sup> (в Канаді) міститься близько 30 кг фосфору. Припускається, що більша частина цього фосфору потрапляє в озеро Кун-Лейк (площею 0,35 км<sup>2</sup>), особливо у випадку сніготанення при мерзлих ґрунтах.

Безумовно, не вся маса забруднень, що визначається в сніговому покриві, потрапляє в річки та озера. Існують певні співвідношення між кількістю забруднень в снігу на водозборі і в річці або в озері, куди надходить вода від сніготанення. Та частина забруднень, що не потрапила в річку або озеро з талими водами, часто стікає пізніше, з водами дощових потоків.

Наземні засоби спостереження забрудненості території ґрунтуються на відборі проб снігу в період максимальних снігозапасів при виконанні зйомок на мережі гідрометеостанцій. Однак, результати не завжди виходять репрезентативними. Справа в тому, що маршрути снігознімання на метеостанціях розташовані на різних відстанях від промцентрів і часто дають за забруднені-

стю випадкові результати. Детальне обстеження промцентрів – трудомістка робота, що виконується лише в експериментальному порядку.

Для обґрунтування можливостей дистанційного спостереження снігового покриву в зоні впливу промисловості необхідно вивчити особливості танення забрудненого снігового покриву.

Якщо процес танення природного незабрудненого снігового покриву вивчений достатньо добре, то механізм поведінки снігового покриву при великій поверхні і внутрішньомасовій забрудненості поки вивчений недостатньо. Додаткова забрудненість, яка за кількістю значно перевищує фонову, скоріше за все, діє як каталізатор процесу перекристалізації і танення снігу. Забруднений з поверхні сніговий покрив реагує на найменше збільшення надходження сонячної радіації. Альbedo поверхні знижується, що збільшує позитивний радіаційний баланс і призводить до відкриття прихованих доз забруднення, а це, в свою чергу, ще більше зменшує альbedo снігової поверхні. Такий процес, який ще й самоприскорюється, призводить до більш раннього танення і сходу забрудненого снігового покриву.

Схід снігового покриву перш за все розпочинається на більш забруднених ділянках, тому товщина шару і щільність снігу, а також ступінь покриття території снігом тут знижуються до нуля. Найбільш показовим за станом снігового покриву параметром є альbedo поверхні. Межами його вимірів є значення альbedo снігу, який щойно випав, і альbedo земної поверхні за відсутності на ній снігу. Між цими межами альbedo змінюється відносно до кількості забруднення, що знаходиться на поверхні снігу у кожній точці в даний момент часу, а також враховуються супутні зміни вологості і структури снігової поверхні. Варіації яскравості снігового покриву аналогічні змінам альbedo поверхні. Таким чином, зовнішніми показниками процесу є альbedo поверхні, ступінь покриття території снігом та яскравість зображення на знімку.

В реальних умовах картина істотно змінюється і буває різноманітною для різних промцентрів, однак, як показують попередні польові дослідження, загалом процес подібний тому, що описаний вище.

Розробки з використання дистанційних засобів для вимірів забрудненості снігового покриву мають величезне екологічне значення. Забрудненість снігового покриву істотно прискорює сніготанення і, відповідно, трансформує сток талих вод з урбанізованого водозбору. Крім того, забруднений сніг сприяє надходженню шкідливих домішок у води річок та озер, що також не може не турбувати екологів. З'ясовано, що за супутниковими ТВ- зображеннями, що отримуються з ШСЗ «Метеор» у зимово-весняний період, на фоні снігового покриву можна оцінити наступні характеристики промислових районів:

- розмір площі зони впливу міста;
- розмір площі найбільш відчутного забруднення території;
- напрямок і дальність перенесення забруднень від промцентру в зимовий період;
- кількість промислових ареалів на річковому водозборі та їх сумарну площу;
- протяжність періоду прискореного сходу снігового покриву в сфері впливу промцентру порівняно з сусідніми незабрудненими ділянками.



## Контроль-колоквіум з МОДУЛЯ 2

1. Охарактеризуйте забруднювачі атмосферного повітря (хлор, сірководень, окис вуглецю, аміак).
2. Які прилади використовують для визначення дальнього переносу газоподібних забруднень?
3. Які дистанційні засоби найбільш придатні для виміру потоків газів і аерозолів?
4. За допомогою чого є можливим визначення елементного складу аерозолів?
5. Яким чином виявляється хімічне забруднення води нафтовими плямами і іншими поверхнево активними плівками (сліками)?
6. За якої умови можна виконати ідентифікацію нафтових забруднень моря?
7. Перерахуйте методи дистанційної індикації засолення ґрунтів
8. Що слід розуміти під ґрунтово-сільськогосподарським моніторингом?
9. Визначте напрямки застосування космічних знімків у сільському господарстві.
10. Які задачі допомагає вирішити аерокосмічне дослідження агроландшафтів?
11. Де та коли було зроблено перші спроби використання дистанційних методів для вивчення рослинності?
12. Як на знімках дешифрують лісові пожежі?
13. В чому складність вивчення болотних ландшафтів?
14. Які можуть вирішуватися питання за допомогою дистанційних методів щодо вивчення боліт?
15. Які види знімання використовуються при моніторингу тваринного світу?
16. Які питання можливо вирішувати при вивченні урбанізованих територій за допомогою космічного знімання?
17. Які переваги є у дослідженні культурного ландшафту аерокосмічними методами?
18. Які зміни водних об'єктів можна фіксувати за допомогою аерокосмічних методів дослідження

19. Які методи екологічного прогнозу розрізняють?
20. Яка головна перевага космічних знімків перед звичайними аерофотознімками?
21. Чим визначаються оптичні і радіаційні властивості екосистем?

Міністерство освіти та науки України  
Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна  
Екологічний факультет  
Кафедра екології та неоекології  
Тест – контроль з модуля 2  
(77 балів)

Прізвище, ім'я, по батькові \_\_\_\_\_

№ зал. книжки \_\_\_\_\_

Дата контролю \_\_\_\_\_

Тривалість контролю \_\_\_\_\_

**Частина 1( 33 б.)**

**(Творчо-алгоритмічний рівень пізнання)**

**Умови виконання завдання:** *Дайте короткі відповіді:*

1. Які прилади використовують для визначення дальнього переносу газоподібних забрунень? \_\_\_\_\_ (4 б.)
2. В яких випадках доцільно застосовувати розміщені на стаціонарних постах дистанційні засоби виміру?  
\_\_\_\_\_ (5 б.)
3. Яким чином виявляється хімічне забруднення води? \_\_\_\_\_ (8 б.)
4. Що називають температурною аномалією водної поверхні? Внаслідок чого вона виникає?  
\_\_\_\_\_ (6 б.)
5. Що розуміють під поняттям «аерокосмічний ґрунтовий моніторинг»? \_\_\_\_\_ (10 б.)

**Частина 2 (13 балів)**

**(Алгоритмічний рівень пізнання)**

**Умови виконання завдання:** *Вставте пропущені слова, вирази, числа, тощо.*

1. Серед наземних дистанційних вимірів найбільш систематизовано організовані спостереження \_\_\_\_\_ (3 сл.) в усій товщі атмосфери (3 б.).

2. Вплив людини на гідросферу розпізнається за допомогою багатоспектральних

\_\_\_\_\_ (4 сл.) забруднення.

3. На знімках пожежі в лісі дешифруються за \_\_\_\_\_ (2 сл.), що мають \_\_\_\_\_ (1 сл.) форму і значну довжину (3 б.).

4. Оптичні та радіаційні властивості екосистем визначаються в першу чергу \_\_\_\_\_ (2 сл.), а також \_\_\_\_\_ (1 сл.) (3 б.).

### Частина 3 (7 балів)

#### (Репродуктивний рівень пізнання)

**Умови виконання завдання:** *Визначте чи вірно наведене твердження.*

- |   |     |    |
|---|-----|----|
| 1. При контролі викидів дистанційні методи використовуються для спостережень в факелах та під факелами.                         | Так | Ні |
| 2. В атмосфері неможливо виявити різноманітні малі за вмістом домішки хімічних сполук за допомогою дистанційних методів виміру. | Так | Ні |
| 3. Ідентифікацію нафтових забруднень моря можна виконати тільки за космознімками високого розрішення.                           | Так | Ні |
| 4. Дистанційні методи не дозволяють виявити нафтові забруднення на стадії сліку (плівки).                                       | Так | Ні |
| 5. Найпростішим і найефективнішим методом отримання інформації про ерозійні процеси є аерофотознімання.                         | Так | Ні |
| 6. Перспективним напрямком у аерокосмічному ґрунтовому моніторингу є спостереження за динамікою ґрунтів.                        | Так | Ні |
| 7. За аерофотознімками можуть бути визначені різні типи промислових підприємств.  | Так | Ні |

#### Частина 4 (10 балів)

(Репродуктивно-алгоритмічний рівень пізнання)

Умови виконання завдання: *Знайдіть відповідність показників групи А одному або декільком показникам групи Б*

##### Група А

- А Дистанційне зондування атмосфери
- Б Використання аерокосмічних методів в ґрунтознавстві
- В Цикл лісоінвентаризації

##### Група Б

- 1. Складання ґрунтових карт
- 2. Пилове забруднення атмосфери
- 3. Підготовчий період
- 4. Вулканічне забруднення атмосфери
- 5. Забруднення атмосфери від локальних джерел
- 6. Розробка удосконалених методик вивчення ґрунту
- 7. Камеральна обробка даних
- 8. Вивчення складу та властивостей ґрунту
- 9. Забруднення атмосфери димами природних пожеж
- 10. Польові роботи

А.	
Б.	
В.	

#### Частина 5 (14 балів)

(Репродуктивний рівень пізнання)

Умови виконання завдання: *Знайдіть вірну відповідь серед наведених.*

- 1. При контролі чистоти атмосферного повітря в містах ставляться такі задачі: а) контроль викидів; б) визначення

- хімічного складу викидів; в) контроль рівня забруднення; г) визначення ступеня токсичності забруднюючих речовин.
2. Перед дистанційними засобами дослідження забруднення океану нафтою ставляться наступні задачі: а) виявлення нафтової плівки; б) визначення площі забруднення; в) визначення шляхів очистки від нафти; г) визначення віку забруднення; д) визначення напрямку переміщення нафтової плівки.
  3. За допомогою дистанційного зондування можна вивчати такі характеристики ґрунту: а) вологість; б) теплові властивості; в) механічний склад; г) вміст гумусу.
  4. В застосуванні космічних знімків у сільському господарстві існує декілька напрямків: а) прогноз родючості; б) вивчення пасовищних ресурсів; в) інвентаризація с/г ґрунтів; г) виявлення захворювань і пошкоджень посівів; д) с/г картографування.

### **Частина 6 (24 бал)**

#### **(Творчий рівень пізнання)**

**Умови виконання завдання:** *Визначте: Що треба зробити, якщо... Викладіть свою точку зору щодо наведеного: Що буде, якщо...*

1. З якою метою проводяться дистанційні дослідження вмісту хлорофілу в листях рослин?  
\_\_\_\_\_ (6 б.)
2. Чому, на вашу думку, масштаби забруднення містами суміжних територій стали зрозумілими лише після аналізу даних спостережень з космосу?  
\_\_\_\_\_ (8 б.)
3. Визначіть, яким чином значення альbedo міст вирізняє їх серед природних ландшафтів?  
\_\_\_\_\_ (10 б.)

## **МОДУЛЬ 3**

### *ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБРОБКИ ТА ДЕШИФРУВАННЯ АЕРОКОСМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ*

#### **Програмні матеріали до модуля 3**

Геоінформаційні системи (ГІС - технології) являють собою інформаційні системи, що забезпечують збір, збереження, обробку, доступ, відображення та розповсюдження просторово-координованої інформації. ГІС містить дані про просторві об'єкти у формі їх цифрових уявлень. Спектр використання ГІС-технологій надзвичайно широкий. Їх використовують при створенні кадастрів, у водному, лісовому та сільському господарстві, у географічних та екологічних дослідженнях, інженерному проектуванні, регіональному управлінні. Розробки ГІС використовують як ефективний засіб управління навколишнім середовищем.

Сучасні географічні інформаційні системи не обходяться без дистанційних даних (тобто космічної та аероінформації, що зафіксовано на різноманітних носіях), оскільки саме ця інформація є найбільш об'єктивною, достовірною, динамічною та широкомасштабною як у часі так і у просторі. Дистанційні спостереження надають таку багатоаспектну інформацію, яку неможливо отримати іншими методами: наприклад, розповсюдження нафтових забруднень по поверхні океану, розповсюдження забруднення у вигляді димових шлейфів або визначення ареалів розповсюдження захворювання великих лісових масивів і інші характеристики, які отримують безпосередньо або створюючи математичні моделі. Крім того, використання аерокосмічних знімків у межах ГІС надає значно більше

можливостей, завдяки використанню найрізноманітнішої додаткової інформації, що зберігається у базах ГІС-даних.

Створення дистанційних інформаційних систем передбачає паралельне функціонування космічної системи дослідження за природними ресурсами та екологічним станом окремих регіонів, використання авіаційних засобів, наземних та морських мобільних і стаціонарних вимірвальних засобів, а також системи наземної складової – це сітка центрів прийому та обробки дистанційних даних, що орієнтується на повну автоматизовану обробку дистанційних даних і дозволяє отримати графічні і картографічні результати, в тому числі у вигляді тематичних карт.

І нарешті, однією з найважливіших проблем сучасності, яка потребує постійно діючих дистанційних спостережень і створення глобальних інформаційних систем є проблема забруднення „космічним сміттям” навколоземного простору. Регулярні дослідження та створення глобального банку даних, його постійний аналіз та оновлення щодо поведінки об’єктів космічного сміття у ближньому космічному просторі можуть попередити непередбачені і небажані для землян катастрофічні явища.

### **▲ Нормативні навчальні елементи з МОДУЛЯ 3:**

1. Геоінформаційні системи (ГІС)
2. Глобальна система спостереження Землі EOS
3. Дешифрування
4. Польове дешифрування аерофотознімків
5. Камеральне дешифрування
6. Прямі дешифрувальні ознаки
7. Непрямі ознаки дешифрування
8. Фотоплан
9. Фотокарта
10. Фотосхема
11. Стереопара
12. Фото трансформування
13. Екологічні карти
14. Еталонування зображень



15. Цифрування (дигіталізація)
16. Кольорокодування
17. Квантування
18. Кластеризація
19. Інформаційний блок
20. Модельна частина
21. Космічне сміття
22. Пасивні засоби боротьби із забрудненням НП
23. Хімічне забруднення космічного простору
24. Механічне забруднення
25. Космічна екологія (екологія ближнього Космосу)

**Література**  
**рекомендована для вивчення модуля та**  
**підготовки до колоквиуму**

- *Альтер С.П.* Ландшафтный метод дешифрирования аэрофотоснимков. – М.: Наука, 1966. – 110 с.
- *География, общество, окружающая среда. Природно-антропогенные процессы и экологический риск.* / Под ред. чл.-кор. РАН Н.С. Касимова. – М.: Изд дом «Городец», 2004. – 615 с.
- Глобальные проблемы современности: Региональные аспекты. Сборник трудов – М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт системных исследований, 1988. – Вып. 5.– 197 с.
- *Ковалев В.А.* Об одном способе обработки сигнала лазерного зондирования. Труды ГГО, 1973. – Вып. 5.– С. 128-133.
- *Кондратьев К.Я., Покровский О.М.* Глобальная экология: дистанционное зондирование // Итоги науки и техники. – Т. 14. – М.: ВИНТИ, 1992. – 310 с.
- *Кравцова В.И.* Космические методы в картографировании. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – 106 с.
- *Лурье И.К., Косиков А.Г.* Теория и практика цифровой обработки изображений // Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Под ред. А.М. Берлянта. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.

- Методические рекомендации по дешифрированию космической информации для картографического обеспечения мероприятий по охране окружающей среды. – М.: Знание, 1988. – 120 с.

## **Навчальні матеріали до модуля 3**

### **3.1 СУЧАСНІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ**

Космічні зображення земної поверхні містять таку кількість інформації, що для її обробки необхідно використовувати сучасні комп'ютерні технології. Підраховано, що на один знімок, виконаний камерою МКФ – для всіх шести спектральних діапазонів, потрібно біля 170 Мбайт даних [2]. Природно, переважна частина цього обсягу для вирішення різноманітних екологічних задач не потрібна, а використання методик спеціального візуального дешифрування і обробки аерокосмічної інформації часто носить суб'єктивний характер, що залежить від кваліфікації дешифрувальника. Останній керується деякою власною понятійною схемою, пропускаючи часом інформацію, корисну для вирішення тієї або іншої задачі. При цьому критерієм виявлення, ідентифікації і класифікації корисної інформації є зміни фототону або колірних відтінків.

Інтерпретація космічних знімків значно збагачується, якщо об'єкти, що вивчаються, або одиниці ландшафту диференційовані, контрастовані і точно прив'язані до місцевості. Фактично перетворення первинної інформації відбувається за відповідними параметрами ГІС і з використанням системи обробки інформації, за якою здійснюються пошарове накопичення інформації про різноманітні природні об'єкти.

Основними об'єктами дешифрування аерокосмоснімків є ті лінійні і площадні елементи ландшафту і відповідно фотозображень, що відповідають певним структурним елементам, природним явищам і процесам, екологічній обстановці. Для зменшення суб'єктивізму при дешифруванні аерокосмічної інформації і отриманні вірогідних параметрів про природні об'єкти (наприклад, про площу забруднених земель або інтенсивність ерозійних процесів, питому щільність розломів

певних напрямків) при тематичній обробці і аналізі його результатів.

Звичайно є розбіжності між значеннями гідрологічних, геоботанічних або ландшафтних змін, що отримують при дешифруванні з космічних знімків, і значеннями, отриманими при польових дослідженнях. Для ліквідації такої несумісності з частини параметрів потрібно виводити середнє, хоча при цьому їхня вірогідність дещо знижується.

Якщо в дослідженнях з допомогою ГІС якого-небудь конкретного об'єкта необхідна висока точність (наприклад, моделі опади – поверхневий стік – джерела забруднень в районі водосховища), то для характеристики просторово-розподілених гідрогеоecологічних моделей цілком достатньо середніх даних (наприклад, при виявленні закономірностей розподілу і кількісної оцінки поверхневого стоку регіону в моделях опади-поверхневий стік).

Створення таких інакших моделей сприяє виробленню стратегії і управління екологічним станом водних ресурсів регіону.

## **Організація геоінформаційних систем для моделювання антропогенних порушень великих регіонів**

На сучасному етапі зростаючого антропогенного впливу прогноз і аналіз стану навколишнього природного середовища стає одним з умов прийняття управлінських рішень. Для вирішення багатьох екологічних проблем, задач збалансованого природокористування великих регіонів необхідне створення систем інформаційного забезпечення, що повинні включати ряд підсистем, таких, як моніторинг НС, кадастрове врахування природних ресурсів, регіональний прогноз наслідків великих господарських проектів в районах з максимальною концентрацією промислового і сільськогосподарського виробництва.

У сучасних умовах інтенсифікації антропогенного навантаження оперативна екологічна інформація виступає не

тільки як обов'язковий чинник прийняття рішень через здійснення екологічних експертиз, але і як ресурс зі своїми специфічними вимогами і засобами його отримання і обробки. Для цього необхідне створення спеціальних систем автоматизованого збору, обробки і подання природної інформації для прийняття управлінських рішень в області охорони та оптимізації навколишнього природного середовища (НПС).

Практичні задачі прогнозування стану НПС створюють передумови інтенсифікації досліджень, розробки інноваційних технологій при вивченні природних і техногенних систем регіонального і глобального рівня.

Важлива роль у вирішенні цих задач відводиться створенню **геоінформаційних систем (ГІС)** – систем призначених для збору, зберігання, перетворення і подання інформації про стан та динаміку компонентів навколишнього середовища.

Особливе місце в регіональних дослідженнях займають питання впливу техногенного навантаження на природні системи і здоров'я людини. Аналіз цих задач вимагає одночасного вивчення поряд з природними системами також господарських систем всього набору чинників техногенного впливу на середовище. Тому комплексні ГІС окрім природної інформації включають дані соціально-економічного характеру, що робить можливим регіональний прогноз стану довкілля.

Найбільший ефект від застосування ГІС досягається в тих областях, де оперативність в обробці і поданні інформації виходить на перший план – моніторинг НПС, обробка даних дистанційного зондування і ін.

Побудова ГІС включає як технічні задачі, так і проблеми природничо-наукового плану. Важливе місце при організації ГІС відводиться географічним принципам створення інформаційної системи – структуризації географічної, екологічної та ін. інформації для її активного перетворення і зберігання в електронному

форматі, логічна структура якої повинна відбивати ієрархічність і взаємопов'язаність природних комплексів і їхніх природних компонентів.

Основні вимоги до інформаційних масивів ГІС як систем регіонального прогнозу – наявність територіальної прив'язки даних, що найбільш природно при використанні карт як основного джерела інформації.

На теперішньому етапі при організації ГІС виявляється тенденція використання ідей і засобів системного аналізу. Загальною методологічною основою служить системний підхід, що розглядає отримання інформації, питання її змістовної інтерпретації як етапи єдиного процесу пізнання закономірностей геосистем.

Системність виявляється, передусім, в чіткій конкретизації мети і задач створення ГІС, оцінці інформації, що надходить, як характеристика природних та природно-техногенних комплексів різного ієрархічного рівня, а самий процес аналізу даних, в тому числі засобами моделювання, – як дослідження структури і закономірностей розвитку природно-територіальних та антропогенних комплексів.

### **ГІС включає наступні структурні елементи:**

**Інформаційний блок** (банк даних модельного регіону). Змістовна структура блоку визначається різною інформацією про природні умови, соціально-економічні чинники, що містять дані про господарське використання територій, техногенні чинники впливу на навколишнє середовище, рівень забруднення компонентів довкілля .

**Блок потенційних і математичних моделей.** Є головною частиною ГІС, здійснює операції, що забезпечує оперативну переробку інформації, яка надходить.

**Блок сценаріїв, підготовки і оформлення рекомендацій для прийняття рішень.** Включає підсистему діалогового моделювання, прогнозу явищ або процесів, що досліджуються, розробку альтернативних варіантів про заходи, що рекомендуються. Важливий розділ цього блоку – підсистема оперативного картографічного відображення, що відповідає вимогам осіб, приймаючих рішення.

У теперішній час для оцінки стану антропогенних порушень НПС найбільшого розповсюдження отримала побудова екологічних моделей. В задачах регіонального екологічного прогнозування комплексний підхід у дослідженнях можливих антропогенних змін НПС.

*Один з центральних моментів при організації ГІС є формування набору інформативних показників, достатнього для комплексної характеристики природного регіону, вибір оптимальної інформаційної основи для ГІС, що створюється.* Виходячи з вимоги здійснення комплексного аналізу стану параметрів середовища, в якості базової інформації ГІС може бути обрана ландшафтна карта, що комплексно розкриває закономірності просторової організації природного середовища і тенденції її зміни під впливом природних і антропогенних чинників.

В залежності від характеру задач, що вирішуються, окрім ландшафтної карти в якості інформаційних джерел можуть бути використані інші тематичні карти. Ландшафтна карта може доповнюватись картою антропогенних змін природних комплексів, картою сучасної рослинності, а також водозборів. В банк даних, що сформувався, також введеться карти адміністративних районів, основних населених пунктів, транспортної і гідрографічної мережі тощо.

*Інформаційний зміст ГІС залежить від мети і задач, що вирішуються в рамках системи регіонального прогнозу.* Окрім картографічної інформації в банк даних вводяться різноманітні статистичні дані, властивості, що характеризують динамічні зміни природних комплексів і їх окремих компонентів.

Отже, структура інформаційного блоку ГІС повинна бути «налаштована» на характерні часи явищ природних процесів, що вивчаються. Виходячи з цього, вирішується питання про регулярності проведених спостережень, поновлення і нарощування масивів ГІС.

Модельна частина ГІС включає набір модулів для математичного моделювання динаміки процесів міграції речовини у природних ареалах, а також алгоритми автоматизованого подання модельних результатів у вигляді тематичних карт.

В ГІС передбачено два режими моделювання – **за типологічним принципом** (розраховується прогноз для репрезентативного природного контуру і отримані результати екстраполюються на всі однотипні ділянки) і **локальним** (настройка і розрахунок моделі виконуються для кожного контуру ландшафтної карти).

Інша група алгоритмів підтримує всі картографічні і картометричні роботи: дешифрування матеріалів дистанційних досліджень, побудова картографічних зображень, обчислення площ контурів, визначення відстаней, накладання серії карт тощо.

Зміст ландшафтної карти відображається у банку даних за допомогою спеціального класифікатора – певним чином закодованої легенди ландшафтної карти. Розробка алгоритмів, що використовують дані класифікатора, забезпечує можливість оперативної побудови широкого набору прикладних карт: геохімічних бар'єрів, еолового переносу і т. і. [16].

## **Геоінформаційні системи і автоматизована обробка аерокосмічних знімків**

Системи автоматизованої обробки даних дистанційного зондування складаються з тих же основних підсистем, що й географічні інформаційні системи – введення, зберігання, обробка та представлення результатів. Це сприяло їх програмно-технологічній інтеграції з ГІС, через це для роботи з аерокосмічною інформацією в якості програмного забезпечення використовують сучасні програмні растрові та інтегровані ГІС-пакети. Різні типи ГІС-пакетів надають користувачам різні можливості з обробки знімків, що забезпечені закладеними в них програмними засобами аналізу та інтерфейсу. Як правило, ці засоби включають деякий обов'язковий стандартний набір інтерактивних процедур попередньої корекції, трансформування та класифікації знімків з візуальним контролем їх виконання на екрані монітору в комплексі з іншими ГІС-технологіями. Усі розширення чи модифікації цього набору призначені для вирішення задач різних рівнів складності при



багатосторонньому використанні даних дистанційного зондування. До ГІС-пакетів зі стандартними можливостями відносяться Idrisi, Multy Spec, серед повно функціональних ГІС-пакетів виділяються ERDAS IMAGINE, TNT mips, ER Mapper, ILWIS, GRASS. З точки зору можливостей цифрової обробки знімків ці пакети відрізняються в основному набором засобів інтерфейса користувачів та їх зручністю [63].

Розроблені до теперішнього часу методи автоматизованої обробки знімків і приклади їхнього практичного застосування для вирішення широкого кола задач показують необхідність і реальну можливість їхнього включення в ГІС.

При автоматизованій обробці аерокосмічної інформації та її співставленні з різноманітним картографічним матеріалом отримують більш об'єктивні дані. З використанням комп'ютера така операція називається оверлайн.

**Оверлайн** – це процедура геометричного сполучення знімків, карт і інших просторових даних, що виконується за допомогою спеціальних комп'ютерних програм. Також усі ці дані змістовно обробляються з метою отримання нової просторово-часової інформації. Така операція має важливе значення для функціонування ГІС.

У світі існує декілька тисяч реальних ГІС; вони істотно розрізняються за функціями, територіальним охопленням, колом розв'язуваних задач і т.і. З найбільш великих закордонних проєктів (США) кінця ХХ сторіччя слід зазначити створену *глобальну систему спостереження землі* EOS (Earth Observation System), що об'єднувала як космічне спостереження в різних діапазонах спектра за допомогою діючих і планованих супутників, так і наземні спостереження. Вона включала систему збору наземних даних, їхнього наукового аналізу і керування експериментами на орбіті. Бази даних EOS і інформація, що одержувалася іншими системами, поєднувалася за допомогою інформаційної мережі.

Наприкінці 80-х років ХХ сторіччя у колишньому Радянському союзі функціонувала галузева автоматизована інформаційно-керуюча система (АІКС) «Агроресурси», у якій вирішувалося два основні типи задач керування

агропромисловим комплексом: оперативні (контроль за станом культурної рослинності протягом усього вегетаційного періоду) і довгострокові (оцінка стану земельного фонду, засолення, опустелення, еродування земель). У системі «Агроресурси» здійснювалася комплексна автоматизована обробка знімків, картографічних документів, економіко-статистичної інформації. Для збереження цієї інформації і її використання були створені три види баз даних: контурна (картографічна інформація про планові елементи місцевості), коміркова включала дані дистанційних вимірів, організовані за регулярною мережею, крапкова.

Створення повномасштабних державних ГІС вимагає дуже значних капіталовкладень у розвиток космічної індустрії ґрунтовних інженерно-технічних розробок, зацікавленості держави і певних адміністративних та бізнесових структур, що допоможе зробити важливий крок на шляху створення загальнодержавних і міжнародних систем керування та оптимізації навколишнього середовища на основі космічної інформації.

## 3.2 ОСНОВИ ДЕШИФРУВАННЯ ЗНІМКІВ

### Суть, види, засоби дешифрування знімків

**Дешифрування аерокосмознімків** – це процес, за допомогою якого розкривається зміст аерокосмознімків, тобто встановлюється відповідність між об'єктами досліджень та їх фотографічними зображеннями; виявляється якісна та кількісна характеристика об'єктів їх взаєміне положення та

Виявлення і розпізнавання на знімках об'єктів місцевості, морфометричних і морфологічних характеристик, встановлення

взаємозв'язку їх з іншими об'єктами представляє суть дешифрування.

***Процес дешифрування знімків може бути представлений трьома послідовними ступенями:***

- ✓ виявлення об'єктів, зображених на аерокосмознімку, що визначається сукупністю багатьох чинників;
- ✓ індикація цих об'єктів, тобто встановлення в самому загальному вигляді їх кількісних і якісних характеристик, а також зв'язків, існуючих між об'єктами;
- ✓ інтерпретація об'єктів, тобто формування понять і існуючих заключень про суть об'єктів, що дешифруються.

Залежно від призначення і задач, що вирішуються, розрізняють два види дешифрування знімків: *загальногеографічне і галузеве або спеціальне.*

**Загальногеографічне дешифрування** знімків виконується з метою узагальненого відображення елементів ландшафта місцевості – рослинності, рельєфу, гідрографії, населених пунктів, дорожньої сітки. Воно включає два види дешифрування знімків – *ландшафтне і топографічне.*

- **ландшафтне дешифрування** полягає в регіональному чи типологічному районуванні місцевості для виконання різних досліджень з вивчення ландшафтів земної поверхні.
- **топографічне дешифрування знімків** полягає в виявленні і розпізнаванні на знімку об'єктів місцевості, що є елементами складу топографічних карт.

У процесі топографічного дешифрування на аерознімок наносять також об'єкти, які за тими чи іншими причинами не відобразились на знімках, а також відбувається відбір і узагальнення топографічних об'єктів і предметів місцевості.

Матеріали аерокосмічних зйомок широко використовуються при вирішенні багаточисельних задач, пов'язаних із вивченням ресурсів тієї чи іншої території.

**Галузеве або спеціальне дешифрування** – розуміється вивчення за знімками окремого компонента ландшафта чи явища.

Процес дешифрування знімків може приймати різні форми. У методичному відношенні основою дешифрування знімків є сполучення польових і камеральних робіт.

**Польове дешифрування знімків** виконується в камеральних умовах шляхом розпізнавання об'єктів за їх фотографічним зображенням із використанням різних топографічних і довідкових матеріалів, еталонів дешифрування.

**Камеральне дешифрування** здійснюється тільки для тих об'єктів, які безпомилково розпізнаються на фотознімках.

Найбільш ефективне і достовірне сполучення польового і камерального засобів дешифрування. У цьому випадку в камеральних умовах дешифрується максимально можлива кількість об'єктів, у польових умовах проводять дешифрування невідображених об'єктів: набір недостатніх метричних та інших характеристик.

При використанні процесу розпізнавання відображених образів використовують дешифрувальні ознаки об'єктів місцевості:

**Розмір об'єкту** на знімку – одна з основних прямих ознак, що дозволяє за довжиною, шириною і стереоскопічною висотою виділити об'єкт з ряду однорідних і співставити з розміром інших об'єктів (при умові однакових масштабів знімків).

**Прямі дешифрувальні ознаки**, що дозволяють безпосередньо визначати особливості і характеристики об'єктів земної поверхні, що притаманні майже усім об'єктам місцевості, які відображені на знімках. До числа таких ознак належать: рельєф, форма, колір і фототон об'єктів, структура зображення, тіні об'єктів.

**Форма об'єкту** на аерознімку характеризується його загальним окресленням у плані, об'ємністю і характером меж. Виділяють геометричну, лінійну, компактну і об'ємну форми об'єктів.

**Фототон зображення** об'єктів на знімку дуже важливий, але найбільш мінлива пряма дешифрувальна ознака. Залежить вона не тільки від властивостей самого об'єкту, але й від освітленості предмету, пори року і умов фотографічної обробки.

**Колір об'єктів** на знімках з натурною або умовною кольоропередачею є одним з найбільш важливих прямих дешифрувальних ознак. Зображення об'єктів у природних або штучних кольорах дає більш широкі можливості для дешифрування, ніж чорно-біле зображення. При оцінюванні кольорів об'єктів, зображених на знімках використовуються спеціальні атласи, де основна характеристика кольорів робиться за кольоровим тоном, а додаткова – за насиченністю і яскравістю тонів.

**Структура фотозображення** являє собою сукупність зображення окремих елементів даного комплексу, що характеризують особливості ґрунтово-рослинного покриву, гідрографії, елементів рел'єфу місцевості і т.д. Вона відображає також особливості їх взаємного розташування, характер і величину інтервалів між цими елементами, а також їхні геометричні та оптичні властивості. Характер структури фотозображення визначає зовнішній вигляд поверхні об'єкту місцевості. Об'єкти місцевості за структурою зображення можна класифікувати за геометричним принципом на основі врахування зовнішніх особливостей складаючих їх зображень. Виділяють зернисту, смугасту, геометрично правильну структуру зображення.

**Тіні об'єктів**, що зафіксовані на аерокосмознімках, можуть бути власними, тобто об'єкту на ньому самому, або падаючі, тобто тіні, що відкидаються одними об'єктами на інші або на земну поверхню. На космічних знімках тіні відображаються слабо, чітко видно тільки тіні від хмарин і предметів, що особливо виділяються над поверхнею.

Багато об'єктів місцевості безпосередньо не відображаються на знімках, або різні об'єкти можуть мати однакові прямі ознаки дешифрування і тому не можуть бути віддешифровані безпосередньо. У таких випадках використовуються **непрямі ознаки дешифрування**.

**Непрямі ознаки дешифрування** ґрунтуються на різних взаємозалежностях між об'єктами і елементами ландшафту. Часто непрямі ознаки вказують на наявність окремих властивостей об'єктів, не отриманих при зйомці в силу географічних, фотографічних та геометричних особливостей.

До числа об'єктів, при визначенні яких використовуються непрямі ознаки, належать об'єкти, що з'являються тільки в певні сезони.

Непрямі ознаки, що допомагають встановити природні закономірності і взаємозв'язки, існуючі між компонентами і елементами ландшафтів, називають **непрямими-ландшафтними**.

Другу групу непрямих ознак складають **непрямі соціально-географічні ознаки**, які ґрунтуються на зв'язку антропогенних і природних явищ і об'єктів.

## Особливості дешифрування космічних знімків

Дешифрування це складний та тривалий процес, над яким працюють висококваліфіковані спеціалісти. Для проведення тематичного дешифрування формуються групи дешифрувальників, до яких повинні обов'язково входити картограф, географ, ландшафтознавець, гідролог, еколог. Групи формуються в залежності від вирішення прикладних завдань.

Великі об'єми інформації, що надходять з космічних знімальних апаратів, викликають необхідність створення і удосконалення засобів обробки цієї інформації. Обробка інформації з космосу на відміну від обробки фотознімків складається з чотирьох основних етапів: *службової обробки, просторової прив'язки, радіаційної корекції і тематичної інтерпретації*.

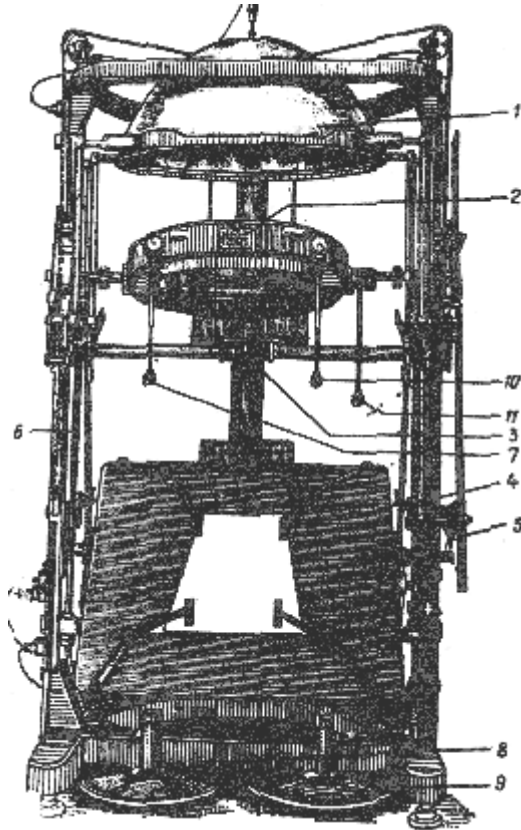
**Службова обробка** складається з анотування первинної інформації і комп'ютерному аналізу різних корекцій.

**Просторова прив'язка** має на увазі трансформування зображення в проекційні карти, вкладення в зображення координатної сітки.

**Трансформування знімків** включає виправлення положення точок зображення за кути нахилу, вплив рельєфу місцевості та зміни загального масштабу знімку.

Воно може бути виконано *графічним, оптико-механічним, аналітичним та електронним способами*. Принципіально можливе трансформування знімків за двома основними схемами. За першою, коли є достатня кількість опознаків, які наносяться на основу і з ними суміщаються на **фототрансформаторі** (рис. 40) відповідні точки знімку, що проєктуються. Відстань та положення опознаків повинно бути таким, щоб забезпечити задану точність трансформування [85]. Внаслідок цих робіт отримують *фотоплани*.

**Фотоплан** - фотографічне зображення місцевості, що складене з приведених до заданого масштабу, трансформованих знімків, змонтоване на геодезично підготовленій жорсткій основі.



**Рисунок 40 - Фототрансформатор ФТБ: 1 – освітлювальне обладнання; 2 – касета для негативів; 3 - об'єктив; 4 – екран; 5 – перспективний інверсор; 6 – масштабний інверсор; 7- ручка, що обертає касети для негативів; 8 – диск лінійного переміщення негативу; 9 – диск нахилу екрану; 10 – ручка для введення прокольної децентрації негативу; 11 – ручка для введення поперечної децентрації негативу**



Існує складний алгоритм дешифрування аерокосмічної інформації; внаслідок чого створюються різноманітні карти.

Кінцевою, найбільш точною, продукцією планової аерофотозйомки являються **фотокарти**.

**Фотокарта** – карта, що суміщає фотографічне та штрихове картографічне зображення місцевості. На неї наносяться висоти точок місцевості та горизонталі, а також назви населених пунктів, річок та інших об'єктів.

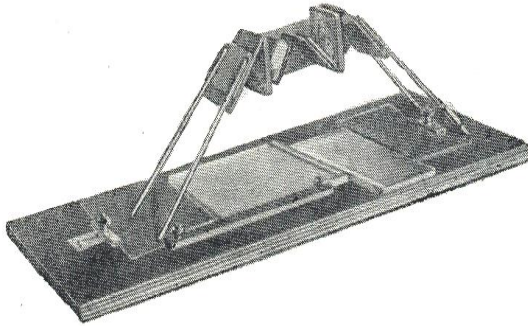
**Тематична інтерпретація** полягає у розпізнаванні на зображеннях природних об'єктів і явищ. Вона передбачає підвищення зображуваних властивостей знімків шляхом різних перетворень зображення.

Для дешифрування можуть використовувати **стереоскопічну пару знімків** – це два знімки однієї й тієї ж території, що виконана з різних точок. Вони дозволяють отримати об'ємну модель місцевості.

За наявності пари знімків можна встановити не тільки розмір плоских об'єктів, але і їх висот та перевищень точок місцевості. Тобто пара знімків дає трьохмірну характеристику об'єкта.

Обробку отриманої стереопари виконують за допомогою спеціального обладнання для дешифрування – **стереофотограмметричних приладів**. До таких приладів відносять: *лінзозеркальний стереоскоп, інтерпретоскоп, стереокомпаратор*. При автоматизованому дешифруванні обробку стереопари виконують на комп'ютері за допомогою спеціальних програм (рис. 41, 42, 43).

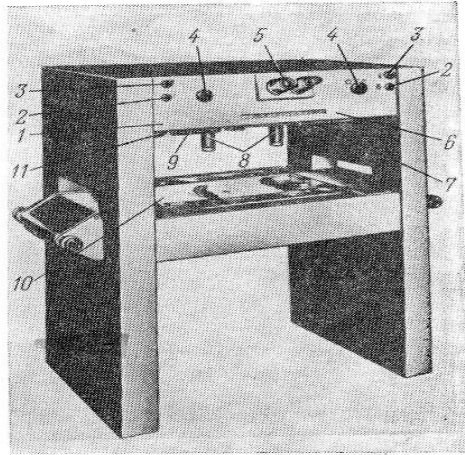
*Лінзозеркальний стереоскоп* – дозволяє обробляти знімки окремо кожним оком, в той час як людині, яка звикла суміщати зображення, завжди хочеться сконцентрувати спостереження лише на одній точці. Лінзи стереоскопу значно посилюють уявлення об'ємності місцевості, що зафіксована на стереопарі.



**Рисунок 41 - Лінзозеркальний стереоскоп**

*Стереокомпаратор* – призначений для вимірювання плоских координат точок знімка та паралаксів (зміщення однойменних точок на знімках стереопари). У ньому для кожного знімка існує окрема вимірювальна система, а для спостереження – бінокулярний мікроскоп [9].

Головною операцією при обробці знімків на стереофотограмметричному приладі є **стереоскопічне візування (наведення)** вимірювальної марки на модель, що може здійснюватися двома способами. Найбільш поширений з них – це стереоскопічний спосіб двох марок. Дві реальні однакові марки приладу суміщаються з ідентичними точками зображення на знімках стереопари. При стереоскопічному розглядуванні знімків спостерігач побачить тільки одну **уявну просторову марку**, що суміщається з точками моделі.

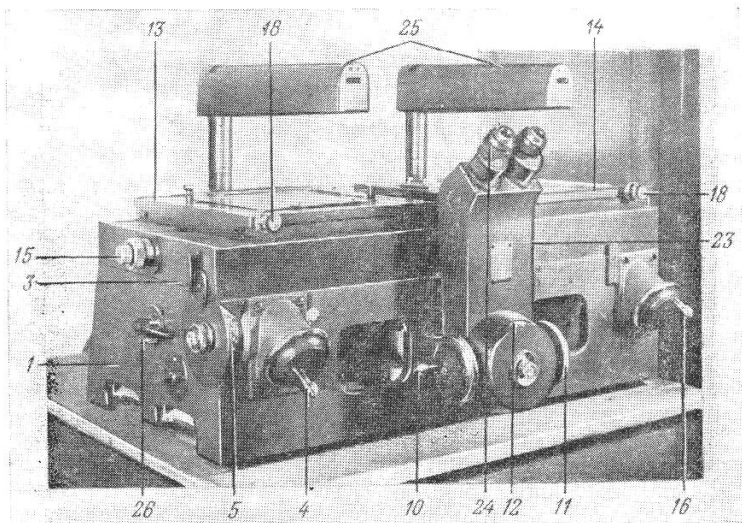


**Рисунок 42 - Интерпетроскоп**

Переміщення однієї з реальних марок в площині зображення сприймається як переміщення за глибиною (висотою) уявної просторової марки.

*Интерпетроскоп* – має велике стереоскопічне поле зору, високу якість оптичного зображення. Дозволяє вимірювати різницю продольних паралаксів способом *уявної марки*. Для навчальних цілей велику цінність має варіант приладу з двома біноклями, що дозволяє бачити стерео модель одночасно двом дослідникам.

Дешифрувальні ознаки об'єктів, відображених на космічних знімках, аналогічні ознакам об'єктів на аерофотознімках – це форма, розмір, структура зображення, тон, колір. Однак при дешифруванні космічних знімків форма і розміри зі зменшенням масштабу втрачають властивість відображати індивідуальність об'єкту і приймають комплексний, системний характер, підкреслюючи властивості групи об'єктів, функціональні особливості якої можуть відрізнитись від властивостей елементів, що їх складають.



**Рисунок 43 - Стереокompatop**

Тон зображення, як і на аерознімках, має дуже важливе значення для дешифрування різних об'єктів. На космічних знімках він часто не пов'язаний з індивідуальністю зображення об'єкта, а виражає певну специфіку природного середовища. Особливо важливе значення має тон зображення при дешифруванні спектрозональних і багатозональних знімків і при автоматизації дешифрування.

На космічних знімках природний колір об'єктів втрачає своє дешифрувальне значення через вплив товщі атмосфери, але, тим не менш, кольорове зображення об'єктів дає додаткову інформацію. Так, на кольорових знімках чітко відображаються водна рослинність, планктон, забруднення вод, гідрографічні об'єкти. На багатозональних знімках істотний вплив на зображення має спектральна яскравість об'єктів. Дешифрування об'єктів на космічних знімках за їх спектральною яскравістю більш достовірне, ніж дешифрування за аерофотознімками, за умови використання приладових засобів, що вимірюють оптичну щільність, та комп'ютерних технологій.

Особливістю космічних знімків є одночасне охоплення великих територій. Ця особливість дозволяє проводити дешифрування не тільки окремих об'єктів і груп об'єктів ландшафтів, але і їх взаємозв'язків. У зв'язку з цим при дешифруванні космічних знімків порівняно з аерофотознімками значно зростає роль непрямих ознак. Непрямі ознаки характеризують об'єкт дешифрування через будь-який компонент ландшафту чи групу компонентів.

До основних особливостей космічних знімків, що виявляються при їх дешифруванні, належать: *оптична і природна генералізація, концентрація фототону, рентгеноскопічність чи просвічуваність, обзорність, велике охоплення території.*

Елементами, що складають **оптичну генералізацію, є спектральна передавальна функція атмосфери і інтеграція великої кількості оптично неоднорідних ділянок земної поверхні.** Міра оптичної генералізації – співставлення певним шляхом оптичних характеристик космічних зображень з літаковими і наземними вимірами оптичних характеристик на ключових ділянках.

Оптична генералізація полягає в вимірюванні коефіцієнтів спектральної яскравості. Колір об'єктів при генералізації наближається до сірого. Зі збільшенням оптичної товщини атмосфери за рахунок накладення розсіянного світла підвищується яскравість підстиляючої поверхні.

**Природна генералізація означає певну фільтрацію та узагальнення інформації на космічному знімку.** Параметрами природної генералізації є: масштабність зображення; просторове розрішення; форма контурів; оптичний градієнт (зміна тону зображення на одиницю відстані). Розрізняють чотири рівня генералізації: *глобальний* (масштаб 1:10 000 000 і дрібніше); *регіональний* (1:1 000 000 – 1:10 000 000); *локальний* (1:100 000 – 1 000 000) і *детальний* (1:100 000 і більше).

**Концентрація фототону** зі зменшенням масштабу фотозйомки відбувається, внаслідок зменшення маскуючого впливу дрібних компонентів ландшафту, об'єднання їх в структурні елементи, що складають рисунок великого об'єкту,

який зі збільшенням масштабу зображується лише фрагментарно.

**Рентгеноскопічність** в основному пов'язують з відображенням на космічних знімках глибинного складу Землі. Неоднорідність глибинних горизонтів земної кори виявляє певний вплив на ландшафт поверхні внаслідок теплових, геохімічних, гідрологічних та інших процесів. Площі, що піддаються впливу цих процесів, значні.

Одночасне охоплення великих територій і велика обзорність космічних знімків дозволяють вивчати об'єкти і їх взаємозв'язки. Вони виявляються завдяки можливості отримувати зображення на одному космічному знімку, в одну фізичну мить часу усіх компонентів ландшафту.

## Автоматизоване дешифрування знімків

Автоматична обробка аерокосмічних знімків ґрунтується на досягненнях інформатики та сучасної комп'ютерної техніки. Тому автоматизована обробка знімків – це, перш за все, цифрова обробка. Вона включає різні етапи – шифрування знімків (або використання цифрових знімків), опрацювання і обробка їх на комп'ютері за допомогою складних комп'ютерних програм та отримання результатів.

Сучасні аерокосмічні знімки можуть аналогові та цифрові. *Аналогові знімки* – це безперервне напівтонове (чорно-біле або кольорове) зображення, *цифрові* – дискретне, що складається з багатьох окремих елементів зображення – пік селів. Усі пік селі одного цифрового знімку мають однаковий розмір та характеризуються величиною яскравості у вигляді числа. Комп'ютерна обробка передбачає роботу тільки з цифровою інформацією. За допомогою спеціальних перетворювачів можливо переводити один вид знімка у інший [50].

• **Цифрування (дигіталізація)** – вимірювання та представлення напівтонового знімка у цифровому вигляді, тобто перетворення його в матрицю чисел, що записуються на різні магнітні носії для наступного введення у комп'ютер. Цифрування відбувається методом сканування на спеціальному обладнанні з

апертурною діафрагмою діаметром 0,01, 0,02, 0,04 чи 0,08 мм. Таким чином розмір пікселя отримують 0,01 - 0,1 мм, а число рівней яскравості від 256 і більше.

Окремі неподільні елементи зображення – піксели фіксують спектральну відбивну спроможність об'єктів. Тому дешифрування об'єктів за знімками відбувається не в географічному просторі, а опосередковано, моделюючи спектральний простір. Такий простір ортогональний, його розмірність дорівнює числу знімальних зон, а кожний піксель багатозонального знімку з його набором спектральних значень представляє точку в цьому просторі. Таким чином, кожен об'єкт на знімку представлений великою кількістю точок в спектральному просторі з ознаками, що характеризують об'єкт.

При комп'ютерній обробці знімків використовують різноманітні прийоми.

- **Кольорокодування** – присвоєння визначеного кольору різним рівням яскравості чорно-білого зображення. Це прийом покращення зображення на екрані монітору.

- **Квантування** – перетворення напівтонового зображення знімку з повільної зміни тону в ступінчасте. Чорно-біле штрихове зображення вважається квантованим на два рівня.

- **Розпізнавання** – встановлення відповідності кольорових відтінків об'єктам.

Шифрувальні ознаки, що використовуються при автоматизованому дешифруванні, поділяються на: ***геометричні, комплексні та ознаки, що залежать від яскравості.***

Автоматизоване дешифрування знімків засноване на класифікації зображених об'єктів на знімках. Процес класифікації характеризується розподілом усіх пікселів знімку за класами, у відповідності до відбивної спроможності (значення спектральної яскравості) кожного з них, в одній чи декількох зонах спектру, наприклад, типи рослинності чи класи земель, що використовуються (міські території, пасовища, рілля, водні об'єкти, ліси). Таким чином, процес розподілу пікселів за класами відбувається в спектральному просторі. Якщо піксель відповідає певному набору умов, він відноситься до класу, що відповідає заданому критерію. Такий процес також називають

сегментацією зображення. Труднощі класифікації пов'язані, перш за все, з мінливістю ознак – відбивна спроможність змінюється в залежності від часу доби, пори року та ін. Тому правила класифікації для різних знімків можуть і не співпадати.

Класи, які виділяються на знімку, можуть бути пов'язані з відомими об'єктами земної поверхні чи просто представляти області, що по-різному розглядаються на екрані монітору. Так, прикладом зображення, що класифікується, є карта ділянки території, яка відображає рослинність, пустирі, пасовища, міські території та ін.

В основі методів автоматизованої класифікації лежить **математична теорія розпізнавання образів**, яка виробляє правила класифікації реальних чи геометричних об'єктів за їх характерними деталями чи ознаками.

*Алгоритми комп'ютерного аналізу, що реалізують різні правила класифікації, підрозділяються на два типи: алгоритми контрольованої та неконтрольованої класифікації.*

Алгоритми неконтрольованої класифікації реалізують методи **кластеризації**, в основі яких лежать так звані порогові процедури. Цей метод передбачає, що кількості початкової інформації достатньо для розділення класів.

**Кластеризація** - об'єднання за допомогою комп'ютерних програм елементів зображень в однорідні групи – *кластери* за близькістю величин їх спектральних яскравостей. Число кластерів залежить від встановленого дешифровщиком порога близькості – чим цей поріг менше, тим кластерів більше.

Так, автоматизоване дишефрування зображень – основна задача при використанні знімків для систематичних досліджень компонентів навколишнього середовища. Дозволяє швидко й точно визначити зміни у навколишньому середовищі та вчасно впроваджувати заходи щодо їх запобігання [63].



### **3.3 ЕТАЛОНУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ АНТРОПОГЕННИХ УТВОРЕНЬ ТА ЇХ КОМПЛЕКСІВ НА КОСМІЧНИХ ЗНІМКАХ**

Господарська діяльність людини впливає практично на всі компоненти природного середовища, створюючи при цьому нові поєднання природних і антропогенних компонентів. Їх вивчення за космічними знімками дає можливість швидко і на великих площах зафіксувати і простежити динаміку антропогенного впливу, визначити співвідношення змінених і незмінених ландшафтів і на цьому підґрунті скласти уявлення про можливість раціонального використання території. Для такого застосування космічних знімків доцільний **підбір еталонних зображень** антропогенних утворень і комплексів різного типу, що розвиваються в умовах різних природних зон. Він допомагає накопичувати і систематизувати дешифрувальні ознаки антропогенних об'єктів.

Еталонування антропогенних утворень і комплексів проводиться в декілька етапів:

- **перший** включає виявлення і розпізнання на космічних знімках окремих антропогенних об'єктів і визначення дешифрувальних ознак;

- **на наступному етапі** проводиться підбір найбільш типових зображень (еталонів) і їхня класифікація з урахуванням природних і соціально-економічних чинників;

- **на заключних етапах** роботи виявляються закономірні поєднання окремих антропогенних утворень, а в останню чергу, здійснюється аналіз територіальної структури антропогенних і природних комплексів.

Для еталонних зображень використовуються *відбитки в двох масштабах* (при оригінальному масштабі знімків 1:2000000). Масштаб 1:1000000 забезпечує визначення територіальної структури антропогенних утворень на великих площах, їхнє взаєморозташування і співвідношення. Разом з тим такий масштаб дозволяє представити на одному еталоні зображення, навіть, найбільших антропогенних утворень і відобразити всі їхні дешифрувальні ознаки. Однак, для еталонування

антропогенних утворень невеликих розмірів поряд з цим масштабом доцільно використовувати середній масштаб відбитків, зокрема 1:300000. В цьому масштабі можна здійснювати детальне дослідження складу і окремих властивостей антропогенних утворень, а також їхньої територіальної структури.

Використання багатозональних знімків багато в чому полегшує процес дешифрування, дозволяє не тільки більш чітко ідентифікувати те або інше антропогенне утворення, але і більш точно фіксувати його межі.

Кожний антропогенний об'єкт (або група об'єктів) має свої дешифрувальні ознаки. Однак можна виділити загальні ознаки, притаманні переважній більшості антропогенних утворень, для яких характерна **геометричність контурів, лінійність**, не властиві природним об'єктам. Часто антропогенні утворення різко контрастують за фотонем з навколишніми природними об'єктами; межі їх чіткі, без поступових переходів. Як правило, окремих антропогенних об'єктів не існує (або вони дуже рідко зустрічаються), всі вони в тій або іншій мірі «обрастають інфраструктурою», створюючи певні поєднання.

Деякі утворення антропогенного походження мають аналогічний до природного характер зображення, в таких випадках природні і антропогенні утворення можуть не диференціюватися за космічними знімками. До них належать вторинні лісові масиви, заплавні антропогенні луки, багаторічні відкладення і т.п. Для встановлення їх антропогенного походження потрібні спеціальні наземні дослідження. Також не розпізнаються антропогенні утворення, не зафіксовані на знімках через маскуючий вплив окремих природних компонентів.

**В якості еталонів обирають зображення антропогенних утворень, які виникли в результаті використання природних ресурсів** – земельних, біологічних, водних, мінеральних. Різноманітні види використання природних ресурсів зумовлюють специфічну структуру зображення.

### **3.4 КАРТОГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ СТАНУ КОМПОНЕНТІВ ДОВКІЛЛЯ ЗА МАТЕРІАЛАМИ АЕРОКОСМІЧНОЇ ЗЙОМКИ**

Для забезпечення планування і розробки заходів щодо поліпшення екологічного стану території, охорони і раціонального використання природних ресурсів складаються серії тематичних карт, що включають:

- карти, що відображають **природні умови** та їх **сучасний стан**;
- карти екологічного стану компонентів довкілля **сучасного використання** природних ресурсів;
- карти **динаміки стану навколишнього природного середовища** і екологічного **прогнозу** можливих подальших змін;
- карти рекомендованих **природоохоронних заходів та оптимізації екологічного стану довкілля**.

**Карти природних умов** створюються для виявлення природних закономірностей, встановлення потенційних можливостей подальшого розвитку народного господарства. Карти ландшафтна, структурно-геологічна, геоморфологічна, ґрунтова, геоботанічна, екологічна серії карт – складаються для всіх регіонів. Карти лісів, сейсмотектоніки, різноманітних регіональних екологічних явищ та інші карти регіонального значення складаються в залежності від специфіки регіону.

Для картографічного забезпечення заходів щодо оптимізації стану навколишнього природного середовища першочергове значення має ландшафтна карта, що найбільш повно відображає існуючі внутрішньо- і міжландшафтні взаємозв'язки і дає широке уявлення про природні умови території.

**Карти екологічного стану компонентів довкілля та сучасного використання природних ресурсів** повинні *характеризувати їх на певний термін з урахуванням ступеня і результатів антропогенного впливу на ландшафт і його компоненти*. Основними є карти використання земель, які містить характеристику сучасного стану земель, і карти антропогенних ландшафтів, які відображають антропогенний

вплив на середовище та його наслідки. При необхідності складаються окремі карти сучасного стану тих або інших ресурсів або компонентів ландшафтів. Склад таких карт визначається особливостями господарського освоєння території, що досліджується, необхідністю детального опрацювання.

**Карти динаміки стану довкілля і екологічного прогнозу можливих змін є результатом аналізу різночасової космічної інформації і різноманітних екологічних карт.** Аналіз природних умов і сучасного стану природних ресурсів дозволяє оцінити антропогенні зміни довкілля, їх тенденцію і скласти прогноз можливих подальших змін, які можуть бути представлені або в текстовій і табличній формі, або у вигляді карт динаміки природних процесів і процесів, викликаних антропогенним впливом, і прогнозу можливих змін навколишнього середовища в майбутньому.

Карти динаміки природних процесів відображають напрямки і тенденції їх розвитку за існуючого рівня антропогенного впливу. Екологічні прогнозні карти показують можливі зміни природних ресурсів під впливом антропогенних чинників на певні терміни і при певних рівнях впливу з урахуванням виявлених тенденцій динаміки.

**Карти рекомендованих природоохоронних заходів та оптимізації екологічного стану довкілля є картами-висновками і складаються на основі аналізу названих вище карт.** Сюди входять комплексна і окремі карти рекомендованих природоохоронних заходів. На комплексній карті відображаються головні напрямки охорони і раціонального природокористування, розташування і характер існуючих та необхідних природоохоронних заходів для всієї території в цілому. На окремих картах відображаються розташування і характер конкретних заходів з охорони і раціонального використання того або іншого компонента ландшафту.

Цілком очевидно, що більшість цих карт має оперативний характер і вимагає для свого укладання прискорених методів. Таким методом є картографування за матеріалами космічних зйомок. Ефективність використання космічної інформації при тематичному картографуванні доведена численними роботами багатьох дослідників. Це зумовлене характерними

особливостями космічних матеріалів: значною оглядовістю – з одного боку, оптичною генералізацією і достатньою просторовою розрішаючою здатністю на місцевості – з іншого. Але роль і значення космічної інформації при складанні карт природоохоронної тематики різноманітні для різних серій карт. Найбільш широко ця інформація застосовується при складанні карт природних умов, карт використання і сучасного стану природних ресурсів, карт динаміки довкілля. Дещо обмежене її використання при складанні результуючих карт рекомендованих природоохоронних заходів. Космічна інформація використовується також для створення єдиних картографічних основ і для узгодження вже складених тематичних карт серії. При складанні серії карт, спрямованих на забезпечення заходів з охорони природи і довкілля, з одними і тими ж знімками працюють різноманітні фахівці з тематичного картографування в тісному контакті один з одним. При цьому, чим ширше представлене коло фахівців і відповідно серія тематичних карт, тим об'єктивніше і ефективніше будуть карти охорони і раціонального використання природних ресурсів.

## **Використання космічної інформації для створення екологічних карт**

Вплив сучасної господарської діяльності людини на довкілля великий і різноманітний, причому зараз важко знайти ділянки, в тій чи іншій мірі не змінені антропогенною діяльністю. Вплив людини на природу визначається як у фізичному порушенні окремих компонентів ландшафту або ландшафту в цілому, так і в забрудненні природного середовища шкідливими або отруйними речовинами, що призводять не тільки до порушення екологічної рівноваги, але і до загибелі всього живого.

Дійсно, зміни навіть одного з компонентів ландшафту неодмінно призводять до зміни інших і, як наслідок, всього ландшафту в цілому. Найменш стійкі до антропогенного впливу тваринний світ та рослинний покрив. Зміни рослинного покриву призводять до іншого ходу ґрунтоутворюючого процесу і порушення гідрологічних умов.

При вивченні і плануванні заходів з охорони і раціонального використання довкілля необхідні уявлення про територіальне охоплення того чи іншого регіону різними антропогенними процесами та явищами.

Найбільше практичне значення для територіальної характеристики екологічних умов може мати її картографічне відображення, тобто **створення спеціальних екологічних карт**.

Картографування екологічних умов, виявлення і оцінка порушень території дають можливість отримати наочні високоінформативні документи, що відображають сучасний стан природно-територіальних комплексів або тих чи інших компонентів та їх динаміки, що дозволяють найоб'єктивніше планувати і контролювати природоохоронні заходи. Такі спеціально складені карти є необхідним картографічним забезпеченням екологічних програм, що мають на меті охорону і раціональне використання природних ресурсів в масштабах не тільки держави, але і світу в цілому.

Для картографічного відображення сучасного стану компонентів довкілля природного середовища, їх динаміки і розвитку необхідні швидкісні методи фіксування і картографічного відображення явищ і процесів, за якими здійснюється спостереження. Такими методами є аерофотознімання та знімання з космосу. Основні особливості космічних фотознімків (оглядовість, одночасність відображення великих територій, висока розрішаюча здатність) надають найбільші можливості для об'єктивного і швидкого складання нових або поновлення існуючих тематичних карт компонентів і комплексів довкілля, використання земель та інші, що відображають екологічні особливості території.

Одним з важливих аспектів картографічного забезпечення вивчення екологічних проблем, або екологічного картографування, є **необхідність отримання вихідної інформації** у найкоротші терміни при максимально об'єктивному відображенні дійсності. Виконанню цих вимог і відповідає аеро- і космічна інформація, яка зараз знаходить все більш широке застосування у тематичному картографуванні.

**Аналіз екологічної інформативності** багатозональних фотознімків, проведений у зв'язку з комплексним вивченням і

картографуванням природних ресурсів і динаміки природного середовища, показав, що при загальній оцінці інформативності знімку жодній зоні електромагнітного спектра не можна віддати перевагу. Але при вирішенні конкретних завдань, наприклад, при оцінюванні ступеня засоленості ґрунтів, забрудненні поверхневих вод, пошкодженні сільськогосподарських рослин та лісових масивів, визначенні регіонів природного та антропогенного підтоплення, простежується явна перевага тих чи інших спектральних зон. Причому інформативність знімків, виконаних у різних зонах спектру, змінюється не тільки в залежності від вирішуваної задачі, але також від району і сезону знімання. І тільки набір знімків однієї і тієї ж ділянки місцевості, отриманих одночасно в різні сезони і різних зонах спектра, може дати всебічну характеристику довкілля.

На різних етапах вивчення довкілля і складання екологічних карт використовуються різноманітні матеріали космічного знімання. З метою комплексного картографування екологічних умов довкілля та їх динаміки зазвичай використовуються космічні фотознімки, а також різномасштабно збільшені. При складанні карт необхідні фотосхеми і фотоплани.

На практиці переважно використовуються чорно-білі фотознімки, на яких можна визначити всі об'єкти або їхні індикатори, необхідні для створення екологічних карт.

Через те що, кожному типу ландшафту в межах певної природної зони притаманні свої взаємозв'язки і закономірності, то і ознаки дешифрування природних об'єктів будуть мати місцевий характер. Отже, і вимоги до космічної інформації локальні. Наприклад, для ландшафтних досліджень в лісовій зоні переважним є використання знімків, отриманих влітку в зоні 600-700 нм; для уточнення антропогенних змін морфологічного складу деяких ландшафтів – знімки виконуються в зоні спектра 500-600 нм; для визначення забруднень гідрографічних об'єктів – знімки в зоні спектра 700-800 нм.

З метою досліджень екологічної геоморфології, що вивчає роль рельєфу земної поверхні і існуючих процесів рельєфоутворення у функціонуванні навколишнього середовища, у змінах його складників, викликаних зростаючим

тиском господарської діяльності на рельєф та сучасний морфогенез можуть використовуватися знімки різних зон [107]. Літологічні різниці корінних та четвертинних відкладень краще відображаються в зоні спектра 520-560 нм; рихлі четвертинні відкладення – в зоні 500-600 нм. Для дешифрування порушень покриву достовірні результати отримуються при використанні спектральних космічних фотознімків, а також чорно-білих, виконаних в зонах спектра 660-720 нм, що забезпечують необхідну чіткість і найкращу просторову розрішачу здатність. Для визначення окремих екологічних властивостей ґрунту найбільш інформативними виявилися зони 700-740 нм – для дешифрування вологості, 520-560 нм – для визначення механічного складу ґрунту.

Велике значення для виконання екологічних спостережень над об'єктами довкілля можуть дати матеріали повторного знімання. Синтезовані кольорові зображення, отримані в результаті синтезу різночасових космічних знімків однієї і тієї ж території з аналогічними технологічними умовами знімання, дозволяють отримати наочне уявлення про динаміку екологічних процесів довкілля. Зараз з цією метою використовуються матеріали, отримані автоматизованими методами обробки.

Суттєвий крок в освоєнні космосу людство зробило у другій половині ХХ століття. З початку освоєння космічного простору (КП), дослідження Місяця, близьких і віддалених планет Сонячної системи, з метою використання їхніх поверхонь і ресурсів для потреб людей, вивчення можливостей створення тимчасових і стаціонарних міжпланетних станцій, з широким розвитком космічної зйомки поверхні Землі для господарських і військових потреб загострюється проблема охорони космосу від земних забруднень, а також вивчення космічного впливу на розвиток біосфери Землі. Кожний запуск космічної ракети супроводжується не тільки потужним викидом в атмосферу відпрацьованих газів (двигун працює на висоті 100-400 км), підвищенням температури вздовж траси польоту, але й порушенням структури атмосфери, її складу, щільності. Тому необхідним є вивчення картини антропогенного впливу на



довкілля в результаті освоєння космосу і експлуатації космічної техніки.

Дана проблема є дуже актуальною на сьогоднішній день. Велика кількість учених працює над нею. Але це тільки перші кроки. Дослідження проводяться в дуже вузьких спеціалізованих напрямках. Розглядають окремі випадки впливу запусків і експлуатації космічної техніки, вивчаються конкретні одиничні випадки, аварії і зіткнення на орбітах. З кожним роком забруднення космосу збільшується. Це, звичайно, відображається на стані природи і здоров'ї людей, а також впливає на діяльність людини в космосі. Тому дана проблема потребує посиленої уваги. Кількість досліджень і розробок в цьому напрямку повинна збільшуватися.

За останні 30 років з цивільною, науковою і військовою метою було запущено декілька тисяч штучних супутників Землі (ШСЗ), більша частина яких залишилась на орбіті, а деякі були підірвані. Стало очевидним, що засмічення навколосезного простору (НП) буде збільшуватися і таким чином погрожувати майбутнім космічним проектам.

Аналізуючи вплив шкідливих домішок, що утворюються при запусках космічних апаратів (КА), на екологічну ситуацію, відзначимо, що під дією соляної кислоти, яка знаходиться у викидних газах ракетних двигунів (в обсязі 21-23 %), відбувається зміна хімічного складу газів, що призводить до випадання кислотних дощів і забруднення атмосфери. При кожному запуску, чим вище злітає космічний корабель, тим більше він впливає на стан атмосфери, що на висотах в декілька сотень кілометрів дуже розріджена (щільність повітря там в мільярди разів менша, ніж на висотах в десятки метрів над Землею) і реагує на всі чинники – зміну щільності, температури, хімічного складу. Часто ефект від висотних викидів ракет спостерігається на висотах в сотні і навіть тисячі кілометрів. Дуже сильною хімічною складовою речовиною, що викидається двигунами ракет, є вода, окрім неї – окиси азоту, сполуки хлору, інертні гази, вуглеводні. Ці викиди змінюють склад атмосферних компонентів на великих висотах в межах іоносфери. Іоносферу називають «чарівним дзеркалом планети», тому що вона відбиває радіохвилі короткохвильового діапазону,

забезпечуючи роботу чисельних радіосистем. Тому вплив ракетних викидів на іоносферу достатньо шкідливий. Часто вони значно змінюють її структуру, склад і особливості, зривають роботу радіостанцій. Подібна ситуація виникла при запуску супутника «Пегас», коли на висоті 700 км від місця запуску концентрація електронів в максимумі іоносферного шару зменшилася в 3 рази, а висота цього максимуму зменшилася на 50 км. Крім того такі порушення у верхніх шарах атмосфери призводять до зміни теплового балансу, емісії, хімічного перетворення іонів, рівноважних концентрацій електронів, нарешті – порушення всього режиму верхньої атмосфери.

Іншим чинником порушення природного балансу і процесів верхньої атмосфери, тобто КП, є маневри чисельних супутників. Для виконання кожного маневру спрацьовують двигуни корекції польоту, і в космос викидається певна кількість забруднюючих речовин. Їх набагато менше, ніж під час запуску ракет-носіїв, але, з урахуванням великої кількості супутників, сумарний негативний ефект достатньо високий.

Іншим видом забруднень, викликаних космічною апаратурою, є цілеспрямовані викиди хімічно активних речовин (пари води, окиси азоту) з ракет і супутників з метою дослідження динамічних процесів у верхній атмосфері. Ці речовини залишають видимий слід, світіння, утворюють видиму трасу, що дозволяє вивчати характер переміщення атмосферних мас.

Завдяки згаданим експериментам, у верхній атмосфері поступово накопичуються пари води, що через декілька десятиріч може призвести до зміни (в 2-3 рази) концентрації електронів максимумів іоносферної кулі. Що, у свою чергу, приведе до зміни орбіт супутників, що літають на висотах більше тисячі кілометрів, виникнуть складності в роботі космічних систем.

### **3.5 АНТРОПОГЕННЕ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ В РЕЗУЛЬТАТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

#### **Забруднення навколоземного простору в результаті аварій і зіткнень на орбітах**

Поруч з антропогенними хімічними забрудненнями приземного космосу мають місце (і дедалі, тим сильніше збільшуються) його механічні забруднення – накопичення сотні тисяч уламків, різних залишків від тисячі супутників, що відпрацювали свій ресурс, від зруйнованих космічних апаратів, станцій.

*Космічне сміття – частки розміром від декількох міліметрів або сантиметрів до півметра і більше – є дуже небезпечним для сучасних космічних кораблів, тому що у випадку зіткнення завдають удари великої*

За останні 34 роки Центром США було каталогізовано понад 22 тисячі техногенних навколоземних об'єктів. За статистикою на початку 1990 р. на навколоземних орбітах знаходилось близько 21000 об'єктів великих розмірів, в тому числі більше 1900 активних ШСЗ, з них – половина була радянських. Майже 7 тисяч об'єктів знаходяться у навколоземному космосі. Основна маса відходів обертається навколо землі в радіусі до 2000 км зі швидкістю 10 км/с, це частина космосу, яка найактивніше використовується для запусків низькоорбітальних штучних супутників. Зараз загальна вага космічного «сміття» «тягне» більше ніж на 3000 тонн. Основна частина цієї ваги – великі за розмірами відпрацьовані штучні супутники землі та ракетно-носії. *Передбачається, що якщо освоєння космосу і далі буде проводитись таким чином, то до 2010 року загальна маса таких відходів досягне 10-12 тис. тонн, а до 2050 р. зробить*

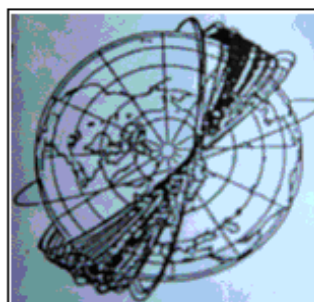
неможливим будь-який вид діяльності на навколоземних орбітах не менш, ніж на 50-100 років [76]. В комітеті технічної експертизи США розглядається питання безпеки польотів КА «Space Shuttle» і функціонування майбутньої НКС «Freedom» при значній забрудненості навколоземного простору. Зараз американськими службами зафіксовано 6645 об'єктів, розмірами більше футбольного м'яча, загальною масою 2,04 млн кг. Причому тільки 6% від загального числа об'єктів складають діючі ШСЗ. Крім того в навколоземному космосі, за іншими джерелами знаходиться близько 70 тисяч малих уламків, які виникли в результаті відокремлення частин ракет-носіїв та їх вибухів, а також мільярди дрібних часток, які не піддаються реєстрації. Визначено, що частинок природного та штучного походження розмірами близько 1 мм в навколоземному просторі приблизно однакова кількість, а уламків техногенного характеру розміром понад один сантиметр у 100 разів більше від кількості спостережуваних і зареєстрованих службами контролю космічного простору (понад 8000) [74]. Така велика кількість космічного сміття представляє реальну загрозу при запуску космічних об'єктів через те, що вони зіштовхуються з цим сміттям, не досягнувши орбіт. Прогнозується, що внаслідок розмноження дрібних уламків до середини наступного сторіччя або навіть через 20-50 років виникне загроза польотів у космос. Розглядається низка заходів для вирішення цієї проблеми.

Зараз основною проблемою є перенасиченість орбіт уламками ШСЗ. З 1957 року за 32 роки в космос запущено більше 4 тисяч ШСЗ і КА і тільки третина з них згоріла в земній атмосфері. Особливо насиченими об'єктами є орбіти з висотами 800-1000 км і геостационарна орбіта з висотою 42164 км, на якій знаходиться багато ШСЗ, що вийшли з ладу і ускладнюють роботу супутникових систем зв'язку. Це призводить до того, що об'єкти, які запускаються, зіштовхуються з космічним сміттям і кількість уламків збільшується. Відбувається ланцюгова реакція збільшення кількості сміття, у зв'язку з чим кількість аварій постійно зростає. Щорічно район геостационарної орбіти поповнюється 30 – 35 новими супутниками. Нині там майже 700 об'єктів.

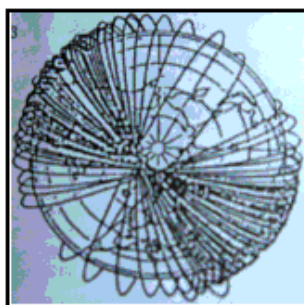
Передбачається, що понад 17500 уламків мають розміри до 10 см і тільки 7500 уламків – більше 10 см. Геостационарна орбіта до такої міри перенасичена, що навіть випадковий вибух на ній космічного об'єкта може викликати ланцюгову реакцію руйнування інших об'єктів (рис. 44), і тоді порушиться зв'язок, вийдуть з ладу телебачення, військові системи стеження і ін. Імовірність такої катастрофи глобального масштабу, за оцінками вчених, зараз надто велика.



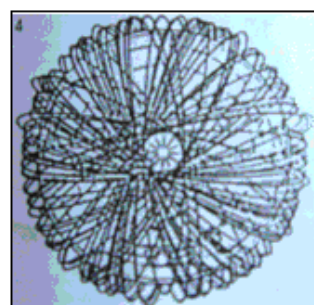
1



2



3



4

Рисунок 44 - Імітація розповсюдження уламків космічних апаратів у космосі

- 1) одразу після вибуху; 2) через три місяці; 3) через рік;  
4) через 4 роки

Внаслідок еліптичності земної кулі й особливостей дії гравітаційних полів Землі, Місяця й Сонця для штучних супутників у двох точках геостационарної орбіти існують центри стійкої рівноваги, куди «стягуються» всі космічні тіла цієї зони. Тут накопичилася величезна кількість об'єктів штучного походження розмірами від міліметра до десятків метрів. Ці скупчення космічного «непотребу» на геостационарній орбіті розташовані у напрямку малої осі земного екватора на довготах 75 і 255 градусів. Через значну кількість «сміття» запуск нових штучних супутників Землі здійснюється так, щоб вони розташовувались поза межами точок стійкої рівноваги. Але штучні супутники землі мають властивість «сповзати до космічних смітників». Щоб уникнути зіткнень, положення штучних супутників Землі час від часу корегують, тобто за допомогою включення на певний час двигунів малої тяги повертають на попереднє місце.

### **Вплив космічного сміття на діючі супутники**

Космічне «сміття» становить певну загрозу запускам штучних супутників Землі та їхньому активному функціонуванню, проте рівень ризику від цього – нині ще невеликий. До того ж, уже розроблені й використовуються системи захисного обладнання для безаварійної роботи Міжнародних космічних станцій та безпеки польотів космічних кораблів багаторазового використання. Типовий штучний супутник Землі площею поверхні 40 кв. метрів, на низькій полярній орбіті може зіткнутися зі «сміттям» розміром 1 см кожні 500 років, а космічний корабель площею близько 1500 кв. м на висоті 400 км із нахилом орбіти до екватора 51,6 градуса (Міжнародна космічна станція) матиме зіткнення кожні 100 років. Наскрізне «прошивання» станції «сміттям», котре призведе до аварійної ситуації, може статися кожні 400 років. Оскільки в космосі одночасно функціонують кількисот активних космічних апаратів, то одне зіткнення з аварійними наслідками може відбутися кожні 1 – 2 роки.

Космічна станція «Мир» з усіма модулями й сонячними батареями, яка функціонувала на орбіті понад 13 років, мала площу близько 1500 кв. м. Вірогідність зіткнення її з метеороїдами й „сміттям” становила 1 випадок на 9 років. За розрахунками при попаданні часточки від 1 мм до 1 см в обшивці станції виникає отвір до 5 см. До речі, на космічному телескопі Хаббл площею поверхні 172 кв. м фрагмент космічного «сміття» розміром близько 1 см пробив антену.

У 1996 році зник французький космічний корабель «Сегізе». Як виявилось, він зіткнувся із фрагментом, теж французької, космічної ракети «Аріан», який зареєстрований у каталозі супроводжувальних об'єктів під номером 18208 як «Аріан – 1 сміття» [74].

### **Вплив штучних космічних об'єктів на діяльність людини в космосі і на Землі**

Інтенсивне використання космосу супроводжується збільшенням його забруднення. Це необхідно врахувати при створенні нової космічної техніки і розробці заходів щодо забезпечення безпеки польотів. За 1973-1981рр. підірвалося 7 відпрацьованих ступенів ракетносія типу «Дельта» і при кожному вибуху утворилося декілька сотень уламків. Особливу увагу привертає вибух у 1986 році третього ступеня ракетносія «Аріан-1». Позакорабельна діяльність екіпажів космічних кораблів також призводить до викиду в космос небажаних предметів. Подібні засмічення особливо небезпечні через те, що вони відбуваються на орбітах, що використовуються для польотів пілотованих КА.

Політ КК може супроводжуватися не тільки викидом в космос достатньо великих частин конструкцій. При їх пошкодженнях під впливом ультрафіолетового випромінювання, атомарного кисню і статичної електрики відділяються частки фарби та інших захисних покриттів. Ці частки, незважаючи на їхні малі розміри, являють собою серйозну небезпеку для КА і космонавта, працюючого за межами космічного судна.

Основні типи антропогенного забруднення НП пов'язані з руйнуванням КА. Уламки штучного походження, в тому числі радіоактивні, представляють реальну небезпеку вже сьогодні, в той час як глобальні зміни НС (виснаження іоносфери, збільшення щільності екзосфери, кліматичні зміни і т.п.) можуть відбуватися при подальшій інтенсифікації космічної діяльності.

*Супутникові електростанції (СЕС) забруднюють не тільки космос, але і впливають на здоров'я людей, умови їхньої безпеки і на екологічні системи.* Головну небезпеку являють взаємодії мікрохвильового випромінювання (МХВ) СЕС з озоновим шаром атмосфери, нагрів іоносфери і електромагнітна несумісність МХВ з існуючими радіотехнічними системами.

Існує реальна небезпека для здоров'я людей на Землі електромагнітного «не іонізуючого» випромінювання від наземних передавальних станцій систем супутникового зв'язку. Тривалий вплив випромінювання передавачів наземних станцій на населення є небезпечним чинником і призводить, зокрема, до переривання вагітності, викидів, розвитку ракових захворювань.

Існує певна небезпека і у випадках падіння на Землю елементів ШСЗ і НКС, які не згоріли в атмосфері. Імовірність попадання великого КЛА у конкретну людину складає  $6 \cdot 10^{-11}$ , однак, імовірність того, що в якомусь випадку в когось десь може потрапити КЛА, складає вже 1/150. Це означає, що в недалекому майбутньому хтось може бути убитим попаданням КЛА. На даний момент вже були випадки, коли уламки ШСЗ падали на Землю, що призводило до великих руйнувань. Необхідно вже сьогодні розробити правові основи регулювання числа штучних об'єктів в космосі і визначити правову відповідальність держави за те, що їхні космічні об'єкти при падінні на Землю завдають шкоди. Ці програми повинні включати прогноз подальшого засмічення фрагментами ракетно-космічної техніки, дослідження засобів і заходів з очистки НП від космічного сміття (КС). Реалізація програми можлива через міжнародне співробітництво і конверсію ракетно-космічної техніки.



## **Забруднення навколишнього середовища падаючими частками ракет-носіїв**

В районах падіння частинок, що відділяються від ракет-носіїв найбільш екологічно несприятливими вважаються ділянки, на які падають ступені ракет-носіїв, які використовують в якості ракетного палива *несиметричний диметилгідразин*. Ця рідина відноситься до речовин першого класу небезпеки щодо впливу на людину та в природі не зустрічається. ГДК цієї речовини в повітрі над відкритими ділянками місцевості складає  $0,001 \text{ мг/м}^3$ , в воді –  $0,02 \text{ мг/л}$ , ОБРВ в ґрунті –  $0,1 \text{ мг/кг}$ .

Дослідження щодо вивчення впливу падіння ступенів ракет-носіїв на екологічний стан навколишнього природного середовища відбувається на двох рівнях:

- **регіональному** – в районах падіння частин ракет-носіїв;
- **локальному** – в містах падіння фрагментів ступенів ракет-носіїв.

Наприклад в Росії в районах падіння в Центральному Казахстані, на Кольському півострові, в Архангільській області, Ненецькому автономному окрузі, Томській, Омській, Новосибірській областях, Алтайському краї, Республіці Алтай, Хакасії, Саха було встановлено, що ступінь забруднення компонентів екосистем ракетним паливом визначається характером надходження палива до ландшафтів.

Еколого-геохімічні дослідження в районах падіння частин ракет-носіїв показали відсутність площинного аерогенного забруднення несиметричним диметилгідразином. Аналіз поверхневих горизонтів ґрунтів (0-15 см) по сітці  $2 \times 2 \text{ км}$ , проведений в районах падіння (близько 1700 проб), підтвердив відсутність небезпечної речовини поза місць падіння ракет-носіїв.

Особлива увага при вивченні можливостей аерогенного забруднення приділяється дослідженню снігового покриву як основного депонуючого середовища. Дослідження снігу проводилось перед початком танення на всю його потужність. Відбір проб вівся на відкритих ділянках з потужністю 1 проба на  $1 \text{ км}^2$ .

В аналізі талої води на вміст несиметричного диметилгідразину (НДМГ) в усіх пробах відібраних в різні роки, також не відзначилося присутності забруднювача.

Таким чином, проведені в районах падіння ступенів ракет-носіїв еколого-геохімічні дослідження, встановили відсутність забруднення НДМГ та формування локальних контрастних техногенних аномалій НДМГ в місцях падіння уламків ступенів ракетноносіїв.

На основі багаторічного досвіду проведення досліджень в районах падіння частин ракет-носіїв та складання екологічних паспортів цих територій були сформовані базові принципи та підходи до класифікації районів падіння за комплексним показником, що відображає ступінь екологічного ризику впливу ракетно-космічної діяльності на ці території і проведена перша процедура їх класифікації.

В якості **вихідних оцінювальних показників класифікації** були прийняті:

- характеристики ракетно-космічної техніки;
- фізико-хімічні властивості компонентів ракетного палива;
- характеристики екосистем та їх компонентів.

В якості критеріїв оцінки **ландшафтно-кліматичних умов** території використовувались:

- ступінь розчленованості поверхні;
- середня річна кількість опадів;
- коефіцієнт зволоження;
- величина сніжного покриву;
- середнє число днів з пиловими бурями;
- величина сумарної сонячної радіації;
- сума температур вище 10°C;
- рН ґрунтів;
- кількість органічних речовин в ґрунтах;
- наявність геохімічних бар'єрів.

За результатами обробки аналітичних даних, територіям районів падіння присвоєні відповідні групові значення: визначені **території з максимальним, високим, низьким та мінімальним** ступінню екологічного ризику впливу ракетно-космічної діяльності на навколишнє середовище [13].

## Попередження забруднення космічного простору

Ще у 1976р. за рішенням КОСПАР було створено комісію з розгляду шкідливих наслідків активної діяльності в космосі. У 1976р. на конференції КОСПАР був поданий перелік з 15 пунктів, за якими комісія здійснювала дослідження. Серед них: вплив різноманітних викидів з борту ШСЗ, вплив струменів ракетних двигунів на шар озону, взаємодія з іоносферою і атмосферою потужного НВЧ-випромінювання від супутникових сонячних електростанцій, вплив балонів на стратосферу, забруднення атмосфери при вході ШСЗ в щільні шари, різноманітні перешкоди оптичній, ІЧ- й радіоастрономії, вплив потужних променів лазерів в оптичному та ІЧ-діапазонах та ін.

Американські вчені пропонують встановити заборону на використання ядерних реакторів космічного базування і закликають США і країни СНД відмовитися від використання ядерних реакторів в орбітальних КЛА. Вони вважають, що плани створення нових потужних реакторів космічного базування завдадуть великої шкоди НС, в разі руйнування таких реакторів стануть перешкодою рентгенівській і гама-астрономії. Американські вчені також стурбовані можливим різким збільшенням кількості (до 100 в найближчі роки) ядерних реакторів на орбіті, руйнування кожного з яких може загрожувати набагато більшим радіоактивним забрудненням.

Пропонується низка засобів негайного вирішення проблеми засмічення НП. Найбільш цінні ШСЗ пропонується знімати з орбіти з допомогою КА-сміттєзбірників і повертати для ремонту на Землю. Дрібні частки пропонується виловлювати за допомогою сіток з найтоншої металевої плівки. А в якості «приманки» фахівці пропонують використовувати заряди статичної електрики, подібно до того, як працюють звичайні електростатичні фільтри. Для зменшення імовірності зіткнення КА з уламками пропонується на борту КА встановити апаратуру стеження, яка, виявивши на його шляху уламки, буде включати бортовий лазер для часткового випарування уламків, наслідком чого буде зміна їхньої швидкості і переміщення на більш високі

або більш низькі орбіти. Також для попередження зіткнень в космічному просторі пропонується організувати схід з орбіти передусім найбільш масивних з існуючих уламків і забезпечити виконання цілого ряду вимог до нових створюваних систем. Для попередження забруднення космосу розглядається маневрування на орбіті і використання захисних екранів.

В книзі Petro A.I. «Techniques for debris control» автор пропонує такі концепції боротьби з забрудненням: активне гальмування об'єктів (за допомогою спеціально маневруючих КА, які стикаються, наприклад, з відпрацьованими ШСЗ, видають йому гальмовий імпульс та відходять від нього; схід з орбіти відпрацьованого ШСЗ за допомогою власних двигунів), застосування пасивних засобів (пінонаповнені кулі або так звані «млини», які вловлюють об'єкти невеликого розміру або знижують їхню швидкість; висування гальмівної панелі на відпрацьованих КА) і комбінована концепція (ідея КА – «захисника» для НКС «Freedom», який наводиться на об'єкт, зближується з цим об'єктом і вловлює його з допомогою пасивних засобів).

Протягом останніх двох десятиріч головним напрямком у дослідженнях космічного «сміття» є регулярні огляди навколоземного простору за допомогою оптичних та електронно-оптичних засобів. В Україні в основному за космічним «сміттям» у зонах геостационарних і видовжених еліптичних орбіт спостерігають астрономи Головної астрономічної обсерваторії (ГАО) НАН України, Лабораторії космічних досліджень при Ужгородському університеті та Симеїзької обсерваторії в Криму [74].

Таким чином, стан навколоземного простору, в умовах його засмічення відпрацьованими космічними об'єктами і фрагментами зруйнованих КА, постійно погіршується, збільшується ризик зіткнень на орбітах. Спільна обробка всіх наявних даних спостережень і результатів моделювання дасть можливість достатньо впевнено оцінити потоки уламків з розмірами від 10 см до 2 м у висотному діапазоні, що розглядається, а також з меншою вірогідністю потоки уламків з розмірами від 10 мм до 10 см.

Значно важче прогнозувати ситуацію з орбітальними уламками і оцінювати імовірності зіткнення КА з уламками на більшій інтервалі часу. Поки що має місце негативний вплив космічної техніки на НС (руйнування озонового шару, забруднення атмосфери окислами металів, вуглецю, азоту, а ближнього космосу – частинами відпрацьованих КЛА). Тому сьогодні дуже важливо, щоб поряд з економічними оцінками космічної діяльності вивчалися її екологічні наслідки.

### **Контроль-коловіум з МОДУЛЯ 3**

1. Що дозволяє системі географічних даних обслуговувати різні запити до бази даних, що зв'язані з просторово розподіленими об'єктами?
2. Що таке ГІС?
3. Які структурні елементи включає ГІС?
4. Від чого залежить інформаційний зміст ГІС?
5. Які режими моделювання передбачені ГІС?
6. Наведіть приклади реально функціонуючих у світі ГІС?
7. В чому суть процесу дешифрування аерознімків? Назвіть етапи дешифрування.
8. Чим відрізняється фотоплан від фотокарти?
9. Навіщо потрібні стереоскопічні прилади?
10. Що собою являють автоматизовані методи дешифрування аерокосмічної інформації?
11. Для чого потрібно кольорокодування?

12. Що розуміється під процесом трансформування знімків?
13. Для чого доцільно використовувати еталонні зображення антропогенних утворень?
14. Які етапи еталонування антропогенних утворень і комплексів?
15. Які масштаби відбитків використовуються для еталонних зображень?
16. Які зображення антропогенних утворень обрані в якості еталонів?
17. Які карти можна скласти, використовуючи матеріали аерокосмічної зйомки?
18. Які висновки дозволяє зробити аналіз екологічної інформативності багатозональних фотознімків?
19. Проблеми забруднення навколишнього простору в результаті експлуатації космічної техніки.

## **ЗРАЗОК**

Міністерство освіти та науки України  
Харківський національний університет ім. В.Н.Каразіна  
Екологічний факультет  
Кафедра екології та неоекології  
Тест – контроль з модуля 3  
(82 бала)

Прізвище, ім'я, по батькові \_\_\_\_\_

№ зал. книжки \_\_\_\_\_

Дата контролю \_\_\_\_\_

Тривалість контролю \_\_\_\_\_

### **Частина 1 (26 б.)**

**(Творчо-алгоритмічний рівень пізнання)**

**Умови виконання завдання:** *Дайте короткі відповіді:*

1. Визначить роль ГІС у вирішенні екологічних проблем \_\_\_\_\_ (6 б.)

2. Які за тематикою серії карт створюються з метою розробки заходів з охорони та раціонального використання природних ресурсів? \_\_\_\_\_ (4 б).
3. З якою метою використовуються еталонні зображення антропогенних утворень і комплексів різного типу? \_\_\_\_\_ (5 б).
4. Назвіть основні види забруднень, що утворюються при запусках КА. \_\_\_\_\_ (4 б).
5. Що називають «космічним сміттям»? \_\_\_\_\_ (7 б).

### **Частина 2 ( 15 б.)**

**(Репродуктивний рівень пізнання)**

**Умови виконання завдання:** *Вставте пропущені слова, вирази, числа, тощо.*

1. Один з центральних моментів при організації ГІС – це \_\_\_\_\_ (4сл.) достатнього для комплексної характеристики природного регіону (4 б).
2. В ГІС передбачено два режими моделювання - \_\_\_\_\_ (2 сл.) (розрахунок прогнозів для вибраного природного контуру) і \_\_\_\_\_ (1 сл.) (3 б).
3. Карти динаміки довкілля і прогнозу можливих змін є результатом аналізу \_\_\_\_\_ і \_\_\_\_\_ (5 б).
4. Для загальних дешифрувальних ознак антропогенних утворень характерна \_\_\_\_\_ (3 б).

### **Частина 3 (3 б.)**

**(Репродуктивний метод пізнання)**

**Умови виконання завдання:** *Визначте чи вірне наведене твердження.*

- |  |     |    |
|--|-----|----|
| 1. Кількість реально існуючих ГІС у світі досягає декількох тисяч.                         | Так | Ні |
| 2. В якості еталонів зображення антропогенних утворень обираються ті, що виникли природно. | Так | Ні |
| 3. Особливо сильно «засмічена» частками КА   | Так | Ні |

геостационарна орбіта.

#### **Частина 4 (8 б.)**

**(Репродуктивно-алгоритмічний рівень пізнання)**

**Умови виконання завдання:** *Знайдіть відповідність показників групи А одному або декільком показникам групи Б.*

<b>Група А</b>	<b>Група Б</b>
А Викидні гази ракетних двигунів	1. Сполуки хлору
Б Вплив супутникових електростанцій	2. Вуглеводні
В Концепції боротьби з забрудненням космосу	3. Нагрів іоносфери
	4. Застосування пасивних засобів
	5. Мікрохвильове випромінювання
	6. Інертні гази
	7. Активне гальмування штучних об'єктів космосу
	8. Оксиди азоту

#### **Частина 5 (7 б.)**

**(Репродуктивний рівень пізнання)**

**Умови виконання завдання:** *Знайдіть вірну відповідь серед наведених.*

1. ГІС включає такі структурні елементи: а) інформаційний блок; б) блок польових досліджень; в) блок потенційних та математичних моделей; г) блок сценаріїв, підготовки та оформлення рекомендацій для прийняття рішень.

2. Дослідження з вивчення впливу падіння ступенів ракет-носіїв відбувається на таких рівнях: а) регіональному; б) національному; в) локальному; г) відомчому.

3. Для еталонних зображень аерокосмічної інформації використовують такі масштаби відбитків: а) 1:2000000; б) 1:1000; в) 1:1000000; г) 1:5000.



## Частина 6 (18 бал)

(Творчий рівень пізнання)

**Умови виконання завдання:** *Визначте: Що треба зробити, якщо...; Викладіть свою точку зору щодо наведеного; Що буде, якщо...*

1. Що, на вашу думку, обумовило застосування геоінформаційних технологій у дистанційному зондуванні?

\_\_\_\_\_ (7 б.)

2. Чому, на вашу думку, створюються центри колективного користування ГІС ? \_\_\_\_\_ (6 б.)

3. Чому, на вашу думку, зазначеного засмічення космосу в майбутньому стане неможливим будь-яка діяльність на навколоремних орбітах?

\_\_\_\_\_ (5 б.)

4. З якою метою можна використовувати фотокарту? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (5 б.)

## Підсумковий контроль-коловіум

1. Охарактеризуйте сучасний стан розвитку космічної індустрії на Україні
2. Чому на практиці найбільш широко використовуються знімки, отримані у видимому і ближньому інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектру?
3. В яких цілях застосовують аерокосмічні знімки?
4. Яку роль відіграють аерокосмічні знімки при моніторингу за станом ґрунтового покриву?
5. В чому полягає фізична сутність сучасних видів зйомки?
6. Які прилади використовують при активних методах зйомки?
7. Дайте визначення поняття «знімок».
8. Перерахуйте основні параметри потрібні для здійснення планової зйомки.
9. Вкажіть різницю між плановим і перспективним зніманням.
10. Які переваги при вимірах у тепловій ІЧ – області?
11. В чому полягає сутність голографічної зйомки?
12. Для чого використовується багатозональна зйомка?
13. Для чого виконується загальногеографічне дешифрування знімків?
14. Що відносять до прямих дешифрувальних ознак?
15. Які прилади використовують для визначення дальнього переносу газоподібних забруднень?
16. За якої умови можна виконати ідентифікацію нафтових забруднень моря?
17. Що слід розуміти під ґрунтово-сільськогосподарським моніторингом?
18. Як на знімках дешифрують лісові пожежі?
19. Які види знімання використовуються при моніторингу тваринного світу?
20. Які методи екологічного прогнозу розрізняють?
21. Що таке ГІС?
22. Від чого залежить інформаційний зміст ГІС?
23. Що дозволяє системі географічних даних обслуговувати різні запити до бази даних, що пов'язані з просторово розподіленими об'єктами?
24. Наведіть приклади реально функціонуючих у світі ГІС?

25. Для чого доцільно використовувати еталонні зображення антропогенних утворень?
26. Які карти можна скласти використовуючи матеріали аерокосмічної зйомки?
27. Які висновки дозволяє зробити аналіз екологічної інформативності багатозональних фотознімків?
28. Які основні недоліки вимірів у видимій і ІЧ - області спектру?
29. За допомогою яких приладів здійснюється спектрометричне знімання?
30. Для чого використовується багатозональна зйомка?
31. Який принцип зйомки радіолокатором бічного огляду?
32. Що є методичною основою для дешифрування знімків?
33. Які задачі допомагає вирішити аерокосмічне дослідження агроландшафтів?
34. В чому складність вивчення болотних ландшафтів?
35. Які переваги є у дослідженні культурного ландшафту аерокосмічними методами?
36. Яка головна перевага космічних знімків перед звичайними аерофотознімками?
37. Назвіть сучасні проблеми забруднення НП.
38. В чому полягають проблеми територій, на які падають ступені ракетноносіїв?
39. Назвіть принципи та підходи до класифікацій падіння частин ракет-носіїв.
40. Чому збільшення штучних об'єктів на навколоземних орбітах викликає занепокоєння у фахівців?

Міністерство освіти та науки України  
Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна  
Екологічний факультет  
Кафедра екології та неоекології  
**Підсумковий тест – контроль**  
(159 балів)

Прізвище, ім'я, по батькові \_\_\_\_\_  
№ зал. книжки \_\_\_\_\_  
Дата контролю \_\_\_\_\_  
Тривалість контролю \_\_\_\_\_

**Частина 1 (40 б.)**

**(Творчо-алгоритмічний рівень пізнання)**

**Умови виконання завдання:** *Дайте короткі відповіді:*

1. Визначить роль ГІС у вирішенні екологічних проблем \_\_\_\_\_ (6 б.)
2. В яких випадках доцільно застосовувати розміщені на стаціонарних постах дистанційні засоби виміру? \_\_\_\_\_ (5 б.)
3. При дистанційних дослідженнях визначають температурні аномалії водної поверхні? Внаслідок чого вони виникають? \_\_\_\_\_ (6 б.)
4. Назвіть головне призначення супутникової радіонавігаційної системи ГЛОНАСС. \_\_\_\_\_ (6 б.)
5. Дайте визначення поняттю «траса супутника». \_\_\_\_\_ (5 б.)
6. З якою метою використовуються еталонні зображення антропогенних утворень і комплексів різного типу? \_\_\_\_\_ (5 б.)
7. Що називають «космічним сміттям»? \_\_\_\_\_ (7 б.)
8. Який процес називається дешифруванням знімків? \_\_\_\_\_ (6 б.)

## Частина 2 (25 б.)

### (Алгоритмічний рівень пізнання)

**Умови виконання завдання:** *Вставте пропущені слова, вирази, числ, тощо.*

1. Вікна прозорості атмосфери – це ті частини \_\_\_\_\_ (3 сл.), де електромагнітні хвилі \_\_\_\_\_ (2 сл.) в атмосфері (5 б).

2. Аерокосмічні методи являють собою \_\_\_\_\_ (3 сл.) і навколоремного простору, які виконуються за матеріалами \_\_\_\_\_ (2 сл.) зйомок (5 б.).

3. Оптичні та радіаційні властивості екосистем визначаються, в першу чергу, \_\_\_\_\_ (2 сл.), а також \_\_\_\_ (1 сл.) (3 б.).

4. В ГІС передбачено два режими моделювання - \_\_\_\_ (2 сл.) (розрахунок прогнозів для вибраного природного контуру) і \_\_\_\_ (1 сл.) (3 б.).

5. Один з центральних моментів при організації ГІС – це \_\_\_\_\_ (4сл.) достатнього для комплексної характеристики природного регіону (4 б).

6. Серед наземних дистанційних вимірів найбільш систематизовано \_\_\_\_\_ організовані спостереження \_\_\_\_\_ (3 сл.) в усій товщі атмосфери (3 б.).

7. Аерофотознімальні маршрути прокладаються так, щоб знімки сусідніх маршрутів мали продольне перекриття \_\_\_\_\_%, а поперечне \_\_\_\_\_% (2 б.).

## Частина 3 ( 8 б.)

### (Репродуктивний рівень пізнання)

**Умови виконання завдання:** *Визначте чи вірне наведене твердження.*

1. При здійсненні фото телевізійної зйомки зображення одразу ж передається на Землю.	Так Ні
2. Найпростішим і найефективнішим методом отримання інформації про ерозійні процеси є аерофотознімання.	Так Ні

3. Ідентифікацію нафтових забруднень моря можна виконати тільки за космознімками високого розрешення.	Так Ні
4. В якості еталонів зображення антропогенних утворень обираються ті, що виникли природно.	Так Ні
5. Планова зйомка здійснюється, коли оптична вісь апарату відхиляється від напрямку місцевої вертикалі на 30-40°.	Так Ні
6. За аерофотознімками можуть бути визначені різні типи промислових підприємств.	Так Ні
7. Кількість реально існуючих ГІС у світі нараховує не більше десяти.	Так Ні
8. Фотосхема – трансформоване фотографічне зображення місцевості.	Так Ні

#### Частина 4 (18 б.)

##### (Репродуктивно-алгоритмічний рівень пізнання)

**Умови виконання завдання:** *Знайдіть відповідність показників групи А одному або декільком показникам групи Б.*

#### Група А

- А Вплив супутникових електростанцій
- Б Дистанційне зондування атмосфери
- В Використання аерокосмічних методів в ґрунтознавстві
- Г Бортова апаратура ГЛОНАСС
- Д Носії знімальної апаратури

#### Група Б

- 1. Мікрохвильове випромінювання
- 2. Вулканічне забруднення атмосфери
- 3. Забруднення атмосфери димами природних пожеж
- 4. Складання ґрунтових карт
- 5. Розробка удосконалених методик вивчення ґрунту
- 6. Система терморегуляції
- 7. Навігаційний комплекс
- 8. Комплексне управління
- 9. Літаки
- 10. Пілотуємі космічні кораблі
- 11. Гелікоптери

12. Забруднення атмосфери від локальних джерел

13. Вивчення складу та властивостей ґрунту

14. Нагрів іоносфери

15. Космічні

16. Пилове забруднення атмосфери

17. Система корекції

18. Авіаційні

### Відповіді

<b>А.</b>	
<b>Б.</b>	
<b>В.</b>	
<b>Г.</b>	
<b>Д.</b>	

### Частина 5 (20 б.)

#### (Репродуктивний рівень пізнання)

**Умови виконання завдання:** *знайдіть вірну відповідь серед наведених*

1. Форми орбіт КЛА в залежності від швидкості їх руху можуть бути: а) еліптичні; б) кругові; в) прямі; г) похилі; д) обернені; е) полярні.
2. До прямих дешифрувальних ознак відносять: а) форма; б) колір; в) тон; г) структура зображення; д) яскравість.
3. При контролі чистоти атмосферного повітря в містах ставляться такі задачі: а) контроль викидів; б) визначення хім. складу викидів; в) контроль рівня забруднення; г) визначення ступеня токсичності забруднюючих речовин.
4. За допомогою дистанційного зондування можна вивчати такі характеристики ґрунту: а) вологість; б) теплові властивості; в) механічний склад; г) вміст гумусу.

5. Дослідження з вивчення впливу падіння ступенів ракет-носіїв відбувається на таких рівнях: а) регіональному; б) національному; в) локальному; г) відомчому.
6. ГІС включає такі структурні елементи: а) інформаційний блок; б) блок польових досліджень; в) блок потенційних та математичних моделей; г) блок сценаріїв, підготовки та оформлення рекомендацій для прийняття рішень.
7. Фотографічну апаратуру за конструктивним методом побудови зображення можна поділити на: а) кадрові апарати; б) сканерні апарати; в) фотографічні апарати; г) цільові апарати; д) панорамні апарати.

### **Частина 6 (37 б.)**

#### **(Творчий рівень пізнання)**

**Умови виконання завдання:** *Визначте: Що треба зробити, якщо...; Викладіть свою точку зору щодо наведеного; Що буде, якщо...*

1. Перерахуйте, які природні та антропогенні явища можливо досліджувати за допомогою ІЧ-зйомки.  
\_\_\_\_\_ (15 б.)
2. З якою метою проводяться дистанційні дослідження вмісту хлорофілу в листях рослин? \_\_\_\_\_ (6 б.)
3. Визначіть, яким чином значення альbedo міст вирізняє їх серед природних ландшафтів? \_\_\_\_\_ (10 б.)
4. Чому на вашу думку створюються центри колективного користування ГІС? \_\_\_\_\_ (6 б.)



## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

- КА – космічний апарат  
КК – космічний корабель  
КЛА – космічний літальний апарат  
КН – корисне навантаження  
КС – космічне сміття  
КП – космічний простір  
МХВ – мікрохвильове випромінювання  
НАСА – Національне агентство з дослідження космосу  
НОАА – Національне управління з дослідження океану і атмосфери  
НОРАД – Об'єднання командування ПВО Північно-американського континенту  
НПС – навколишнє природне середовище  
ОК – орбітальний комплекс  
ОКС – орбітальна космічна станція  
РА – радіоастрономія  
РН – ракета-носій  
РТГ – радіоізотопний термоелектронний генератор  
СЕС – супутникова електростанція  
ССЕ – супутникова сонячна електростанція  
ШСЗ – штучний супутник Землі

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЗНИК

	Ст.
Аерофотознімання	198
Автоматизована обробка знімку	61
Активні методи зйомки	70
Аерокосмічні методи	69
Багатозональна зйомка	120
«Блакитний» шлейф	98
«Вікна прозорості» атмосфери	97
Генералізація оптична	326
Геоінформаційні системи (ГІС)	310
Гідролокатори бічного огляду	79
Голографічна зйомка	128
Дешифрування знімків	316
Дистанційний ґрунтовий моніторинг	210
Екологічна інформативність космічних знімків	54
Загальногеографічне дешифрування	316
Знімок	13
Інвентаризація лісів	225
Інтерпретоскоп	323
Інфрачервона зйомка	108
Камеральне дешифрування	317
Квантування	327
Кластеризація	328
Кольорокодування	327
Космічне сміття	339
Лазерне зондування	132
Ландшафтне дешифрування	317
Ландшафтно-індикаційна карта	58
Лідар	79
Лінзозеркальний стереоскоп	323
Мікрохвильова зйомка	256
Нахил орбіти	87
Непрямі ознаки дешифрування	318
Оверлайн	314
Орбіти геліосинхронні	88

Орбіти геосинхронні	89
Орбіти екваторіальні	87
Орбіти еліптичні	87
Орбіти кругові	86
Орбіти полярні	87
Орбіти похилі	87
Панорамна зйомка	74
Пасивні методи зйомки	71
Період обертання	89
Перспективна зйомка	74
Піксель	327
Планова зйомка	73
Планово-перспективна зйомка	74
Польове дешифрування	
аерофотознімків	317
Прямі дешифрувальні ознаки	317
Радарне зйомка	123
Радіолокаційні системи	81
Розрешаюча здатність	75
Сканерна зйомка	137
Сканування	78
Спектрометрична зйомка	118
Спеціальне дешифрування	317
Стереоскомпаратор	322
Стереоскопічне візування	323
Супутникові системи	35
позиціювання GPS	
Супутникові системи	33
позиціювання ГЛОНАСС	
Телевізійна зйомка	103
Тепловізори	115
Трансформування знімків	319
Траса супутника	87
Цифрові знімки	101
Цифрування	326
Штучні супутники Землі	72
Фотографічна зйомка	99
Фотокарта	321
Фотоплан	319

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Альтер С. П.* Ландшафтный метод дешифрирования аэрофотоснимков. – М.: Наука, 1966. – 110 с.
2. *Амбарников В. Н., Елажин А. Н., Новиков М. П.* Радиофизические исследования поляризационных характеристик полога древостоя и кромки лесного пожара. – Дистанционное зондирование земных покровов радиометрами // Экспресс информации, 1989. – №7. – С. 15-21.
3. *Арныбашев Е. С., Кузьмин В. Д., Орлов О. К.* Исследования инфракрасного излучения моделей лесных пожаров // Лесное хозяйство, 1974. – №10. – С. 21-27.
4. *Аэрокосмические* методы в охране природы и в лесном хозяйстве / Под ред. В. И. Сухих и С. Г. Синицина. – М.: Лесная промышленность, 1979. – С. 116-303.
5. *Аэрокосмические* методы в социально-экономической географии / Под ред. Ю. Ф. Книжникова. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 204 с.
6. *Белов С. В.* Аэрофотосъемка лесов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – 219 с.
7. *Берлянд М. Е., Кондратьев К. Я.* Города и климат планеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 134 с.
8. *Богородский В. В., Крпоткин М. А., Шевелева Т. Ю.* Методика и техника обнаружения нефтяных загрязнений вод. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – С. 24-29.
9. *Буров М. И., Краснопецев Б. В., Михайлов А. П.* Практикум по фотограмметрии. Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1987. – 302 с.
10. *Виноградов Б. Г.* Космические методы изучения природной среды. – М.: Мысль, 1976. – 273 с.
11. Вокруг света. – М.: МДП Маарт, август 2004. – С. 118 – 122.
12. *Востокова Е.А.* Экологическая информативность космических снимков. – М.: Наука, 1990. – 247 с.
13. География, общество, окружающая среда. Природно-антропогенные процессы и экологический риск./ Под

- ред. чл.-кор. РАН Н.С. Касимова. – М.: Изд дом «Городец», 2004. – 615 с.
14. Гидрогеохимические предвестники землетрясений. – М.: Наука, 1985. – 286 с.
  15. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / Под ред. В. Н. Харисова, А. И. Перова, В. А. Болдина. – М.: ИПРЖ, 1998.
  16. Глобальные проблемы современности: Региональные аспекты. Сборник трудов / М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт системных исследований, 1988. – Вып. 5. – 197 с.
  17. *Гохберг М. Б., Моргунов В. А., Похотелов О. А.* Сейсмоэлектромагнитные явления. - М.: Наука, 1988. - 174 с.
  18. *Григорьев А. А.* Антропогенные воздействия на природную среду по наблюдениям из космоса. – Л.: Географ. общество СССР, 1975. – 96 с.
  19. *Григорьев А. А.* Города и окружающая среда. Космические исследования. – Л.: Географ. общество СССР, 1982. – 212 с.
  20. *Григорьев А. А.* Космическая индикация ландшафтов Земли. – Л.: Изд-во Ленинградского госуд. ун-та, 1975. – 163 с.
  21. *Григорьев А. А., Кондратьев К. Я.* Космическое земледование. – М.: Наука, 1985. – 159 с.
  22. *Григорьев А. А., Кондратьев К. Я.* Космос и география. // Современные проблемы географии: Сб. ст. – Л.: Географ. Общество СССР, 1980. – С. 73-80.
  23. *Григорьев А. А., Липатов В. Б.* Дымовые загрязнения атмосферы по наблюдениям из космоса. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 108 с.
  24. Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Методики и результаты. Сканирующая система «Фрагмент». – М.; Берлин, 1988.
  25. Дистанционные измерения содержания сернистого газа в выбросах труб тепловых электростанций с помощью радиометра корреляционного типа / А. Н. Николаев, А. Н. Пегов, Е. И. Фетисова и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 110 с.

26. Дистанционные методы исследования атмосферы: Сб. ст. – М.: Наука, 1980. – 197 с.
27. Дистанционные средства и методы измерения загрязнений атмосферы и выбросов / Под ред. В. И. Рождественской. – М.: Гидрометеоздат, 1986. – Вып. 67.– 110 с.
28. Дистанционные средства и методы измерения загрязнений атмосферы и выбросов / Под ред. В. И. Рождественской. – М.: Гидрометеоздат, 1986. – Вып. 78.– 87 с.
29. *Дорогунцов С. И., Ральчук О. М.* Управління техногенно-екологічною безпекою у парадигмі сталого розвитку. — К.: Наук, думка, 2001.—172 с.
30. *Финкельштейн А.М.* Загрязнение космического пространства 1960-1990 г.г. // С-П., 1992.
31. *Нагамото М., Макино Ф.* Загрязнение окружающей среды в космосе. – Кагаку, 1989. – 60 с.
32. *Зайцев Ю. А., Мухина Л. А.* Применение цветной и спектральной аэрофотосъемки в геологических целях. – М.: МГУ, 1966. – 87 с.
33. Земля из космоса – наиболее эффективные решения. / Материалы 1-й международной конференции. Москва, 26-28 ноября 2003 г. – М.: Узд. «Бином», 2003. – С. 21 – 22.
34. *Зуев В. В., Зуев В. Е.* Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. – С-П.: Гидрометеоздат, 1992. – 190 с.
35. *Иванов В. И., Малевич И. А., Чайковский А. П.* Многофункциональные лидарные системы. – Минск: Унив-е изд-во, 1986. – 250 с.
36. Измерение атмосферного озона ультрафиолетовым лидаром / В. П. Гусаров, А. К. Комтко, А. П. Прохоров, Н. Д. Смирнов. – Томск: Риа, 1980. – С. 82-93.
37. *Израэль Ю.А.* Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей среды. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 196 с.

38. Исследования природной среды космическими средствами. География. Методы космической фотосъемки. Т. 4 ВИНТИ, 1975. – 250 с.
39. Исследования природной среды с пилотируемых орбитальных станций / Г. Т. Береговой, А. А. Бузников, О.Б. Васильев и др. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 163 с.
40. Каталог термических предвестников землетрясений. – М.: ИФЗ, 1991. – 35 с.
41. *Кац Я. Г., Рябухин Д. М., Трофимов А. Г.* Космические методы в геологии. – М.: Изд-во моск. ун-та, 1976. – 248 с.
42. *Книжников Ю. Ф.* Аэрокосмическое зондирование. Методология, принципы, проблемы. Учеб. пособие – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. – 129 с.
43. *Книжников Ю. Ф.* Основы аэрокосмических методов географических исследований. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 104 с.
44. *Ковалев В. А.* Об одном способе обработки сигнала лазерного зондирования. // Труды ГГО, 1973. – С. 128-133.
45. *Комаров В. Б., Старостин В. А., Новро Б. П.* Развитие исследований в СССР по использованию радиолокационных изображений для геологических целей. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – Т. 2.– С. 111-119.
46. *Кондратьев К. Я., Григорьев А. А.* География космоса. – М.: Знание, 1984. – 48 с.
47. *Кондратьев К. Я.* Климат по наблюдениям из космоса. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 145 с.
48. *Кондратьев К. Я., Покровский О. М.* Глобальная экология: дистанционное зондирование // Итоги науки и техники. – М.: ВИНТИ, 1992. – Т. 14.– 310 с.
49. *Кононов В. И., Федоровский А. Д., Дубинский Г. П.* Оптические системы построения изображений. – К.: Техника, 1981. – 134 с.
50. Космические методы изучения среды. Автоматизированный аэрокосмический практикум /

- Под ред. А. П. Капицы, Ю.Ф. Книжникова. – М.: Изд-во моск. ун-та, 1989. – 143 с.
51. *Коган Р. М., Назаров М. Д.* Основы гаммаспектрометрии природных сред. – М.: Атомиздат, 1976. – 366 с.
  52. *Кравцова В. И.* Космические методы в картографировании. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – 106 с.
  53. *Кравцова В. И.* Космические методы изучения природной среды. Современный фонд космических снимков: Учеб.-метод. пособие / Под ред. А. П.Капицы, Ю.Ф.Книжникова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. – 136 с.
  54. *Кравцова В. И.* Материалы космических съемок и их применение в географических исследованиях. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 96 с.
  55. *Красовський Г. Я., Петросов В. А* Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем та прогнозу водоспоживання міст. – К.: Наукова думка, 2003. – 224 с.
  56. *Кринов Е. Л.* Спектральная отражательная способность природных образований. – М.: Изд-во АН СССР, 1974. – 271 с.
  57. *Курьянов В. В.* Гидрологические аспекты урбанизации. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 89 с.
  58. *Курьянов В. В., Прокачева В. Г.* Спутниковая информация изучения вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 106 с.
  59. *Кучко А. С.* Аэрофотография. – М.: Недра, 1974. – 129 с.
  60. *Лазерные измерения массовой концентрации аэрозолей в шлейфах промышленных предприятий / Н.М. Назаров, В.Н. Рождественская, Ш.Д. Фридман, В.Ф. Журавлев.* – М.: Метеорология и гидрология, 1980. – С. 24-32.
  61. Ландшафтный метод лесного дешифрирования аэроснимков. Сб. ст. АН СССР. – М.: Наука, 1976. – С. 78-83.
  62. *Леонтьев О. К.* Основы геоморфологии морских берегов. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – 68 с.



63. *Лурье И. К., Косиков А. Г.* Теория и практика цифровой обработки изображений / Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Под ред А.М.Берлянта. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.
64. *Лялько В. І, Вульфсон Л. Д., Жарий В. Ю.* Аерокосмічні методи в геоекології. – К.: Наукова думка, 1992. – 206 с.
65. *Лялько В. І., Попов М. О, Зубко В. П., Рябоконеко О. Д.* Стан та перспективи розвитку дистанційних методів дослідження Землі в Україні // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «ГЕОГРАФИЯ», 2004. – Том 17 (56) №2.
66. *Ляпки И. А* Спутниковые навигационные системы. М.: Вузовская книга, 2001. – 230 с.
67. Методические рекомендации по дешифрированию космической информации для картографического обеспечения мероприятий по охране окружающей среды. – М.: Знание, 1988. – 120 с.
68. *Милькис М. Р.* Метеорологические предвестники сильных землетрясений // Изв. АН СССР. Физика Земли, 1986. – С. 36-47.
69. Микроволновая дистанционная индикация загрязнения поверхности моря нефтепродуктами / В. В. Богородский, К. Я. Кондратьев, Ю. И. Рабинович. – М.: Наука, 1976. – 118 с.
70. Многозональная аэрокосмическая съемка и ее использование при изучении природных ресурсов. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – 138 с.
71. Мощные лазерные излучения в атмосферном аэрозоле / Под ред. Кабанова М. В. – Новосибирск: Наука, 1984. – 180 с.
72. *Назаров И. М., Николаев А. Н., Фридман Ш. Д.* Дистанционные и экспрессные методы определения загрязнения окружающей среды. – М.: Гидрометеиздат, 1977. – 194 с.
73. *Назаров И. М., Николаев А. Н., Фридман Ш. Д.* Основы дистанционных методов мониторинга

- загрязнения природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 279 с.
74. Науковий світ. – Київ: Літопис ХХ. – Вип. № 1 (66), 2004. – С. 17 – 18.
75. *Нельсон А.* Загрязнение моря нефтью. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 124 с.
76. Основы екологічної безпеки – військовий словник. / С.В. Мінка, І.І Попов, А.З. Гризунов та ін. Харків: ХВУ, 2001. – 298 с.
77. *Петрусевич М. Н.* Воздушная и наземная стереофотосъемка при геологических исследованиях. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – 148 с.
78. *Попов И. В.* Аэрофотосъемка и изучение вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 160 с.
79. *Преображенский В. С., Анненков В. В., Лапко Г. М.* Проблемы окружающей среды городов в освещении американских географов. – М.: Изд-во АН СССР. Сер. география, 1978. - №5.
80. Проблема дальнего переноса загрязнителей / Лысак А. В. // Журн. хим. общество им. Д. И. Менделеева, 1979. - №1.
81. Применение радиолокационной съемки при геолого-географических исследованиях. – Л.: Недра, 1981. – С. 56-72.
82. *Салищев И. Н.* Исследования природной среды космическими средствами. Методы космической фотосъемки. – М.: Изд-во АН СССР, 1975. – 225 с.
83. *Салищев К.А., Книжников Ю.Ф.* Космическая съемка и тематическое картографирование. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – С. 78-93.
84. *Севастьянов В.И.* Научные и технические эксперименты на борту «Союза – 9». – М.: Изд-во АН СССР, 1970. – С. 65-74.
85. *Сердюков В. М., Патыченко Г. А., Синельников Д. А.* Аэрокосмические методы географических исследований. – К.: Вища школа, 1987. – 233 с.
86. *Синельников Д. А.* Аэрокосмические методы географических исследований. – К.: Вища школа, 1985. – 186 с.

87. Синельников Д. А., Сердюков В. М., Патыченко Г. А. Аэрокосмические методы изучения окружающей среды. – К.: Вища школа, 1988. – 134 с.
88. Синицын В.Д., Сухих В.И. Аэрокосмические методы в охране природы и в лесном хозяйстве. – М.: Наука, 1979. – 256 с.
89. Страна и народы. Земля и человечество. Глобальные проблемы / Отв.ред. Н. Т. Фролов. – М.: Мысль, 1985. – 429 с.
90. Стукин Е. Д., Израэль Ю. А. Гамма-излучение радиоактивных выпадений. – М.: Атомиздат, 1967. – 224 с.
91. Толчельников Ю. С. Оптические свойства ландшафта. – Л.: Наука, 1974. – 252 с.
92. Фишман В. П., Урсов А. А. Приборы смотрят сквозь Землю. – М.: Недра, 1987. – 173 с.
93. Харин Н. Г. Дистанционные методы изучения растительности. – М.: Наука, 1975. – 132 с.
94. Шимен Б. В. Контроль состояния окружающей среды тепловой съемкой. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 65 с.
95. Новиков Л. С., Петров Н. Н. Экологические аспекты космонавтики. и др. – М.: Знание, 1986. – С. 36.
96. Bernard E., Milburn H. Improved satellite — based emergency alerting system // J. Atmos. and oceanic technology.—1991.—8(6).—P. 879—883.
97. Brakenridge G. R., Anderson E., Caquard S. Flood Inundation Map DFO 2003-282. — Dartmouth Flood Observatory, Hanover, USA, 2003.
98. Challenges for GIS in Emergency Preparedness and Response // ESRI White Paper, May 2000.
99. Greene R. W. Confronting Catastrophe. A GIS Handbook Redland, California: ESRI Press, 2003.—140 p.
100. Trudeau M. Weathering National Hazards with Inform Technology // Geo Info Systems. —1998.—8 (10). — 10 p.
101. Statement of guidance regarding how well satellite and in sensors capabilities meet WMO user requirements in

- sea application areas // WMO Tech. Doc # 1052, SAT-26, W 2001. —185 p.
102. *Victor L., Baptista M., Simoes J.* Destructive earthquakes tsunami warning system // *Terra nova*.—1991.—3 P. 119—121.
  103. *Lyalko V. I., Kostyuchenko Yu. V., Kitchka A. A.* Lands management strategy improvement based on the remote senflood risk policy in the Upper Tisza basin // Abstracts of Second International Conf. «Interfaces Against Pollution (2002)» and NATO ARW «Role of interfaces in Environmental Protection», May 27-30, Miskolc-Lillafured, Hungary, 2002 (Univ. Miskolc Print), 2002.— P. 56.
  104. *Гічка М.М.* Дистанційне зондування в системі моніторингу ґрунтів України // *Вісник аграрної науки*. – 2005. - № 12. – С. 72 – 75.
  105. *Тімченко Д.О., Трускавецький С.Р., Биндич Т.Ю., Гічка М.М.* Картографування ерозійно небезпечних ґрунтів за допомогою космічної зйомки: методичні рекомендації. – Харків: Вид-во „13 типографія”, 2005. – 44с.
  106. *Рис У.* Основы дистанционного зондирования. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.
  107. *Стецюк Ю., Сілецький Ю.* Основы екологічної геоморфології. – К.: Четверта хвиля, 2000. – 368 с.

**Для нотаток**

Навчальне видання

**Некос Алла Наумівна**  
**Щукін Георгій Георгійович**  
**Некос Володимир Юхимович**

**Дистанційні методи досліджень в екології**

Відповідальний за випуск професор В. Ю. Некос  
Редактор І. Ю. Агаркова  
Коректор Ю. С. Нестеренко  
Комп'ютерна верстка А. О. Баскакова  
Макет обкладинки І. М. Дончик, О.Я. Воробйова

61077, Харків, майдан Свободи, 4, Харківський національний  
університет імені В. Н. Каразіна, організаційно-видавничий  
відділ НМЦ

Підписано до друку. Формат 60×84/16  
Обл.-вид. 23,25 арк. Умов.-друк. 21,62 арк. Наклад 300 прим.  
Папір офсетний. Друк ризографічний. Ціна договірна.

Надруковано ПП Азамаєв В. Р.  
м. Харків, вул. Героїв праці, 17