

# Актуальні питання сьогодення

УДК 630.1:[528.85:629.783]

**В.В. Омельчук**

к. т. н.,

Центр космічних інформаційних технологій, м. Житомир

**М.П. Фомін**

к. т. н.,

Житомирський національний агроєкологічний університет

## **МЕТОДИКА ОЦІНКИ СТАНУ ЛІСІВ УКРАЇНИ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ІЗ КОСМОСУ**

*Запропонована методика оцінки стану лісів за різномасштабними багатоспектральними оптичними даними дистанційного зондування Землі із космосу. Розроблена структурно-логічна схема послідовності операцій сумісної обробки супутникових й наземних даних для оцінки стану лісів з використанням геоінформаційних систем.*

### **Постановка проблеми**

Лісами зайнято близько третини суші земного шару. Вони забезпечують збереження у зв'язаному стані значної частки світових запасів вуглецю та виступають як екологічний каркас збереження біорізноманіття екосистем, а також виконують багато інших біосферних функцій. Лісовий покрив є однією з найбільш важливих й динамічних компонент екосистем – так звані „легені планети”. Гірські ліси до того ж виконують важливі середовище утворюючі функції: водоохоронні, протиерозійні й ландшафтностабілізуючі. Ліси також є одним з найважливіших природних ресурсів, що містить запаси деревини й не деревинні цінності (кормові, мисливсько-промислові ресурси, плоди і ягоди дикоростучих рослин, лікарські рослини та ін.). Потреба здійснення регулярної оцінки стану лісів зумовлена їх безперервною динамікою через вплив природних й антропогенних чинників (пожежі, урагани, вирубки, техногенне забруднення та ін.) для інформаційного забезпечення прийняття управлінських рішень щодо раціональних способів лісокористування.

### **Аналіз останніх досліджень та постановка завдання**

Оцінка стану лісів є необхідною висхідною складовою їх моніторингу. Сучасний етап розвитку методології моніторингу лісів для формування стратегії раціонального лісокористування й захисту навколишнього середовища передбачає обов'язкове використання методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та геоінформаційних систем (ГІС) [2]. Технології ДЗЗ відкривають можливість оцінки стану лісів, включаючи визначення

структури насаджень, виявлення великомасштабних змін в лісах через вплив пожеж, вирубок й інших чинників, оцінку стану лісової рослинності. Оцінка стану лісів за даними ДЗЗ здійснюється методами вирішення зворотних задач: за даними багатоспектральних космічних знімків оцінюються параметри стану природних об'єктів – об'єм зеленої фітомаси, вологість та ін. Теоретичною основою інтерпретації космічних знімків є функціональний опис взаємодії полів випромінювань з природними системами у вибраних спектральних каналах [1, 2].

Оцінка стану лісів з використанням даних дистанційного зондування Землі із космосу складається із таких загальних етапів [2]:

- отримання, накопичення і попередня обробка видової космічної інформації;
- отримання і накопичення наземної завіркової інформації, яка містить лісотехнічні параметри;
- сумісна обробка космічної та наземної інформації із застосуванням ГІС-технологій та програмних продуктів.

Сучасні концепції супутникового моніторингу виділяють глобальний, континентальний, регіональний та локальний рівні спостереження (дистанційної оцінки стану досліджуваної поверхні), що різняться функціональними задачами, територіальним охопленням, а також вимогами до просторової й тематичної детальності інформації. В Україні ліси займають біля 90 тис. км<sup>2</sup>, що становить близько 15% всієї території держави, але великих територій (тисячі квадратних кілометрів) із суцільною однорідною лісистістю нема. Тому для моніторингу лісів України доцільно використовувати регіональний та локальний рівні спостереження з просторовими даними середнього й високого розрізнення 5–50 м. Особливістю регіонального моніторингу є необхідність комбінованого використання багатоспектральних супутникових даних неоднакового просторового розрізнення. Природна й антропогенна руйнація лісових екосистем та розвиток інформаційних технологій зумовили збільшення кількості наукових робіт [1–7, 9], присвячених моніторингу стану лісів. Утім теоретичні засади та методичні аспекти оцінки стану лісів за даними ДЗЗ із космосу недостатньо розроблені. Розвиток геоінформаційних технологій та техніки космічної зйомки дає значно ширші можливості цільового застосування супутникових даних ДЗЗ щодо інформаційного забезпечення управління лісокористуванням.

*Метою досліджень* є розробка методики оцінки стану лісів за різномасштабними багатоспектральними даними дистанційного зондування Землі із космосу й наземними завірковими даними на основі їх сумісної обробки.

### **Об'єкт та методика досліджень**

Об'єктом досліджень є процес оцінки стану лісів як динамічної екосистеми Землі за супутниковими багатоспектральними даними.

Предмет досліджень – геоінформаційна технологія обробки різномасштабних багато-спектральних цифрових космічних знімків для оцінки стану лісів у регіональних масштабах. Методологічною основою досліджень є спектрально-об'єктовий аналіз параметрів оптичного випромінювання ландшафту Землі на основі теорії електромагнітного випромінювання, декомпозиція інформаційного поля електромагнітного випромінювання на адитивні спектрально-об'єктові складові за матеріалами багатоспектральної космічної зйомки.

### Результати досліджень

В основі існуючих методів використання супутникових зображень для виявлення змін у лісах, у тому числі у наслідок вирубок, лежать знання особливостей спектрального відбивання різними компонентами лісових екосистем, а також зв'язків між змінами їх спектрально-відбивальних властивостей. При цьому слід враховувати, що до відмінностей цих властивостей можуть приводити й інші, не зв'язані із змінами лісів фактори, такі як фенологічний стан рослинності, атмосферні умови, геометричні умови, освітлення й спостереження, рельєф місцевості та деякі інші особливості [3].

Детальніше розглядали фізичні основи й методику сумісної обробки наземних та оптичних космічних даних ДЗЗ із застосуванням ГІС-технологій.

У видимому й ближньому інфрачервоному діапазоні зосереджено 95 % енергії сонячної радіації, яка здійснює опромінення („підсвітку”) наземних природних й антропогенних компонент ландшафту, а потужність відбитого від них сонячного випромінювання вдень значно перевищує їх власне теплове випромінювання. Вдень наземні компоненти геосфери опромінюються прямим сонячним випромінюванням, яке ослаблюється атмосферою та об'ємно-розсіяним випромінюванням атмосфери. Сумарне відбите від елементарної ділянки наземної поверхні випромінювання та об'ємно-розсіяне випромінювання атмосфери, яке діє і в напрямку оптичного приладу, реєструється на борту космічного апарата й утворює результуючу яскравість піксела цифрового зображення. Друга складова разом із тепловим випромінюванням є завадою, яка погіршує відношення сигнал/шум в елементарному інформаційному каналі знімальної апаратури й спотворює зображення. Якщо атмосфера непрозора, то проводити космічну зйомку в оптичному діапазоні нема сенсу. Якщо атмосфера досить прозора, то друга (завадова) складова яскравості піксела невелика і її можна не враховувати. Природні й антропогенні об'єкти відбивають сонячну радіацію певним, характерним тільки для них, чином, тому вимірювання кількісних характеристик багатоспектрального електромагнітного поля випромінювання є основою їх дистанційного дослідження [2, 8].

Перша (інформаційна) складова яскравості піксела містить дані про

відбивальні характеристики об'єктів на елементарній ділянці земної поверхні. Яскравість пікселя  $i$ -о рядка  $j$ -о стовпця цифрового зображення в  $l$ -у спектральному каналі від  $m$ -о типу відбивальної поверхні, що зняте в надир, спрощено описується такою математичною моделлю [8]:

$$B_{ijlm} = \beta_{intlm} \cdot K_{yml}(\theta_C, \lambda, H_A) \quad [\text{Вт} / (\text{ср} \cdot \text{м}^2)], \quad (1)$$

де:  $\beta_{intlm}$  – інтегральний коефіцієнт відбивання сонячного випромінювання  $m$ -о типу відбивальної покриву поверхні в  $l$ -у спектральному каналі;

$K_{yml}(\theta_C, \lambda, H_A)$  – коефіцієнт, що визначається умовами знімання (освітленість сцени зйомки, поглинання сонячного випромінювання атмосферою, спектральний діапазон, параметри апаратури знімання та ін.) для  $l$ -о спектрального каналу, який практично постійний для конкретного кадру зйомки,

$$K_{yml}(\theta_C, \lambda, H_A) = \frac{1}{\pi} \cdot \sin \theta_C \cdot \int_{\lambda_{H1}}^{\lambda_{B1}} E_0(\lambda) \cdot K_{\theta c}(\lambda, H_A) \cdot K_A(H_A) \cdot R_{ij}(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

де:  $E_0(\lambda)$  – спектральна щільність потоку сонячного випромінювання на верхній межі атмосфери при нормальному падінні на її поверхню залежно від довжина хвилі  $\lambda$ ;

$K_{\theta c}(\lambda, H_A)$  – коефіцієнт пропускання атмосфери на довжині хвилі  $\lambda$  для кута місця Сонця  $\theta_C$ ;

$K_A(H_A)$  – коефіцієнт передачі атмосферою сонячного випромінювання, що відбивається від земної поверхні;

$R_{ij}(\lambda)$  – спектрально-просторова характеристика  $ij$ -о елементарного інформаційного каналу приладу оптичної зйомки;

$\lambda_{H1}$ ,  $\lambda_{B1}$  – нижня й верхня межа діапазону довжин хвиль  $l$ -о спектрального каналу приладу оптичної зйомки;

$H_A$  – товщина шару атмосфери між знімальним приладом й поверхнею, що знімається.

У рівнянні (2) параметри  $\theta_C$ ,  $\lambda$ ,  $E_0(\lambda)$ ,  $K_{\theta c}(\lambda, H_A)$ ,  $K_A(H_A)$ ,  $R_{ij}(\lambda)$  та  $H_A$  для конкретного кадру зйомки практично незмінні й майже всі відомі. Тому яскравість окремих пікселів цифрового космічного знімку буде визначатись, в основному, значеннями спектрального коефіцієнта відбивання  $\beta_{intlm}$  видимих поверхонь об'єктів в  $l$ -у спектральному каналі, що розташовані на елементарній ділянці земної поверхні.

Залежність усередненої спектральної відбивної здатності (сигнатури) основних класів природних об'єктів наведена в [1, 8]. Спектральне розподілення відбивальної здатності зелені лісових дерев деяких порід наведено на рис. 1 [6]. Перша мода відбивання – максимум відбитої енергії поблизу довжини хвилі 0,55 мкм, яка значно ослабляється у процесі взаємодії сонячного випромінювання з рослинністю. Друга мода відбивальної здатності зумовлена смогою поглинання хлорофілу поблизу

довжини хвилі 0,65 мкм. Третя мода максимальних значень відбивальної здатності для довжин хвиль більше 0,7 мкм дає уяву про функціонування живої системи, так як відповідає зростанню відбивальної здатності рослинності при загальному зменшенні інтенсивності падаючого на неї сонячного випромінювання.

Оцінка абсолютного значення коефіцієнта відбивання підстильної поверхні за даними ДЗЗ проблематично, тому для дешифрування матеріалів космічної зйомки частіше застосовують відносні похідні ознаки на основі багатоспектральних даних. Найбільш інформативні для характеристики рослинності дані червоної та ближньої інфрачервоної зони спектра оптичного випромінювання. У червоній області спектру (довжина хвилі  $\lambda = 0,62\text{--}0,76$  мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом, а в ближній інфрачервоній області ( $\lambda = 0,76\text{--}1,3$  мкм) знаходиться область максимального відбивання

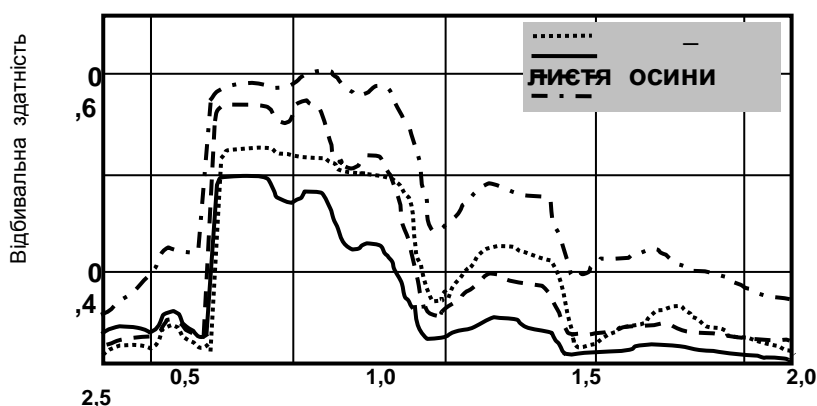


Рис. 1. Спектральне розподілення відбивальної здатності зелені лісових дерев

кліткових структур листя. Висока фотосинтезуюча активність рослин приводить до збільшення їх фітомаси. Кількість фітомаси на одиницю площі, що попадає у межі елемента розрізнення (піксела), залежить від щільності рослин та фенологічної фази їх розвитку. Із ростом фітомаси й щільності рослинності значення її яскравості зростають у ближній інфрачервоній зоні й зменшуються у червоній. Двовірний простір спектральних ознак яскравості пікселів рослинності у вказаних зонах утворює характерну область, яка за формою нагадує трикутник [1].

Нині дослідження стану рослинності найчастіше здійснюють за допомогою так званих карт нормалізованого диференційного вегетаційного індексу *NDVI* [англ. Normalized Difference Vegetation Index – нормалізований диференційний вегетаційний індекс]:

$$NDVI = (B_{\text{БІЧ}} - B_{\text{ЧВ}}) / (B_{\text{БІЧ}} + B_{\text{ЧВ}}), \quad (3)$$

де:  $B_{\text{БІЧ}}$  – значення яскравості піксела у ближній інфрачервоній зоні спектру ( $\lambda = 0,76 \dots 1,3$  мкм);

$B_{чв}$  – значення яскравості піксела у червоній зоні спектру ( $\lambda = 0,62 \dots 0,76$  мкм).

Значення нормалізованого диференційного вегетаційного індексу  $NDVI$  для цифрових знімків поверхні Землі змінюється у межах від  $-1$  до  $+1$ , що зручніше для зберігання в комп'ютері та аналізу. Для зеленої рослинності  $NDVI > 0$  й чим більше зелена фітомаса, тим ближче до  $+1$  значення  $NDVI$ . На значення вегетаційних індексів впливає не тільки рівень фітомаси, а й вид рослинності, кут візування, колір ґрунтів та ін. Тому для знімків різних регіонів й умов зйомки необхідно розраховувати окремий нормалізований диференційний вегетаційний індекс  $NDVI$ .

Іншою відносною опосередкованою ознакою стану рослинності є нормалізований диференційний індекс вологовмісту  $NDWI$  [англ. Normalized Difference Water Index], який розраховується за формулою

$$NDWI = (B_{БІЧ} - B_{СІЧ}) / (B_{БІЧ} + B_{СІЧ}), \quad (4)$$

де:  $B_{СІЧ}$  – значення яскравості піксела у середній інфрачервоній зоні спектру ( $\lambda = 1,3 \dots 3,0$  мкм).

Автоматичний піпксельний розрахунок індексів стану лісових насаджень можливий за багатоспектральними цифровими зображеннями космічних апаратів ДЗЗ “Landsat-7” (компанія Space Imaging) й “Spot-5” (компанія Spot Image), а в майбутньому – за даними очікуваного національного космічного апарату ДЗЗ “Січ-2”. Характеристики знімальної апаратури вказаних космічних апаратів наведені в табл. 1 [8].

Таблиця 1. Характеристики знімальної апаратури космічних апаратів ДЗЗ

Космічний апарат (рік запуску) / знімальна камера	Висота польоту КА, км	Спектральний діапазон, мкм	Просторове розрізнення, м	Ширина смуги зйомки, км	Ширина смуги захоплення, км
<b>Landsat-7</b> (1999 р.) / ETM+	703/701	0,51 ...0,89	панхр. 15	185	-
		0,45 ...0,51	30	185	-
		0,51 ...0,6	30	185	-
		0,63 ...0,69	30	185	-
		0,77 ...0,89	30	185	-
		1,55 ...1,75	30	185	-
2,06 ...2,35	30	185	-		
<b>Spot-5</b> (2002 р.) /HRG	826/824	0,49 ...0,69	панхр. 5,0	60	±475
		0,5 ...0,59	10	60	±475
		0,61 ...0,68	10	60	±475
		0,78 ...0,89	10	60	±475
		1,58 ...1,75	20	60	±475
<b>Січ-2</b> (2009 р.) /МСУ	~668	0,58 ...0,88	панхр. 7,8	46,6	±500
		0,5 ...0,59	7,8	46,6	±500
		0,6 ...0,68	7,8	46,6	±500
		0,78 ...0,88	7,8	46,6	±500
		1,55 ...1,7	39,5	55,3	±500
ССИК					

В Україні є ряд дистрибуторних приватних й державних фірм, які на комерційних засадах здійснюють розповсюдження космічних знімків та/або програмного забезпечення для їх обробки. Найбільший в Україні архів знімків з космічних апаратів ДЗЗ “Landsat-7”, “Spot-5” та деяких інших має Державний науково-виробничий центр “Природа” ([www.pryroda.gov.ua](http://www.pryroda.gov.ua)). Ціни на космічні знімки та замовлення космічної зйомки в центрі “Природа” одні із найнижчих в Україні.

Завдання розпізнавання типів підстильної поверхні та видового складу лісової рослинності на багатоспектральних цифрових космічних знімках середнього просторового розрізнення здійснюють автоматично з використанням сучасних комерційних програмних засобів (наприклад ERDAS Imagine) за методом класифікації з навчанням. Мірою близькості між спектральними характеристиками пікселів та середніми значеннями яскравості еталонів може бути евклідова відстань між векторами яскравості  $ij$ -о піксела  $\vec{B}_{ij} = (B_{ij}^1, B_{ij}^2, \dots, B_{ij}^L)$  зображення та вектором середніх еталонних (завіркових) значень яскравості спектральних зон, яка для об’єктів класу  $m$  розраховується за формулою:

$$\bar{R}_m(\vec{M}_m, \vec{B}_{ij}) = \sqrt{\sum_{l=1}^L (M_m^l - B_{ij}^l)^2}, \quad (5)$$

де  $\vec{M}_m = (M_1, M_2, \dots, M_L)$  – вектор середніх значень яскравості  $m$ -о класу об’єктів, що має розмірність  $L \times 1$  ( $L$  – кількість спектральних зон космічного знімку) [2, 8, 10].

Евклідова відстань розраховується для всіх можливих класів  $M_{KL}$ , і піксел приписується до класу з найменшим значенням  $\bar{R}_m(\vec{M}_m, \vec{B}_{ij})$ . Так як для кожного піксела існує найближчий еталон, то всі піксели класифікуються. Такий результат не зовсім коректний, тому іноді застосовують порогові значення спектральних відстаней.

При розрахунку евклідової відстані не враховується мінливість (дисперсія) яскравості пікселів у класі, тому частина пікселів територій з великою дисперсією яскравості можуть бути пропущеними, а до територій з низькою мінливістю може бути віднесено значно більше пікселів, ніж їй належить.

Значно ефективніше як міра близькості між спектральними характеристиками пікселів та середніми значеннями яскравості еталонів використання відстані Махаланобіса. Формула розрахунку відстані Махаланобіса (квадратична форма) крім середнього значення містить коефіцієнти коваріаційної матриці:

$$\bar{D}_m = (\mathbf{B} - \vec{M}_m)^T \cdot \bar{K}_m^{-1} \cdot (\mathbf{B} - \vec{M}_m), \quad (6)$$

де  $\bar{K}_m^{-1}$  – обернена (зворотна) коваріаційна матриця (розміром  $L \times L$ ) яскравості пікселів зображення для  $m$ -о класу об'єктів;

$T$  – знак операції транспонування матриці;

$\bar{B} = (B^1, B^2, \dots, B^L)$  – вектор розміром  $L \times 1$  значень яскравості піксела  $L$  спектральних зон;

$\bar{M}_m$  – вектор середніх значень яскравості розміром  $L \times 1$  для  $m$ -о класу об'єктів, що зображені на космічному знімку.

Коваріаційна матриця  $\bar{K}_m$  характеризує ступінь статистичного зв'язку між яскравостями пікселів зображення різних спектральних зон  $m$ -о класу об'єктів. Її  $kl$ -й елемент (коваріація яскравості  $k$ -о й  $l$ -о спектральних каналів)  $m$ -о класу об'єктів обчислюється [10] за навчаючими (еталонними) вибірками згідно з формулою:

$$K_{mkl} = \frac{1}{n_m - 1} \cdot \sum_{j=1}^{n_m} (B_{jk} - M_{mk}) (B_{jl} - M_{ml}), \quad (7)$$

де  $n_m$  – кількість пікселів зображення еталону  $m$ -о класу об'єктів;

$B_{jk(l)}$  – яскравість  $j$ -о піксела зображення  $k$  ( $l$ -о) спектрального каналу  $m$ -о класу об'єктів;

$M_{mk(l)}$  – середнє значення яскравості пікселів зображення еталону  $m$ -о класу об'єктів  $k$  ( $l$ -о) спектрального каналу, яке розраховується за формулою:

$$M_{mk(l)} = \frac{1}{n_m} \cdot \sum_{j=1}^{n_m} B_{jk(l)}. \quad (8)$$

Кількість пікселів навчаючої вибірки (еталонних зображень) для статистичних методів класифікації теоретично має бути не менше  $(L+1)$ , інакше коваріаційна матриця буде виродженою. Практично для отримання надійних оцінок параметрів класів об'єктів розпізнавання необхідно не менше  $10 \cdot L$  навчаючих образів (пікселів еталонних зображень) кожного класу об'єктів [8, 10].

Урахування дисперсії й коваріації спектральних ознак дозволяє класифікувати піксели, що утворюють на зображенні області з великою частотою змін значень яскравості, відносячи їх до класу з подібними характеристиками (наприклад, соснові насадження). Недоліком алгоритму розрахунку відстані Махаланобіса є більші витрати машинного часу ніж методу евклідової відстані, до того ж він реалізує статистичний підхід за припущенням нормального розподілення даних у кожній спектральній зоні.

На рис. 2 наведена структурно-логічна схема операцій сумісної обробки різномасштабних багатоспектральних супутникових й наземних даних для оцінки стану лісів з використанням ГІС-технологій, яка реалізує запропоновану методику. Автоматична класифікація пікселів цифрових зображень здійснюється за алгоритмами (5) або (6).



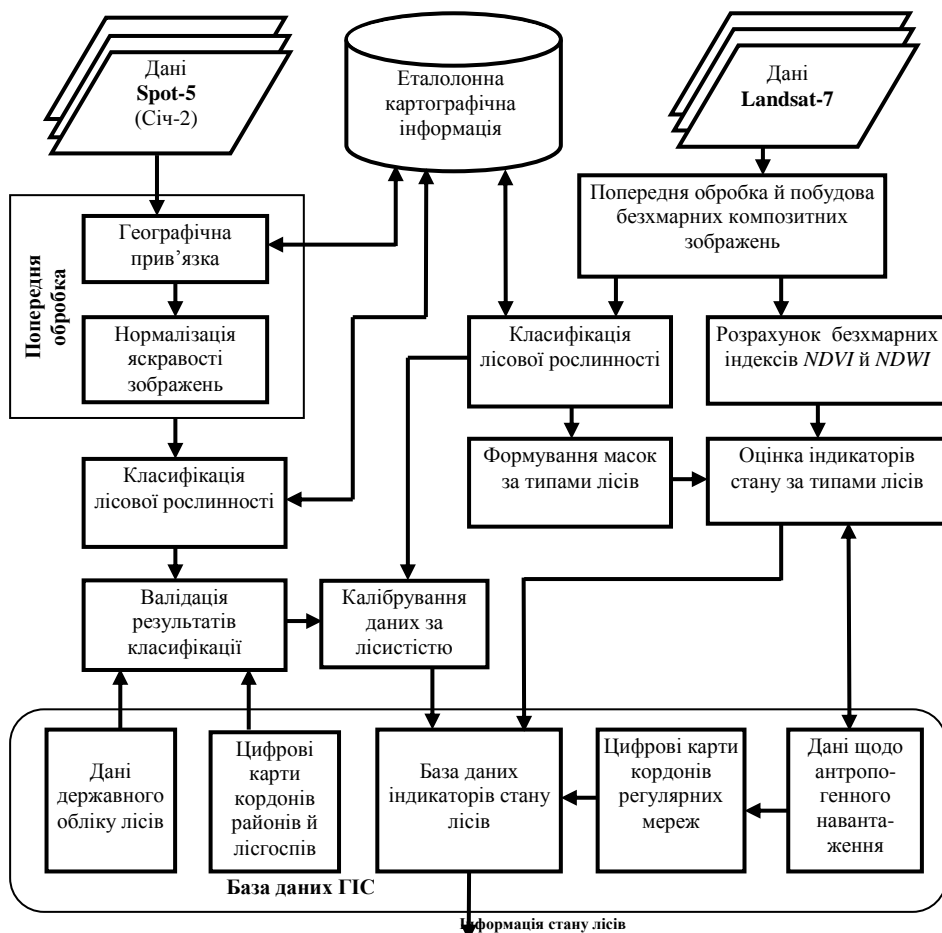


Рис. 2. Структурно-логічна схема операцій оцінки стану лісів з використанням супутникових даних і ГІС

Часто після вирубок й пожеж виникають вторинні дикоростучі ліси переважно листяних й змішаних порід, тобто частка чистих хвойних насаджень зменшується. Слід зазначити, що значення спектральних індексів хвойної рослинності може виступати як чутливий індикатор їх стану. Це пояснюється тим, що хвойні насадження не піддаються сезонній дефоліації. Тому в умовах підвищення рівня забруднення навколишнього середовища хвойні насадження акумулюють у вегетативних органах значно вищий рівень шкідливих речовин, що проявляється у зниженні рівня хлорофілу та вологовмісту, і, як наслідок, у вищому рівні пригнічення [1,4].

Видові супутникові дані високого просторового розрізнення 0,6–1,0 м (космічні апарати ДЗЗ “Ikonos-2”, “Quick Bird-2”, “Orbview-3”, “Ресурс-ДК”, “Ikonos-2”, “EROS-B” та ін.) можна використовувати для створення

детальних лісових карт та детальної класифікації порід лісових насаджень, у тому числі й за основними геометричними ознаками: формою й контурами крони, тіні, структурою й текстурою зображень [3, 8].

### Висновки

Отже, сумісне використання інформації дистанційного багатоспектрального зондування землі із космосу та геоінформаційних систем забезпечує збільшення достовірності оцінки стану лісів України.

Розпізнавання видового складу лісової рослинності та її стану за даними багатоспектральних цифрових комірних знімів доцільно виконувати методами класифікації даних за допомогою евклідової відстані або видстані махаланобіса в залежності від обсягу і стану еталонної картографічної інформації.

### Перспективи подальших досліджень

Для ефективного використання інформаційних можливостей багатоспектральних матеріалів космічної зйомки у процесах якісного управління лісочористування необхідно: продовжувати наукову роботу щодо методів й алгоритмів автоматичної обробки цифрових багатоспектральних космічних зображень та їх автоматизованої тематичної інтерпретації; удосконалювати методи формування наземних завіркових даних стану лісів та інших складових бази даних ГІС; завчасно готувати фахівців із сучасних геоінформаційних технологій.

### Література

1. Книжников Ю.Ф. Аэрокосмические методы географических исследований: учеб. [для студ. высш. учеб. заведений] / Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, О.В. Тутубалина. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 336 с.
2. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природочористування: монографія / [за ред. В.І. Лялько, М.О.Попова]. – К.: Наук. думка, 2006. – 360 с.
3. Барталев С.А. Методы использования временных серий спутниковых изображений высокого пространственного разрешения для оценки масштабов и динамики вырубки таежных лесов [Электронный ресурс] / С.А. Барталев, Т.С. Курятникова, Х.Ю. Стибиг // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: ИКИ РАН, 2004. – С. 217–227 – Режим доступа: [www.terranorte.iki.rssi.ru](http://www.terranorte.iki.rssi.ru).
4. Барталев С.С. Возможности региональной экологической оценки лесов по данным спутниковых наблюдений / С.С. Барталев, В.А. Малинников // Известия высших учебных заведений. Сер. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2006. – №6. – С.3–18.

- 
5. Богомолов В.В. Опыт и перспективы использования данных дистанционного зондирования Земли для лесоустройства [Электронный ресурс] / В.В. Богомолов, С.И. Костяшкин, А.В. Полуван. –Режим доступа: [www.pryroda.gov.ua](http://www.pryroda.gov.ua).
  6. Биосфера из космоса: интерпретация радиационных образов природных объектов по их многоспектральным изображениям/В.В. Козодеров // Исследование Земли из космоса. – 2003. – №6. – С.27–44.
  7. Застосування методу топографічної корекції даних багатозональних космознімків для класифікації лісового покриву гірських територій /В.І. лялько, О.І. Сахацький, З.М. Шпортюк [та ін.]// Космічна наука і технологія. – 2003. – № 2/3. – С. 94–98.
  8. Манойлов В.П. Дистанційне зондування Землі із космосу: науково-технічні основи формування й обробки видової інформації: монографія / В.П. Манойлов, В.В. Омельчук, В.В. Опанюк. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – 384 с.
  9. Функциональная структура космического сегмента мониторинга лесов России /В.И. Сухих// Исследование Земли из космоса. – 2001. – № 3. – С.2–19.
  - 10 illesand T.M. Remote sensing and image interpretation/ T.M. Lillesand, R.W, Kiefer. – 4 th Ed. – Wiley, 2000. – 724 p.
-