УДК 528.8 : (535.346 + 535.372) : (581.526.42 : 582.475)[(477.41)

# АНАЛІЗ СТАНУ ЛІСОВИХ МАСИВІВ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧАЕС НА ОСНОВІ ПОЗИЦІЇ «ЧЕРВОНОГО КРАЮ» СПЕКТРІВ ВІДБИТТЯ ЗА ДАНИМИ КОСМОЗНІМКІВ SPOT-4 ТА НАЗЕМНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СПЕКТРІВ ВІДБИТТЯ І ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ

**В. І. Лялько[1], О. І. Сахацький[1], З. М. Шпортюк[1], А. Я. Ходоровський[1], О. Т. Азімов[1], О. М. Сибірцева[1], О. І. Левчик[1], О. В. Сваричевська[2], Л. В. Скрипка[3]**

*[1] Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Київ*
*[2] Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ*
*[3] Київський національний університет ім. Т. Г. Шевченка, Київ*

Представлено результати наземних досліджень спектрів відбиття у видимому діапазоні електромагнітних хвиль та індукованої лазером флуоресценції хвої сосни на різних стадіях захворювання кореневою губкою залежно від місця розташування на кроні дерева та вмісту інкорпорованих радіонуклідів $^{137}Cs$ та $^{90}Sr$, а також результати досліджень хвойних лісів зони відчуження ЧАЕС з різними ступенями ушкодження кореневою губкою за методикою чисельного визначення позиції "червоного краю" в спектрах відбиття за даними космознімків SPOT-4. Установлено, що дистанційні дослідження позиції "червоного краю" в спектрах відбиття соснових лісів, які враховують інтегральний стан досліджуваної території (рослинного покриву, ґрунтів тощо), є більш інформативними для виявлення стресу, спричиненого кореневою губкою порівняно з лабораторними дослідженнями оптичних параметрів окремих рослин.

Оперативна оцінка фітосанітарного стану природних і штучних рослинних угрупувань конче потрібна для ефективного природокористування. Стан лісів має велике значення для суспільства. Вони зазнають різноманітних деструктивних впливів як природних (масове розмноження комах-шкідників тощо), так і техногенних факторів (забруднення радіонуклідами, підтоплення). Наприклад, значні площі соснових лісів зони відчуження пошкоджено кореневою губкою. Визначення площі лісів, які уражені, ускладнюється тим, що візуально фіксується лише кінцева стадія захворювання, коли дерева вже гинуть і в лісі з'являються поляни. Тому моніторинг лісового покриву як однієї із найбільш важливих і динамічних компонент наземних екосистем належить до пріоритетних напрямків використання даних супутникових спостережень.

Відомо, що майже всі чинники впливають на оптичні параметри рослин і рослинних угрупувань прямо (за рахунок змін вмісту пігментів, інтенсивності процесів фотосинтезу, дихання, асиміляційної поверхні тощо) та опосередковано (внаслідок зміни в оптичному сигналі частки ґрунтів, стовбурів, пагонів тощо), що може бути зареєстровано фізичними методами. Прижиттєво стан рослинних об'єктів вивчають за допомогою дослідження параметрів відбиття та флуоресценції в наземних лабораторних та польових умовах та дистанційно - за допомогою авіаносіїв і супутників [1 - 3].

Першим етапом розроблення дистанційних методів є, як правило, пошук кореляції між спектральними характеристиками й біометричними параметрами рослин у лабораторних і польових умовах [1 - 3]. В умовах лабораторних досліджень вирішується принципова можливість виявлення, як правило на органному рівні, реакції рослинного організму на досліджуваний чинник оточуючого середовища, вивчаються механізми реакції рослини на рівні процесів обміну речовин, визначаються межі реакції рослини на чинник, спрямованість реакції та діапазон мінливості оптичних параметрів тощо. Вивчення спектральних властивостей рослинних угрупувань складає основу дистанційних методів картування лісових масивів, виявлення лісових пожеж, вивчення ушкодження рослинності різними хворобами та шкідниками тощо [1, 2, 4, 5].

© В. І. Лялько, О. І. Сахацький, З. М. Шпортюк, А. Я. Ходоровський, О. Т. Азімов, О. М. Сибірцева, О. І. Левчик, О. В. Сваричевська, Л. В.Скрипка, 2005

Метою досліджень є оцінка різниці в сигналах відбиття ділянок із ушкодженими і здоровими деревами при вимірюванні сигналів відбиття за допомогою знімків, отриманих з космічного апарата SPOT-4, при паралельному зборі наземних даних про стан та оптичні параметри рослин. Це дозволить покращити тематичну інтерпретацію даних дистанційного зондування для виявлення q картографування вогнищ ураження кореневою губкою.

У цій роботі представлено:

результати наземних досліджень спектрів відбиття у видимому діапазоні електромагнітних хвиль та індукованої лазером флуоресценції ($\lambda_{зб.}$ = 337,1 нм, $\lambda_{фл.}$ = 400 ÷ 800 нм) хвої сосен, що перебувають на різних стадіях захворювання кореневою губкою, у зв'язку з місцем розташування на кроні дерева і вмістом інкорпорованих радіонуклідів $^{137}$Cs та $^{90}$Sr;

результати досліджень хвойних лісів зони відчуження ЧАЕС з різними ступенями ушкодження кореневою губкою за методикою чисельного визначення позиції "червоного краю" в спектрах відбиття (REP від англійського "the Red Edge Position"), як високоточного індексу за даними космознімків SPOT-4.

Об'єкт досліджень – сосна звичайна (*Pinus sylvestris L.),* що зростає на території лісництв: Розсохського (здорові рослини) та Лелівського (слабкий та сильний ступені ураження кореневою губкою за загальноприйнятою в лісівництві класифікацією [6]).

Спочатку проводили вимірювання флуоресцентних параметрів зразків, а потім проводилися γ-спектрометричні та радіохімічні аналізи. Методики відбору рослинних зразків та вимірювань флуоресцентних та радіоекологічних параметрів наведено в [7].

Дослідження спектрів індукованої лазером флуоресценції (далі – СФ) проводилися на лабораторній лазерній флуоресцентній установці, створеній на базі комплексу КСВУ-23, що дозволяє отримувати СФ у діапазоні 400 ÷ 800 нм ($\lambda_{зб.}$ = 337,1 нм, азотний лазер ЛГІ-21). Значення інтенсивності флуоресценції у даній роботі наведено у відносних одиницях.

Визначення вмісту γ-випромінюючих радіонуклідів проводили за допомогою спектрометричної установки фірми ORTEC на базі горизонтальних коаксіальних HPGe-детекторів GMX-30190 і GEM-40195. При обробці γ-спектрів використовували пакет програм MAESTRO for Windows. Нижній пороговий рівень детектування $^{137}$Cs складав 0,1 ÷ 2 Бк залежно від типу детектора й геометрії вимірювань.

Хімічний вихід $^{90}$Sr визначався ваговим методом по виходу стабільного стронцію. Вимірювання активності $^{90}$Sr проводилися на радіометрі ROBOTRON 20046. Нижній пороговий рівень детектування $^{90}$Sr становив від 0,1 Бк/зразок.

Особливістю даних досліджень є те, що рослинний матеріал відбирали з нижньої, середньої та верхньої частин крони. Зразки відбирали з досліджуваних ділянок протягом одного дня (у вересні, коли хвоя цього року досягає повного розвитку).

Спектри відбиття в діапазоні 400 ÷ 750 нм реєстрували за допомогою спектрофотометра СФ-18. Відомості про флуоресцентні та відбивні параметри рослин детально розглянуті в багатьох роботах [1 - 5, 7 - 10].

Дослідженнями індукованої лазером СФ хвої сосни у зв'язку зі ступенем ушкодження кореневою губкою, місцем розташування на кроні дерева й питомою активністю інкорпорованих радіонуклідів $^{137}$Cs та $^{90}$Sr встановлено:

усі уражені рослини характеризуються значним зниженням інтенсивності індукованої лазером СФ у червоній зоні (умовно 600 ÷ 800 нм) спектра (рис. 1). При цьому слабке ураження супроводжується зниженням даного параметра в межах всієї крони в 1,5 - 2 рази, тоді як сильне ураження кореневою губкою спричиняє найбільші зміни в нижній та верхній частинах крони майже до повної відсутності сигналу. Тобто для цілей діагностики початкових стадій захворювання можливо використання факту зниження червоної зони СФ хвої сосни, а для цілей діагностики сильного ступеня ураження показовими є нижня та верхівкова частини крони, в межах яких розбіжності із здоровими рослинами виражені найбільш виразно;

зміни флуоресценції синьої зони (умовно 400 ÷ 600 нм) мають більш складний характер. Значення інтенсивності в даній зоні СФ у здорових рослин практично збігаються, у той же час для незначно уражених рослин розбіжності в розподілі в межах крони варіюють від низу до верхівки в 1,5 - 1,7 разів. Треба зазначити, що середня частина крони характеризується максимальною стабільністю синьої зони. Можна відзначити незначне, але стабільне підвищення флуоресценції в даному діапазоні в уражених рослинах порівняно із здоровими. Так, якщо для здорових рослин цей показник дорівнює 1,5 умовних одиниць, то для слабо та сильно уражених він наближається до 2. Аналогічну, але слабкіше виражену тенденцію відзначено для нижньої частини крони. Тобто для методичних цілей найбільш перспективно використовувати хвою із середньої частини крони;

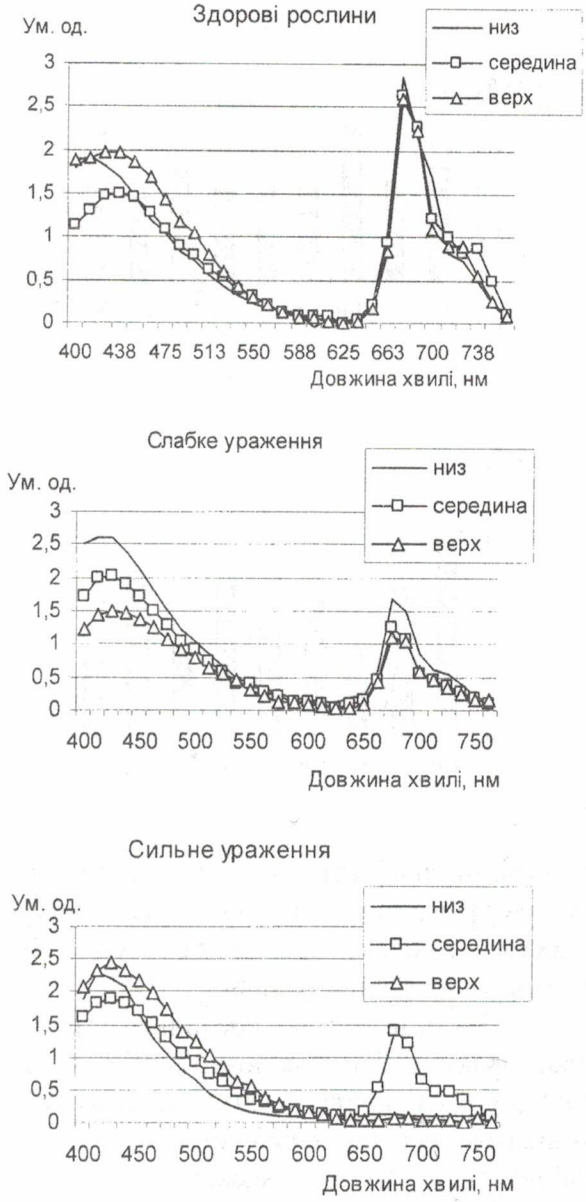


Рис. 1. СФ хвої сосни, ураженої кореневою губкою різного ступеня.

як показник індикації стану рослин можна використовувати також відношення максимумів червоної та синьої зон (рис. 2). Величина $F^{680}/F^{460}$ для уражених рослин у порівнянні із здоровими для низу та верхівки крони становить від 5 % (сильне ураження) до 30 - 60 % (середнє ураження);

знайдено відмінності в прояві реакції на накопичення у хвої сосни $^{137}Cs$, $^{90}Sr$. Розподіл питомої активності $^{137}Cs$, $^{90}Sr$ в межах крони характеризується тим, що $^{137}Cs$ більше накопичується у хвої верхівки, тоді як $^{90}Sr$ – у хвої нижньої частині крони. Знайдено відмінності у впливі інкорпорованих $^{137}Cs$ і $^{90}Sr$ на СФ у синій зоні: коефіцієнт кореляції $^{137}Cs$ з параметрами синьої зони дорівнює 0,5 ÷ 0,6, коефіцієнт кореляції $^{90}Sr$ – 0,5.

Таким чином, вплив ураження кореневою губкою відображується у СФ як у червоній, так і в синій зонах, тому метод індукованої лазером флуоресценції може бути використано для діагностики in vivo ураження рослин сосни кореневою губкою, а також як перспективний метод оцінки ступеня ураження лісових масивів.

На жаль, подальший розвиток цього перспективного напрямку досліджень – дистанційного флуоресцентного зондування – досі обмежений через відсутність відповідного обладнання.

У лабораторних дослідженнях характеристик спектрів відбиття 1 - 2-річної хвої сосни різних ярусів установлено, що найбільш інформативними ділянками спектра, в яких зміни показників відбиття в найбільшій мірі залежать від ступеня ураження кореневою губкою, є довжини хвиль 550, 670 і 720 - 750 нм. Однак напрямок змін залежить від віку хвої та місця розташування в межах крони. Найбільш контрастні відмінності між здоровими й ураженими

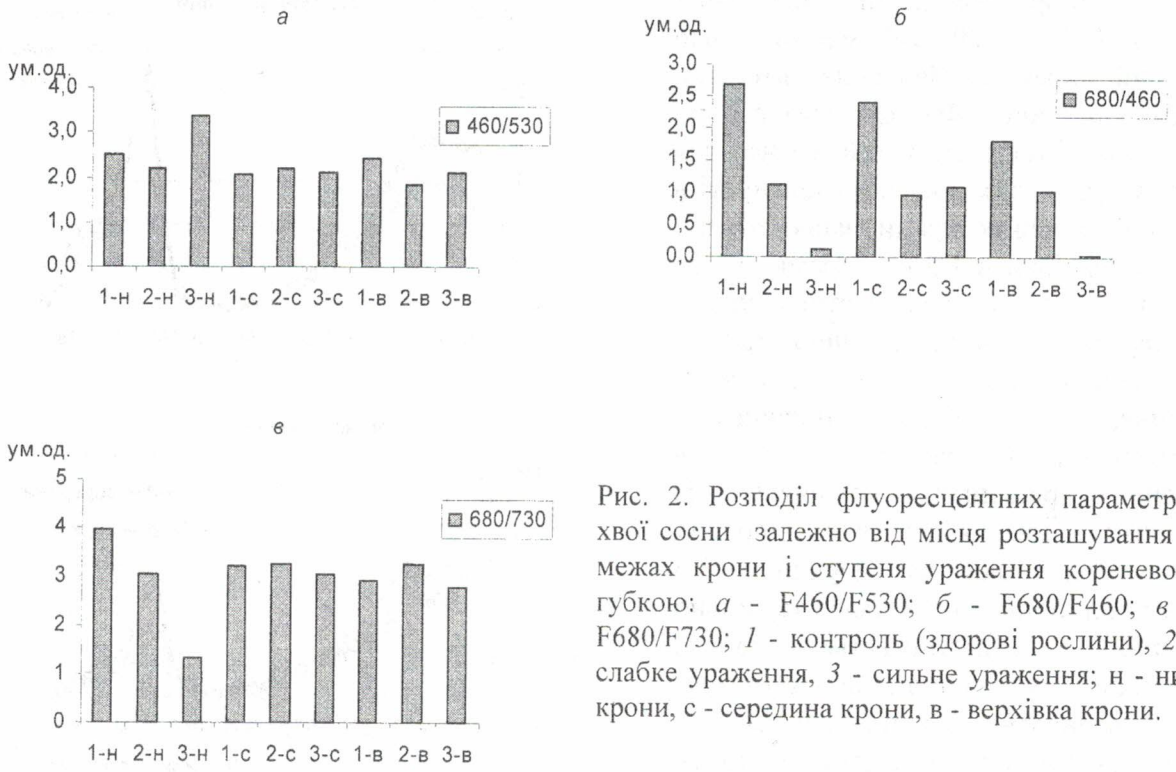


Рис. 2. Розподіл флуоресцентних параметрів хвої сосни залежно від місця розташування в межах крони і ступеня ураження кореневою губкою: *а* - F460/F530; *б* - F680/F460; *в* - F680/F730; *1* - контроль (здорові рослини), *2* - слабке ураження, *3* - сильне ураження; н - низ крони, с - середина крони, в - верхівка крони.

рослинами спостерігаються в молодій хвої із середини крони та в торішній хвої із середини та з верхньої частини крони. Дані відмінності реєструються навіть при слабкому ступені ураження сосни, що може бути використано в цілях дистанційного зондування фітосанітарного стану лісів.

Для оцінки стану рослинних угруповань є різноманітні вегетаційні індекси, серед яких і така характеристика, як позиція REP - довжина хвилі, на якій швидкість зміни спектра відбиття рослинного покриву досягає максимуму. Цей високоточний індекс [1] використовується як індикатор вегетаційного стресу, спричиненого різноманітними чинниками, серед яких забруднення ґрунту токсикантами та пошкодження рослин шкідниками і хворобами. Наслідком такого стресу є зсуви REP. REP визначають за значеннями спектральних коефіцієнтів відбиття, що нормовані до максимального відбиття в зеленій зоні (550 нм).

Апроксимація одержаних спектрів та визначення REP проведено за розробленою в Центрі аерокосмічних досліджень Землі (ЦАКДЗ) ІГН НАН України методикою [11]. Результати обчислень представлено в табл. 1. Як свідчать результати обчислень REP, має місце зсув REP для уражених губкою дерев у короткохвильову зону порівняно із здоровими. Величина зсуву становить 2 нм і спостерігається як для хвої першого, так і для хвої другого року для низу та середини крони. Верхівка крони дає значний зсув REP – 4 - 6 нм порівняно із його значеннями для низу крони для всіх дерев, але різниці між здоровими та ураженими деревами не виявлено.

До останнього часу методиці визначення REP за даними космознімків не приділялося достатньої уваги через малу кількість інформації. Тому в ЦАКДЗ розроблено нову методику визначення REP за даними космозйомки космічного апарата SPOT-4 (Франція) з використанням значень яскравості у трьох спектральних каналах: зеленому з довжиною електромагнітних хвиль у діапазоні 500 ÷ 590 нм, червоному – 610 ÷ 680 нм і ближньому інфрачервоному – 790 ÷ 890 нм [4]. Верифікацію цієї методики здійснено при обробці даних космознімків SPOT-4 (14 липня 1998 р.) території зони відчуження ЧАЕС, де проведено дослідження REP для спеціально вибраних за даними наземних спостережень ділянок соснових деревостанів [12 - 15].

*Таблиця 1.* **Опис стану та спектральних характеристик сосни без ознак захворювання і враженої губкою**

| Назва лісництва | Стан рослинності | Значення REP, нм | |
|---|---|---|---|
| | | 1-й ярус | 2-й ярус |
| *Низ крони* | | | |
| Розсохське | Здорові дерева | 724 | 724 |
| Лелівське | Слабке ураження | 722 | 722 |
| Лелівське | Сильне ураження | 722 | 722 |
| *Середина крони* | | | |
| Розсохське | Здорові дерева | 722 | 720 |
| Лелівське | Слабке ураження | 720 | 720 |
| Лелівське | Сильне ураження | 720 | 722 |
| *Верхівка крони* | | | |
| Розсохське | Здорові дерева | 718 | 718 |
| Лелівське | Слабке ураження | 718 | 718 |
| Лелівське | Сильне ураження | 718 | 720 |

*Таблиця 2.* **Опис стану та статистичні характеристики спектральних яскравостей сосни на досліджуваних ділянках у зоні відчуження ЧАЕС**

| Коротка назва класу | Спектральні діапазони | | | | | | Кількість спектрів | Значення REP, нм |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Зелений (500 ÷ 590 нм) | | Червоний (610 ÷ 680 нм) | | Інфрачервоний (790 ÷ 890 нм) | | | |
| | Середнє* | Стандарт** | Середнє* | Стандарт** | Середнє* | Стандарт** | | |
| Сосна середнього віку | 54,33 | 1,48 | 38,86 | 2,02 | 68,10 | 8,10 | 6930 | 719 |
| Молода сосна | 57,33 | 2,16 | 43,22 | 3,10 | 69,37 | 6,30 | 693 | 719 |
| Посадка сосни | 64,16 | 1,46 | 49,60 | 1,87 | 97,29 | 3,24 | 129 | 725 |
| Сосна у несприятливих умовах | 55,38 | 3,27 | 41,63 | 4,56 | 59,84 | 8,41 | 667 | 716 |
| Сосна, уражена кореневою губкою | 56,36 | 2,01 | 42,75 | 3,58 | 59,98 | 8,05 | 1492 | 716 |
| Сосна, пошкоджена шовкопрядом | 58,62 | 1,78 | 48,49 | 2,65 | 49,93 | 5,06 | 1103 | 707 |
| Поновлення сосни слабке | 66,57 | 2,99 | 56,81 | 4,21 | 81,17 | 9,58 | 3466 | 722 |
| Змішані ліси | 52,53 | 1,36 | 35,33 | 1,42 | 101,83 | 13,45 | 1028 | 728 |

* Середнє значення, ум. од.

** Стандартне відхилення, ум. од.

Умовні одиниці спектральної яскравості космознімка наведено в градаціях від 0 до 255.

Виділено вісім типів лісових ділянок із здоровими та пошкодженими сосновим шовкопрядом і кореневою губкою деревами, для яких визначено REP за даними космозйомки. За результатами досліджень (табл. 2), значення REP для ділянок із здоровими деревами належать інтервалу 722 ÷ 725 нм, для пошкоджених кореневою губкою – 716 нм, а для

вражених сосновим шовкопрядом – 704 ÷ 707 нм. Наявність "блакитного зсуву" в значеннях REP, визначених за даними космознімків, підтверджує його інформаційну можливість бути індикатором фітосанітарного стану хвойних лісів. Нова методика визначення REP, застосована для попіксельної обробки космознімків SPOT-4, добре узгоджується з методикою класифікації за методом максимальної вірогідності (рис. 3 - 5).

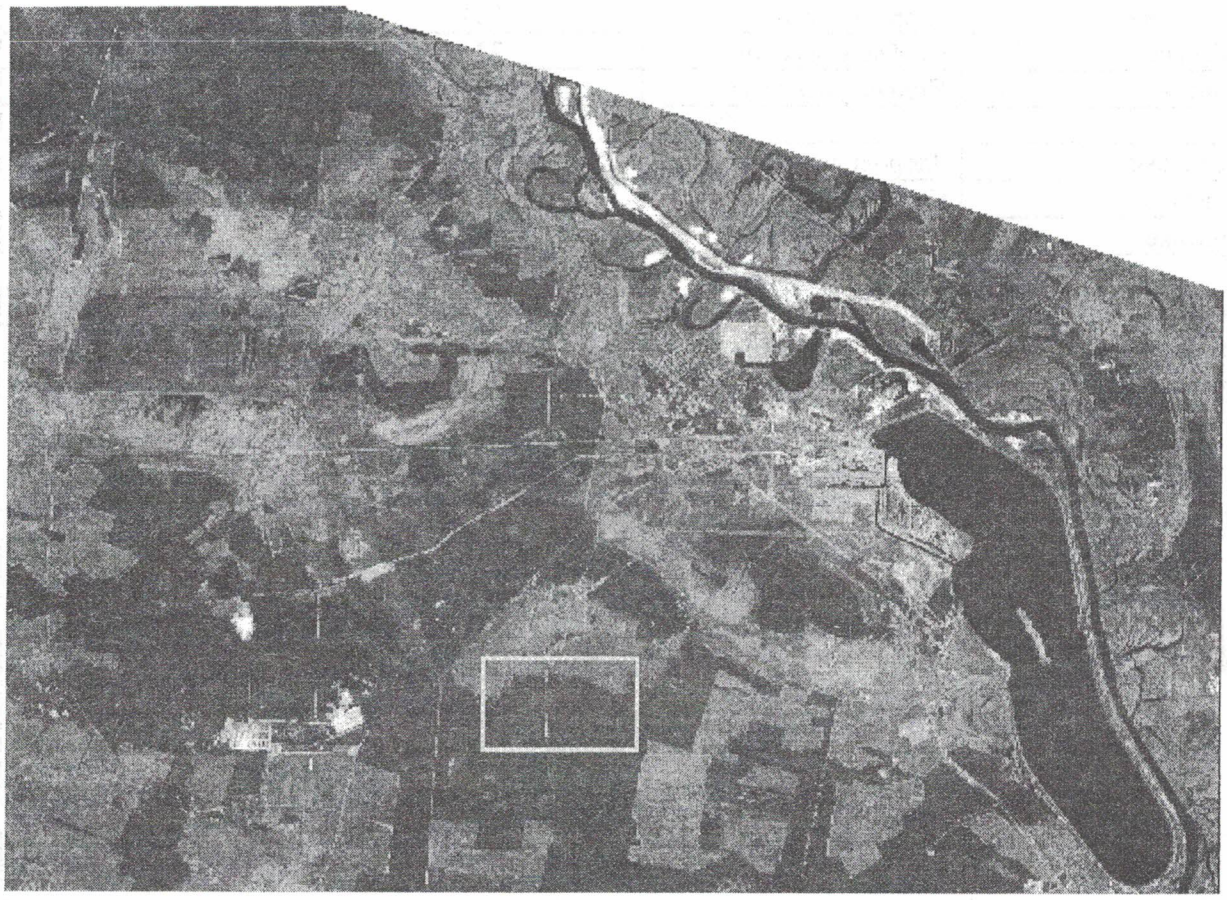

Рис. 3. Космознімок SPOT-4 (14 липня 1998 р.) центральної частини зони відчуження ЧАЕС з виділенням досліджуваної ділянки для зіставлення класифікації рослинних угруповань за фітосанітарним станом та REP-зображенням.

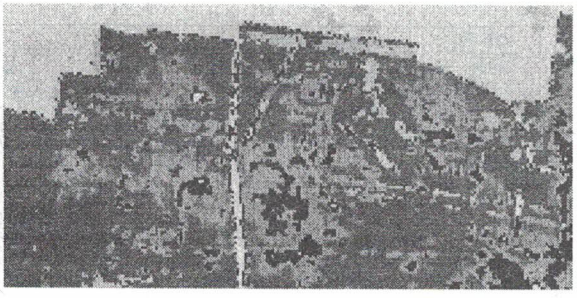

Рис. 4. Фрагмент схеми фітосанітарного стану тест-ділянки:

- перелоги;
- сосна віком до 15 років неушкоджена;
- сосна неушкоджена;
- початкове ураження сосни;
- середнє ураження;
- сильне ураження.

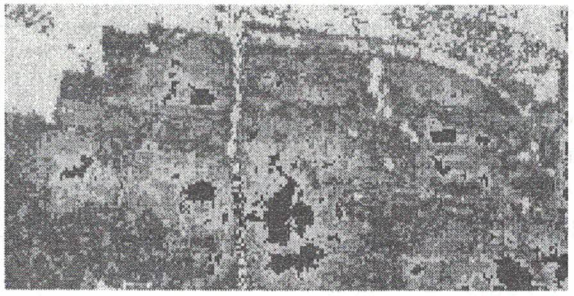

Рис. 5. REP-зображення тест-ділянки і значення REP, нм:

- більше 728;
- 725 - 728;
- 722 - 725;
- 719 - 722;
- 716 - 719;
- 713 - 715;
- 710 - 713.

Результати порівняння двох методів, які отримано при побудові зображень рослинного покриву тестових ділянок у межах зони відчуження, а також результати наземної спектральної зйомки голок сосни за допомогою спектрометра СФ, які проведено у вересні 1999 р. на цих ділянках, підтвердили потенційну можливість REP, визначеного за даними космознімків як нового інструменту для індикації вегетаційного стресу та моніторингу фітосанітарного стану соснових лісів зони відчуження ЧАЕС. Запропонована нами методика визначення позиції "червоного краю" за даними космозйомки є новою і потрібно провести подальші дослідження щодо можливості її вдосконалення та оптимізації обчислювального алгоритму.

Розроблена методика визначення REP за даними космознімків SPOT-4 дає змогу будувати REP-зображення рослинного покриву Землі. Таким чином, отримано інструмент для картування вегетаційного стресу та моніторингу фітосанітарного стану хвойних лісів.

Перевагою методики визначення REP та побудови REP-зображень за даними багатозональної космозйомки перед методикою класифікації за методом максимальної вірогідності є те, що на відміну від методики класифікації вона не вимагає апріорного задання репрезентативного набору опорних даних, отриманих з інших джерел, і дає змогу здійснювати моніторинг фітосанітарного стану соснових лісів зони відчуження ЧАЕС та оперативно визначати ділянки вегетаційного стресу й зони найвищого ступеня ураження соснових лісів такими шкідниками, як сосновий шовкопряд та коренева губка, оскільки для таких зон величина зсувів REP у "блакитну зону " може досягти величини від 6 до 18 нм.

Порівняння результатів лабораторних і дистанційних спектральних характеристик відбиття сосни дозволяє вважати більш інформативними дистанційні дослідження, оскільки вони враховують інтегральний стан рослинного покриву.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ


1. *Baret F., Jacquemoud S., Guyot G., Leprieur C.* Modeled Analysis of the Biophysical Nature of Spectral Shifts and Comparison with Information Content of Broad Bands // Remote Sens. Environ. - 1992. - Vol. 41(2/3). - P.133 - 142.
2. *Мовчан Я.И., Каневский В.А., Семичаевский В.Д. и др.* Фитоиндикация в дистанционных исследованиях. - Киев: Наук. думка, 1993. - 306 с.
3. *Gunter K.P., Dahn H.-G., Ludeker W.* Remote Sensing Vegetation Status by Laser-Induced Fluorescence // Remote Sens. Environ. - 1994. - No. 47. - P.10 - 17.
4. *Шпортюк З.М., Сибірцева О.М.* Нова методика визначення зсувів позиції "червоного краю" за даними космознімків КА SPOT-4 // Нові методи в космічному землезнавстві. - Київ: ЦАКДЗ ІГН НАН України, 1999. - С. 113 - 116.
5. *Кондратьев К.Я., Федченко П.П.* Спектральная отражательная способность и распознавание растительности. - Л.: Гидрометеоиздат, 1982. - 216 с.
6. *Санитарные* правила в лесах СССР. - М., 1968.
7. *Левчик Е.И., Сваричевская Е.В., Скрипка Л.В. и др.* Индуцированная лазером флуоресценция хвои сосен, произрастающих в условиях загрязнения радионуклидами чернобыльского происхождения // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних досл. - 2001. - № 3 (5). - С. 184 - 190.
8. *Карнаухов В.Н., Керженцев А.Г., Яшин В.А.* Люминесцентный метод биоиндикации состояния экосистем. - Пущино, 1982. - 24 с. - (Препр. / ОНТИ НЦ БН СССР).
9. *Chappelle E.W., Williams D.L.* Laser-induced fluorescence (LIF) from Plant Foliage. // IEEE Transaction Geoscience and Remote sensing. - 1987. - Vol. GE-25, No. 6. - P. 726 - 736.
10. *Stober F., Long M., Lichtenthaler H.K.* Blue, green and red fluorescence Emission Signatures of Green, Etiolated, and White Leaves // Remote Sens. Environ. - 1994. - Vol. 47. - P. 65 - 71.
11. *Шпортюк З.М., Лялько В.І., П'янило Я.Д. та ін.* Спектральні методи обробки та аналізу інформації в дистанційному зондуванні рослинності. - Львів, 1993. - 53 с. - (Препр./ НАН України. ЦММ ІППММ ім. Я. С. Підстригача; № 4 - 93).
12. *Лялько В.І., Азімов О.Т., Сахацький О.І. та ін.* Класифікація лісових масивів території зони відчуження за типами рослинних угруповань за матеріалами багатозональної космічної зйомки. // Матеріали наук.-практ. конф. "Наука - Чорнобиль 98". - Київ, 1999. - С. 88 - 99.

13. *Лялько В.І., Азімов О.Т., Ходоровський А.Я. та ін.* Оцінка фітосанітарного стану лісових масивів на правобережжі р. Прип'ять у Зоні відчуження за матеріалами багатозональної космічної зйомки // Матеріали наук.-практ. конф. "Наука - Чорнобиль 99". - Київ: МНС України, 2000.
14. *Лялько В.І., Шпортюк З.М., Сибірцева О.М. та ін.* Аналіз стану лісових масивів зони відчуження ЧАЕС на основі дослідження позиції "червоного краю" спектрів відбиття за даними багатозональної космозйомки // Матеріали Міжнар. конф. "15 років Чорнобильської катастрофи: Досвід подолання". - Київ, 2001. - Розд. 2. - С. 136.
15. *LyalkoV.I., Fedorovsky A.D.* Ahalysis of plant state an the "red edge" position of reflektive Signals // Space Research in Ukraine 1998 - 2000 NSAU. - Kyiv, 2001. - P. 56 - 57.

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС НА ОСНОВАНИИ ПОЗИЦИИ "КРАСНОГО КРАЯ" СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ ЗА ДАННЫМИ КОСМОСНИМКОВ SPOT-4 И НАЗЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ И ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ

**В. И. Лялько, О. И. Сахацкий, З. М. Шпортюк, А. Я. Ходоровский, О. Т. Азимов, О. М. Сибирцева, Е. И. Левчик, Е. В. Сваричевская, Л. В. Скрипка**

Представлены результаты наземных исследований спектров отражения в видимом диапазоне электромагнитных волн и индуцированной лазером флуоресценции хвои сосны на разных стадиях заболевания корневой губкой в зависимости от местоположения на кроне деревьев и содержания инкорпорированных радионуклидов $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$, а также результаты исследований хвойных лесов зоны отчуждения ЧАЭС с разными степенями повреждения корневой губкой по методике числового определения позиции "красного края" в спектрах отражения за данными космоснимков SPOT-4. Определено, что дистанционные исследования позиции "красного края" в спектрах отражения сосновых лесов, которые учитывают интегральное состояние исследуемой территории (растительного покрытия, почвы и т.д.), являются более информативными для выявления стресса, вызванного корневой губкой, в сравнении с лабораторными исследованиями оптических параметров отдельных растений.

## ANALYSIS OF THE CHORNOBYL ZONE'S FORESTS STATE BASED ON THE RED EDGE POSITION WITH USE OF THE MULTISPECTRAL SPOT-4 IMAGES AND GROUND-BASED REFLECTANCE AND FLUORESCENCE SPECTRA RESEARCH

**V. I. Lyalko, A. I. Sakhatsky, Z. M. Shportiuk, A. Ya. Khodorovsky, A. T. Azimov, O. M. Sybirtseva, O. I. Levchik, O. V. Svarichevska, L. V. Skripka**

The results of the ground-based research of visible reflectance and laser-induced fluorescence of pine (needles) at different stages of pine fungus damage, depending on crown position and content of incorporated radionuclides $^{137}Cs$ and $^{90}Sr$, as well as the results of the remote sensing data of the Red Edge Position of pine forests growing in Chernobyl zone with use of multispectral SPOT-4 images are presented. It has been established that the remote sensing data, which take into account integral state of the tested territory is more effective for the detection of root sponge stress.

Надійшла до редакції 14.09.04,
після доопрацювання – 09.02.05.