

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МАРІУПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА  
ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

До захисту допустити:  
В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Христина МІТЮШКІНА  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**«ДИНАМІКА СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСІВ»**

Кваліфікаційна робота  
здобувача вищої освіти другого  
(магістерського) рівня вищої  
освіти освітньо-професійної програми  
«Екологія та охорона навколишнього  
середовища»  
Конопльової Вікторії Олегівни  
Науковий керівник:  
Пастернак О.М., к.х.н., доцент кафедри  
раціонального природокористування та  
охорони навколишнього середовища  
Рецензент:  
Яровий С.С., в.о. директора Українського  
степового природного заповідника НАН  
України

Кваліфікаційна робота захищена  
з оцінкою \_\_\_\_\_  
Секретар ЕК \_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**МАРІУПОЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЕКОНОМІКО-ПРАВОВИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА  
ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Шифр та назва спеціальності 101 Екологія

Освітньо-професійна програма «Екологія та охорона навколишнього середовища»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В.о. завідувача кафедри к.е.н., доцент**

\_\_\_\_\_ **Христина МІТЮШКІНА**  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року

**ПЛАН ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

1. Тема роботи: Використання мікрофітів для біомоніторингу водойм Донецької області

керівник роботи: к.х.н., доцент, доцент кафедри раціонального природокористування та охорони навколишнього середовища Пастернак Олена Миколаївна,

затверджені наказом Маріупольського державного університету від «26» лютого 2021 року № 195.

2. Строк подання студентом роботи: «04» грудня 2021 року.

3. Вихідні дані до роботи (мета, об'єкт, предмет).

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити):

Розділ 1.

Розділ 2.

Розділ 3.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Пастернак О.М., к.х.н, доцент	18.05.2020	07.09.2020
II	Пастернак О.М., к.х.н, доцент	07.09.2020	05.10.2020
III	Пастернак О.М., к.х.н, доцент	05.10.2020	02.11.2020

6. Дата видачі завдання: «02» березня 2020 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір теми кваліфікаційної роботи.	21.02.2020	Викон.
2.	Розробка змісту кваліфікаційної роботи.	23.03.2020	Викон.
3.	Підбір та обробка літературних джерел, вивчення теоретичних матеріалів по темі дослідження.	18.05.20	Викон.
4.	Підготовка першого розділу та задача керівникові на перевірку.	07.09.2020	Викон.
5.	Підготовка другого розділу та задача керівникові на перевірку.	05.10.2020	Викон.
6.	Підготовка третього розділу та задача керівникові на перевірку.	02.11.2020	Викон.
7.	Підготовка кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень наукового керівника.	17.11.2020	Викон.
8.	Рецензування кваліфікаційної роботи та оформлення відгуку наукового керівника.	30.11.2020	Викон.
9.	Подання кваліфікаційної роботи рецензії та відгуку наукового керівника на кафедру.	04.12.2020	Викон.

Студент \_\_\_\_\_ Вікторія КОНОПЛЬОВА  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник роботи \_\_\_\_\_ Олена ПАСТЕРНАК  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСІВ.....	8
1.1. Теоретичні аспекти поняття «моніторинг лісів».....	8
1.2. Дистанційне зондування землі – як спосіб екологічного дослідження стану лісових екосистем.....	14
1.3. Світовий та національний досвід використання супутникових знімків для моніторингу лісів.....	20
Висновки до розділу 1.....	29
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ОЦІНКИ СТАНУ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ...	30
2.1. Загальна характеристика об'єкту дослідження.....	30
2.2. Методи оцінки вегетаційних індексів рослинності.....	39
2.3. Методика організації та проведення польових робіт з моніторингу лісів.....	46
Висновки до розділу 2.....	53
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....	55
3.1. Розрахунок нормалізованого диференційованого вегетаційного індексу рослинності.....	55
3.2. Дослідження динаміки та прогнозування лісових пожеж.....	66
3.3. Напрями розвитку екологічного моніторингу лісів.....	71
Висновки до розділу 3.....	75
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80
.....	



## ВСТУП

**Актуальність досліджуваної проблеми.** Дослідження аспектів поняття «моніторинг лісів», видів та рівнів моніторингу займає важливе місце в вирішенні однієї з багатьох екологічних проблем сучасності – деградації та загибелі лісів під техногенним впливом.

Лісові екосистеми – найпотужніші стабілізатори руйнівних процесів, що відбуваються в природі, і один з найбільш придатних об'єктів обліку, оцінки та прогнозу впливу антропогенної діяльності на навколишнє середовище. За допомогою аналізу стану лісових екосистем можна достовірно відстежувати та прогнозувати екологічні наслідки антропогенного впливу. Найбільш ефективним способом вирішення таких завдань є екологічний моніторинг. На державному рівні проводиться робота над підготовкою державної стратегії управління лісами України, яка створить основу для впровадження в Україні системи моніторингу лісів європейського рівня.

Лісові ресурси займають важливе місце у формуванні вуглецевого балансу атмосфери. Лісові насадження грають велику роль в пом'якшенні наслідків, спричинених змінами клімату, як за рахунок поглинання парникових газів, так і за рахунок формування стійких ландшафтів: регулюють водний режим, покращують стан ґрунтів, забезпечують захист прибережних зон від екстремальних погодних умов, сприяють збереженню біорізноманіття, створюючи міграційні коридори для рослин і тварин.

Навіть враховуючи факт того, що лісові ресурси є відновлюваними, на сьогоднішній день споживання їх настільки масштабне, що природа просто не справляється з такими темпами і не має можливості повністю відновлюватися, що неминуче призводить до зменшення чисельності лісів.

Більша частина лісових територій України належить до створених людиною, тому належно підходити до їх збереження з точки зору посиленого догляду. За віковою структурою переважну кількість становлять

середньовікові насадження, на часту стиглих та перестиглих насаджень приходится 18,7%. У середньому вік лісових насаджень налічує понад 60 років, зберігається тенденція поступового старіння лісів, що у свою чергу призводить до зниження їх санітарного стану.

**Метою** є дослідження динаміки якісних змін показників стану лісових насаджень.

**Завдання магістерської роботи:**

- дати загальну характеристику поняття «моніторинг лісів», видам та рівням моніторингу;
- дослідити роботи зарубіжних та вітчизняних вчених у галузі екологічного моніторингу лісів;
- проаналізувати методики використання польових та дистанційних методів моніторингу лісів;
- розрахувати нормалізований диференційований вегетаційний індекс рослинності;
- дослідити багаторічну динаміку лісових пожеж на території України;
- визначити напрями розвитку екологічного моніторингу лісів.

**Об'єктом** дослідження є лісові ресурси України.

**Предметом** дослідження обсяги рубок, показники загибелі лісів, нормалізований диференційний вегетаційний індекс, обсяги територій, уражених пожежами.

При написанні кваліфікаційної роботи було опрацьовано міжнародні та національні нормативно-правові акти, наукові публікації з даної тематики.

**Методи дослідження:** обробка та аналіз даних моніторингу лісових насаджень проводилися розрахунковими, статистичними та графічними методами.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В роботі було проведено розрахунок нормалізованого відносного вегетаційного індексу за різними наборами даних. Проведено дослідження динаміки лісових пожеж та

спрогнозовано подальші зміни. Отриманий результат може бути використано для представлення інформації про стан лісових ресурсів країни

**Апробація.** Матеріали кваліфікаційної роботи були апробовані на V Всеукраїнській науково-практичній заочній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Екологія, природокористування та охорона навколишнього середовища: прикладні аспекти» (Маріупольський державний університет, 25 травня 2021 р. м. Маріуполь), Міжнародній науково-практичній конференції «Економіка, фінанси, облік і право: аналіз тенденцій та перспектив розвитку» (Центр фінансово-економічних досліджень, 7 грудня 2020 р. м. Полтава), Декаді студентської науки економіко-правового факультету Маріупольського державного університету (09-19 березня 2021 р. м. Маріуполь).

Структура кваліфікаційної роботи обумовлена її предметом, метою та завданнями. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, які містять дев'ять підрозділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає – .... сторінок. Кількість використаних джерел – .... на ... сторінках. Кількість таблиць -..., кількість рисунків -.....



# РОЗДІЛ 1

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІСІВ

### 1.1. Теоретичні аспекти поняття «моніторинг лісів»

Спостереження, збирання, обробка, передача, зберігання та аналіз інформації про стан навколишнього середовища, прогнозування змін та розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо прийняття рішень для запобігання негативним змінам стану навколишнього середовища та дотримання екологічної безпеки вимоги, являють собою фундаментальну основу моніторингу довкілля. Екологічний моніторинг навколишнього середовища являє собою сучасну форму реалізації процесів природоохоронної діяльності з використанням інформаційних технологій, забезпечуючи регулярну оцінку та прогнозування стану навколишнього середовища життя суспільства та умов функціонування екосистем для прийняття управлінських рішень з питань навколишнього середовища безпека, збереження природного середовища та раціональне використання природних ресурсів [1].

Сучасні широкі і прогресивні підходи до застосування ідеї моніторингу в практиці управління сферою екологічної безпеки можна зустріти у працях вітчизняних вчених: В.І. Андрейцева, О.М. Адаменко, Г.О. Білявського, В.В. Гетьмана, Л.Г. Мельника, В.М. Навроцького, Ю.М. Саталкіна, В.Я. Шевчука та ін.

В сучасних умовах державна система моніторингу довкілля налічує 11 суб'єктів верхнього рівня включаючи Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Міністерство аграрної політики та продовольства України, Міністерство розвитку громад та територій України, Державну службу України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), Державне агентство України з управління зоною відчуження, Державне агентство водних ресурсів України,

Державне агентство лісових ресурсів України, Державну службу України з питань геодезії, картографії та кадастру, Державну службу геології та надр України [2].

Державний моніторинг лісових екосистем є невід'ємною частиною державної системи екологічного моніторингу природного середовища відповідно до ст. 55 Лісового кодексу України (із змінами, внесеними згідно із Законом України від 8 лютого 2006 р.) та ст. 22 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25 червня 1991 р. (із змінами, внесеними згідно із Законом № 564-IX від 13 квітня 2020 р.).

Термін «лісова екосистема» можна визначити як біологічну систему, яка складається із товариства взаємопов'язаних живих організмів з домінуванням в ньому деревної рослинності. У цій системі здійснюється обмін речовиною і енергією [3].

Моніторинг лісів – це система регулярного спостереження, оцінки та прогнозування динаміки кількісного та якісного стану лісів. Моніторинг лісів здійснюється шляхом збору, передачі, зберігання та аналізу інформації щодо стану лісів, прогнозування можливих змін у лісах та розробки науково обґрунтованих рекомендацій для інформаційно-аналітичного забезпечення лісового господарства, прийняття рішень щодо запобігання негативним змінам стану лісів, дотримання вимог екологічної безпеки та принципів ведення лісового господарства на основі принципів сталого розвитку [4].

Моніторинг лісових екосистем можна розглядати як систему нагляду, аналізу і прогнозу динаміки стану лісів під дією різних впливів з метою поліпшення виконання відведених їм функцій.

Моніторинг лісу організовується під керівництвом вищого органу управління лісового господарства – Державного агентства лісових ресурсів України і є інформаційною системою для реалізації сталого управління лісами. Він робить можливим отримання достовірної та актуальної інформації про динаміку лісового фонду. Держлісагентство здійснює моніторинг ґрунту земель лісового фонду; лісової рослинності; мисливської фауни [1].

Об'єктом лісового моніторингу є весь лісовий фонд України. Порядок здійснення державного моніторингу лісів визначається Кабінетом Міністрів України.

При веденні лісового моніторингу вирішуються наступні завдання:

- 1) визначення масштабів і вивчення причин пошкодження і погіршення стану лісів;
- 2) відстеження та аналіз порушень лісового законодавства у результаті будь-якої діяльності;
- 3) фіксація динаміки лісового фонду, обумовленої природними та антропогенними факторами;
- 4) інформаційне забезпечення контролю за виконанням суб'єктами переданих їм повноважень в області лісових відносин;
- 5) отримання і обробка інформації про виконання лісами, санітарно-гігієнічних, естетичних та інших функцій;
- 6) оцінка проведених заходів, ресурсно-екологічна та кадастрові оцінки;
- 7) збір, аналіз і прогноз даних про стан екосистеми.

Для глибокого і правильного розуміння процесів, що відбуваються всередині лісової екосистеми, для вивчення змін, викликаних зовнішніми факторами, для визначення реакції системи на ці зміни, для визначення стійкості системи до цих впливів, необхідна ідентифікація компонентів лісової екосистеми, визначення взаємовідносин між ними і специфікація механізмів, завдяки яким в лісовій екосистемі відбуваються зміни.

Лісові екосистеми – це одні з найскладніших на Землі екосистем. Вони характеризуються ландшафтно-географічною мінливістю, неоднорідністю, різним часом протікання процесів і різною тривалістю життя деревостанів.

Для забезпечення необхідного рівня ефективності моніторингу використовується одночасне спостереження за системою на різних рівнях, зонально-типологічний та комплексний підхід.

Умовно можна виділити наступні види моніторингу лісів: моніторинг пожежної небезпеки в лісах і площ лісових пожеж; лісопатологічний

моніторинг; моніторинг радіаційної обстановки в лісах. Кожен з перелічених видів має свої цілі, для реалізації цих цілей формуються відповідні задачі.

Мета моніторингу пожежної безпеки в лісах і лісових пожежах – забезпечити оперативне виявлення і ефективно гасіння лісових пожеж. Моніторинг лісових пожеж виконують за допомогою аналізу, оцінки та прогнозування виникнення пожежі у лісі, аналізуючи також профілактичні роботи, методи виявлення та гасіння осередків займання у лісі, оцінюються наслідки та результати проведеної роботи. Завдання моніторингу пожежної безпеки в лісах – прогнозування і оцінка пожежної безпеки в лісах і поширення лісових пожеж, виявлення і облік лісових пожеж, спостереження за їх розвитком, контроль пожежної безпеки в лісах і лісових пожеж, спостереження за відновленням пошкоджених територій.

Мета лісопатологічного моніторингу – своєчасне виявлення, оцінка та прогноз змін санітарного стану лісів для здійснення управління в галузі захисту лісів від шкідливих організмів. Основні завдання – своєчасне виявлення незадовільного стану лісів і визначення причин пошкодження (ураження), ослаблення і загибелі лісів, прогноз розвитку в лісах патологічних процесів і явищ, а також оцінка їх можливих наслідків.

Моніторинг радіаційної обстановки в лісах спрямований на здійснення охорони лісів від забруднення радіоактивними речовинами. У його завдання входить:

- встановлення та уточнення зон радіоактивного забруднення;
- радіаційний контроль лісових ресурсів;
- створення умов для безпечного використання земель лісового фонду забруднених територій на основі радіаційного контролю лісових ресурсів;
- розробка профілактичних і реабілітаційних заходів в зонах радіоактивного забруднення лісів.

При проведенні моніторингу використовуються два основні способи збору даних про стан і забруднення навколишнього середовища: наземний

(контактний) і дистанційний (безконтактний). Наземний (контактний) спосіб передбачає проведення безпосередніх дій щодо досліджуваних компонентів довкілля (вимірювань, відбору проб, спостережень та інших.). При цьому дослідник безпосередньо контактує з досліджуваними екосистемами. Дистанційний (безконтактний) спосіб передбачає використання електронних вимірювальних пристроїв дистанційного спостереження в режимі реального часу. При цьому безпосередній контакт з досліджуваними екосистемами виключається.

Використання електронних вимірювальних пристроїв дистанційного спостереження проводять, використовуючи підключення до базової станції, або через телеметричну мережу, або через наземні лінії, стільникові телефонні мережі або інші телеметричні системи [5].

При проведенні наземного моніторингу проєктують з використанням методів математичної статистики і закладають пробні площі і пункти обліку. У ряді випадків (при необхідності оцінки насаджень на невеликих площах – локальному моніторингу) проводять суцільний моніторинг. При проведенні дистанційного моніторингу використовують засоби космічного базування, аерофотозйомку у видимій та інфрачервоній зонах спектра, а також методи лазерного зондування.

При проведенні моніторингу необхідна єдина методологія, що включає в собі [6]:

- відпрацьовані методи отримання об'єктивної і різноманітної інформації про стан навколишнього середовища та стан (норми і відхилення від норми) основних компонентів екосистем на основі необхідної і достатньої кількості вибірових даних;
- автоматизовані і високотехнологічні методи обробки та аналізу інформації, що дозволяють отримати адекватну оцінку ситуації, що спостерігається;
- можливість прогнозу ситуації, заснованої на використанні апробованих екологічних моделей, що описують реакцію і поведінку основних

компонентів лісових екосистем під тиском спостережуваних і обставин, що змінюються;

– можливість прийняття обґрунтованих рішень різних типів, масштабів і категорій залежно (від законодавчих і управлінських до економічних і технологічних) на основі використання еколого-економічних критеріїв і апробованих для різних ситуацій і рівнів алгоритмів;

– розробку механізму обов'язкового виконання прийнятих рішень, аналіз їх результативності та можливість швидкої реакції і обґрунтованих поправок до рішень з метою їх адаптації до мінливих ситуацій.

Тільки при дотриманні зазначених умов моніторинг стану лісових насаджень може розглядатися як система контролю, що забезпечує сталий розвиток і збереження природних територій.

Основою моніторингу є матеріали лісовпорядкування та державної інвентаризації лісів, вони забезпечують актуальну інформацію про ліси, їх породному складі і структурі, кількісному і якісному стані. Зіставлення наявних матеріалів різних років дозволяє встановлювати зміни, що відбуваються на територіях будь-яких розмірів.

Весь цикл біогеоценологічних досліджень в лісах умовно можна розділити на чотири етапи: попередній, початковий, основний і додатковий [7].

Попередній етап включає вибір об'єктів. Цей цикл робіт передбачає ознайомлення з картографічними і лісовпорядними матеріалами і маршрутне обстеження намічених ключових ділянок, з числа яких і вибираються об'єкти досліджень. При попередньому етапі досліджень збираються відомості про характеристику природних умов району досліджень, режимах господарства в теперішньому і минулому.

Початковий етап – це проведення комплексу лісо-таксаційних робіт: закладка постійних і тимчасових пробних площ.

Основний етап включає комплекс робіт, пов'язаних з отриманням кількісних оцінок окремих сторін біогеоценотичного процесу і взаємодій

компонентів біогеоценозу (всілякі види обліку, пов'язані з виразом оцінок на площу деревостану, підліску, підросту і т.д.).

Додатковий етап включає екологічні роботи, що стосуються вивчення потреб порід-едифікаторів в ставленні до провідних факторів середовища (наприклад, аналіз структури продуктивності деревостанів за класами росту дерев і за ступенями товщини, щоб обґрунтувати інтенсивність рубок догляду; вивчення динаміки приросту стовбурної деревини в залежно від циклічності погодних умов; дослідження стимулювання мінералізації лісової підстилки за допомогою внесення хімічних речовин і т.д.) [8].

За станом лісових насаджень слідкують, використовуючи як наземний транспорт, так і вежі, оснащені звичайними камерами відеоспостереження і спеціальними, що мають датчики інфрачервоного випромінювання. Камери здійснюють стеження в автоматичному режимі цілодобово протягом необхідного часу (в пожежонебезпечний період). Фіксується інформація передається для обробки диспетчером в спеціальний пункт прийому даних. При організації моніторингу даними способом необхідно визначити необхідну для ефективної роботи кількість точок спостереження, забезпечених електроенергією [9].

## **1.2. Дистанційне зондування землі – як спосіб екологічного дослідження стану лісових екосистем**

Одним з основних джерел даних для екологічного моніторингу є матеріали дистанційного зондування. Вони об'єднують всі типи даних, одержуваних з носіїв:

- пілотовані (космічні орбітальні станції, кораблі багаторазового використання, автономні супутникові знімальні системи і т.п.);
- авіаційного базування (літаки, вертольоти і мікроавіаційні радіокеровані апарати) і складають значну частину дистанційних даних (remotely sensed data) як антоніма контактних (передусім наземних) видів

зйомок, способів отримання даних вимірювальними системами в умовах фізичного контакту з об'єктом зйомки.

До неконтактних (дистанційних) методів зйомки, крім аерокосмічних, відносяться різноманітні методи морського (на водного) і наземного базування, включаючи, наприклад, фототеодолітну зйомку, методи геофізичного зондування надр, гідроакустичні зйомки рельєфу морського дна за допомогою гідролокатором бічного огляду, інші способи, засновані на реєстрації власного або відбитого сигналу хвильової природи [90].

Дистанційний моніторинг можна визначити як регулярні спостереження за станом використання лісів, для своєчасного виявлення і прогнозування розвитку процесів, які впливають на ліси на основі контурного і аналітичного дешифрування матеріалів дистанційного зондування землі. Він є одним із заходів державної інвентаризації лісів (ДІЛ) і проводиться з використанням космічних засобів спостереження різної конструкції [91].

Інформація дистанційного зондування про зростання, силу та динаміку зростання наземної рослинності може дати надзвичайно корисну інформацію для додатків у галузі моніторингу навколишнього середовища, збереження біорізноманіття, сільського господарства, лісового господарства, міської зеленої інфраструктури та інших пов'язаних областях. Зокрема, ці типи інформації, що застосовуються до сільського господарства, забезпечують не лише об'єктивну основу (залежно від дозволу) для макро- та мікро-менеджменту сільськогосподарського виробництва, а й у багатьох випадках необхідну інформацію для оцінки врожайності сільськогосподарських культур [92]. Ці програми були розроблені як добре відома категорія дисциплін, точне землеробство, початок якої можна було простежити ще три десятиліття тому [92].

Доцільність застосування дистанційного моніторингу доведена на практиці. Рекомендовані фахівцями ефективні напрямки роботи – виявлення порушень лісового законодавства, оцінка ступеня пошкодження лісової рослинності під впливом природних і антропогенних факторів (викид



забруднюючих речовин та інші негативні процеси), а також виявлення джерел потенційно шкідливого впливу на лісовий фонд. Крім цього, супутникові методи спостереження застосовуються для проведення оцінки загальної лісопатологічної і пожежної ситуації, виявлення і стеження за динамікою лісових пожеж, прогнозування напрямку руху вогню по території і рішення інших завдань моніторингу (спостереження за метеорологічною обстановкою, сходом снігового покриву, фенологічним станом лісів).

Основні переваги використання даних дистанційного зондування:

- дані містять корисну інформацію, отриману в різних спектральних діапазонах, і зберігаються в цифровому вигляді;
- космічні знімки охоплюють великі області, їх можна використовувати для тематичних регіональних досліджень та ідентифікації великих просторових об'єктів;
- регулярна зйомка територій дозволяє проводити моніторинг об'єктів, явищ і процесів, які змінюються під впливом природних і антропогенних факторів (водних ресурсів, стану сільськогосподарських культур, ґрунтів, інфраструктури міст);
- можливість досить просто отримати дані про важкодоступних областях і отримання знімків різної якості для вирішення різноманітних завдань в різних предметних областях;
- економічно ефективним є застосування космічних знімків для оперативного оновлення середньо- і дрібномасштабних карт.

Проте, є такі недоліки даних дистанційного зондування:

- висока вартість програмного забезпечення для обробки цифрових знімків;
- результати дешифрування матеріалів дистанційного зондування, не підтверджені польовими дослідженнями, не завжди володіють достатньою надійністю [93].

Порядок проведення робіт при дистанційному моніторингу:

- з супутника за допомогою скануючого радіометра проводиться зйомка у відповідному регіоні;
- базується на Землі аналітична станція отримує інфрачервоний знімок і аналізує його;
- аналіз знімка проводиться за окремими блоками (блок лісових пожеж, санітарно-лісопатологічний лісовий блок, лісо-відновлювальних блок). Наприклад, різниця температури земної поверхні і температури ділянки, охопленого пожежею, дозволяє визначити його місцезнаходження.

Матеріали дистанційного зондування є основою для оперативного прогнозування ситуації і складання прогнозів на тривалий термін. Також на їх основі проводиться розрахунок необхідних ресурсів. Результати аналізу, інтерпретації і прогнозу направляються органам лісоуправління або іншим зацікавленим особам для їх застосування у практичній діяльності.

При плануванні проведення дистанційного моніторингу підбираються лісництва з інтенсивним рівнем використання лісів, максимальними обсягами заготівлі деревини, високою часткою орендованих лісових ділянок.

Технологія дистанційного моніторингу використання лісів постійно вдосконалюється, загальна площа його застосування збільшується.

Характеристики лісового покриву, які можна виявити за допомогою технологій дистанційного зондування:

- ступінь порушеності лісової екосистеми (оцінка "здоров'я" або ступеня наближеності лісової екосистеми до ідеального непорушного стану);
- повнота деревостою (щільність насаджень, ступінь зімкнутості деревостою);
- переважаючий вік деревостою;
- переважний породний склад деревостою (для лісів помірного поясу);
- висота окремих дерев, висота деревних ярусів;
- діаметр крони окремих дерев;
- кордон лісу;

- вогнища лісових пожеж у режимі майже реального часу;
- території з лісами, що вигоріли, за рік спостережень;
- вирубування різного віку.

При безперервному дистанційному моніторингу застосовується цілорічна космічна зйомка відповідної оперативної частоти.

Для проведення моніторингу необхідні дані дистанційного зондування з високою просторовою роздільною здатністю, яке може забезпечити потрібну якість отриманих результатів дешифрування аерофотознімків [94].

Контурне дешифрування аерофотознімків, що відображають результати лісокористування, а також виділення кордонів виявлених порушень виробляють з використанням геоінформаційних систем. Також на підставі отриманих даних при необхідності (для перевірки, при виявленні порушень і т.п.) Фахівці виїжджають на ділянки лісокористування.

Дистанційний моніторинг може бути організований не тільки з космічних супутників, а й із застосуванням різних пілотованих і безпілотних літальних апаратів (квадрокоптери, повітряні кулі, вертольоти, літаки). Дані апарати не здатні досягати космічних висот і застосовуються для моніторингу явищ локального або регіонального масштабу. При цьому виді робіт також проводиться неконтактна зйомка.

Застосування даних засобів важливо для організації робіт ДІЛ; локалізації території, на якій знаходяться осередки хвороб і шкідників, лісових пожеж або промислових забруднень.

Для організації та проведення робіт з моніторингу лісів необхідно розвиток напрямку розробки ГІС, що дозволяють проводити автоматизовану класифікацію матеріалів дистанційного зондування Землі. У багатьох країнах при проведенні національних інвентаризацій лісів ці методи досить успішно використовуються. Найбільш поширені з них - метод «найближчого сусіда» або метод k-NN [95].

ГІС є частково або повністю автоматизованою системою збору, обробки, зберігання і виведення кінцевої інформації. Розробка і розвиток таких систем

орієнтоване на досягнення цілей моніторингу НС, планування і управління лісовими ресурсами. Системи побудовані на базі даних, що мають різні конфігурації (картографічні, таксаційні та ін.). Вся інформація ГІС узгоджена в часі і в просторі і відображає всі особливості лісового фонду. Існуючі банки інформації дозволяють проводити всеосяжний аналіз з використанням ПК. Проводиться обробка і виведення необхідної картографічної, статичної, текстової інформації в тому чи іншому вигляді – цифровому або безпосередньо на паперових носіях. Отримана інформація використовується в цілях управління лісовим сектором на різних рівнях, здійснення багатоцільового раціонального користування лісом, вирішення завдань охорони НС.

Для організації процесу моніторингу лісів на всіх рівнях необхідні різні бази даних:

- за кожним виділом – матеріал для таких баз збирається в ході таксаційних робіт в рамках лісовпорядкування і ГИЛ, в тому числі розробляються або актуалізуються картографічні матеріали масштабу 1:10 000 - 1: 100 000;
- місцеві – містять основні дані для матеріалів масштабу 1: 200 000 - 1: 500 000;
- регіональні – мають дані для карт масштабу 1: 2 500 000 1: 5 000 000.

Використовуючи можливості геоінформаційних систем, в їх оболонку вносять матеріали, отримані в ході космо- або авіазйомки, за ними відстежують і відзначають в базі даних зміни, які відбулися з плином часу зміни, і які можуть бути викликані як природними, так і антропогенними факторами. Робота в системі проводиться в рамках однієї системи координат, що дозволяє автоматизувати багато процесів.

У галузі використання матеріалів космічних зйомок для дослідження та екологічного моніторингу лісових ресурсів значні успіхи відмічаються у Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі Академії наук України [96, 97]. Автори наголошують на важливості вибору спектральних каналів

космічних знімальних систем, котрі можуть забезпечувати високий критерій інформативності. У монографії [96] увага приділяється доцільності застосування підходів, основаних на використанні методів контрольованої класифікації, кластерного аналізу та декомпозиції спектральних сумішей.

### **1.3. Світовий та національний досвід використання супутникових знімків для моніторингу лісів**

Деградація лісів впливає на структуру, склад та різноманітність лісів, запаси вуглецю, функціональність та екосистемні процеси. Відомо, що вона робить значний внесок у глобальні викиди вуглецю, але є невизначеність щодо відносного розміру цих викидів. Багато в чому це пов'язано з тим, що хоча обезліснення або довгострокова вирубка лісів успішно відстежуються за допомогою технології дистанційного зондування (ДЗ), існує більше труднощів з використанням ДЗ для кількісної оцінки деградації лісів, коли площа залишається як ліс, але зі зміненою структурою, складом та функціями. Основна проблема при оцінці викидів в результаті деградації лісів полягає в тому, що, крім визначення порушених територій, необхідно оцінити обсяг втрати біомаси з часом на даній території.

Більшість досліджень з дистанційного зондування (ДЗ) деградації лісів зосереджені на вибіркових вирубках і пожежах у лісах [10, 11, 12, 13, 14], хоча зростає увага до незначних порушень інтенсивності, таких як змінне вирощування, збір паливної деревини та випас худоби [15, 16, 17]. Враховуючи важливість картографування, моніторингу та кількісної оцінки деградації лісів у контексті досліджень зміни клімату та проблем, пов'язаних із технологією ДЗ, огляд дослідження деградації лісів з використанням технології ДЗ є дуже актуальним.

У роботі [18] розглядають два підходи, а саме виявлення змін у покриві пологів та кількісну оцінку втрат (або приросту) у наземній біомасі, однак вони зосереджені лише на субтропічних лісах та потребах скорочення викидів від

вирубки та деградації лісів (RED+). Аналогічно, огляд, опублікований у [19], обмежений тим, що вони зосереджені виключно на тропічних вологих лісах, залишаючи осторонь інші ліси, які, можливо, більш схильні до деградації, до того ж вони розглядають лише питання просторового розширення. Тільки [18] розглядають тривимірний аспект вимірювання деградації, хоча вони не включають поточний потенціал дронів.

У статті [20] розглядається деградація лісів через різні причини, такі як нестабільні вирубки, пожежі, методи ведення лісового господарства, видобуток паливної деревини, урагани та шкідники. Обговорюються, закономірності, які можуть позначитися на структурі лісу, і якими можуть бути можливості вимірювання втрат наземної біомаси з часом у певному місці.

Візуальна інтерпретація використовувалася для виявлення територій, які зазнали деградації лісів у великому масштабі, шляхом картування показників, таких як відкритість лісового покриву, лісозаготівельні дороги, рубці від пожеж, лінії електропередач та поселення [21, 22]. Більшість досліджень з картування деградації лісів, що проводяться в Південно-Східній Азії, включають компонент візуальної інтерпретації, особливо для протяжних територій [23]. Візуальна інтерпретація як метод визначення деградації лісів зосереджена на таких порушеннях, як вибіркові рубки. Наприклад, [24] виявили видимі ознаки деградації в торф'яних болотних лісах, включаючи відкритість пологу, рубці від пожеж, вторгнення дрібних землевласників та лісозаготівельні канали шляхом візуальної інтерпретації зображень, отриманих з супутників SPOT 4 та SPOT 5.

Шкідники та комахи можуть викликати дефоліацію, впливати на здоров'я дерев і навіть викликати загибель дерев, і все це можна виявити за допомогою оптичного ДЗ [25, 26]. Наприклад, деякі індекси рослинності можна використовувати для виявлення змін зростанні уражених лісів [27].

Серед досліджень деградації лісів через вплив шкідників та комах [27] застосували багаточасний 16-денний зведений вегетаційний індекс MODIS для картування дефоліації, спричиненої сосновим пильщиком. Цей метод

використовує відмінності в літніх середніх значеннях та кутах сезонних профілів, щоб вказати на зменшення щільності листя та визначити пікселі з ушкодженням лісу, які можуть визначити місця ушкодження комахами, але не інтенсивність ушкодження. У роботі [28] застосували аналіз тимчасових рядів на основі траєкторій та щорічних даних тимчасових рядів на основі Landsat для виявлення деградації та відновлення зростання, пов'язаних з комахами, з достатньою надійністю. Супутникові зображення з дуже високою просторовою роздільною здатністю, такі як GeoEye-1, також були продемонстровані як перспективний інструмент для картування смертності рослинного покриву, спричиненої навалами комах [29]. У роботі [30] висвітлено використання ДЗ для моніторингу лісів, уражених інвазивними видами дерев та комахами з кількох регіонів світу.

У роботі [31] демонструється здатність автоматично виявляти зміни на рівні пікселів у супутникових зображеннях лісових масивів, які можуть бути використані для надання допомоги гватемальським агентствам, з використанням супутникових зображень із програми Copernicus та спеціально розроблених алгоритмів глибокого навчання для сегментації зображень.

Однією з основних причин деградації лісів є пожежі, як природні, так і спричинені діяльністю людини [32, 33]. Велика увага приділяється темі виявлення, за супутниковими зображеннями, лісових площ охоплених пожежами, їх наслідкам та прогнозуванню подальшого розвитку. Особлива увага приділяється технологіям оцінки площі пожеж на основі комбінованого використання супутникових даних MODIS і LANDSAT-TM/ETM+. Технологія включає отримання та комплексування трьох типів оцінок площі пожеж, що відрізняються рівнями оперативності та точності. Найбільш оперативна оцінка площі пожежі заснована на просторово-часовій агрегації результатів детектування пожеж, що діють, за даними MODIS з просторовим дозволом близько 1 км. Наступні уточнені оцінки виходять за рахунок використання інформації про відбивну здатність за даними приладу MODIS просторового дозволу 230 м, та зображень LandsatTM/ETM+ з просторовим роздільною

здатністю близько 30 м. Представлена технологічна схема передбачає комплексування на рівні окремих пожеж трьох різних типів даних шляхом використання потенційно найбільш точної оцінки з усіх доступних на даний час.

Можливість лісових пожеж часто значно зростає після нестійких лісозаготівель, які відкривають лісовий покрив, роблять мікроклімат сухішим і збільшують кількість сухого палива [34, 35, 36]. Лісові пожежі також пов'язані зі зміною культивуації в районах тропічних лісів, де вогонь часто використовується для підготовки посівних площ у густіших лісах або для розчищення наземного шару рослинності у відкритих лісах [37, 23]. Лісові пожежі можуть також виникати в незайманих лісах, особливо під час екстремальних посух та явищ Ель-Ніньо [38, 39, 40]. Частота та масштаби пожеж, ймовірно, збільшаться в майбутньому через більші, тривалі та суворі посухи, пов'язані з глобальним потеплінням [37, 41].

Дистанційне зондування широко використовується для картування та кількісної оцінки масштабів лісових пожеж – від локальних до глобальних – а також для оцінки схильності до пожеж, наслідків пожеж та відновлення після пожеж, серед іншого [42].

Для оцінки впливу пожеж, включаючи викиди, набори даних ДЗ були зосереджені в першу чергу на виявленні активних ділянок [42]. Наприклад, нанесення на карту спалених територій у бразильській Амазонії на основі різночасової сегментації зображень тіньової фракції Landsat (ділянки, пов'язані з процесами деградації, були спалені, але залишилися у вигляді лісу) [43]. Вони виявили, що деградація лісів внаслідок пожеж почастішала та збільшилася в лісових районах і стала однією з основних причин деградації лісів та викидів вуглецю у басейні Амазонки. Інше дослідження в бразильській Амазонії, також засноване на Landsat, показало, що в порівнянні з лісовим пологом, що постраждав від вибіркового лісозаготівель, ліс, порушений пожежами, відновлюється повільніше (до 5 років) [44].



Завдяки космічним знімкам можна досліджувати динаміку змін лісового покриву. Це дослідження [45], сформоване на основі даних з території Національного парку Ніджум Двіп, що розташований у Бангладеші, показує, що лісовий покрив може різко змінюватися. Навіть незважаючи на збільшення площі лісового покриву, обезліснення триває, що призводить до втрати великих площ лісового покриву. Це дослідження має неоціненне значення для безперервності такого роду досліджень і належного моніторингу подібних територій.

За даними дистанційного зондування Землі можна досліджувати не тільки фізичні зміни насаджень, а й розвиток хімічних процесів. Так наприклад, у роботі [46] досліджено, що завдяки методам геопросторових технологій для оцінки запасів вуглецю, можливо удосконалити систему оцінювання потенціальної здатності видів рослин і типів екосистем до захоплення та зберігання вуглекислого газу атмосфери шляхом природних або модифікованих біологічних процесів.

Оскільки роботи щодо поглинання вуглецю лісовими екосистемами є актуальними у зв'язку з впровадженням Кіотського протоколу, то темі оцінки запасів вуглецю присвячено значну кількість наукових досліджень. Так, для деяких країн були проведені розрахунки динаміки накопичення вуглецю за рахунок збільшення площ під лісовими екосистемами [47, 48]. За даними [49], насажені ліси на місці сільськогосподарських угідь поглинають додатково 1,18 тис. га щорічно, а ґрунти здатні поглинати додатково 0,72 - 1,12 тис. га на рік [50].

Широко розповсюдженим є використання вегетаційних індексів. Вони дозволяють автоматизувати процес ідентифікації різних рослинних угруповань, оцінити їх якісну характеристику. Так в роботі [51] наведено результати вивчення динаміки вегетаційного індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) для ідентифікації та картографування наземної рослинності за супутниковими даними Landsat на території природного заповідника «Нургуш». До особливостей запропонованого підходу відноситься оцінка

значень зазначених спектральних індексів окремо для соснових, листяних лісів та лугових фітоценозів. Виявлено вплив забруднення від промислових комплексів на значення індексу NDVI для соснових лісів.

У статті [52] розглядаються можливості використання космічних засобів дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем для вирішення завдань моніторингу сільського господарства та лісового господарства. Наводяться приклади використання матеріалів для зйомок російських космічних апаратів для контролю лісокористування та лісовідновлення, для оперативного моніторингу лісових пожеж та оцінки їх наслідків для створення ГІС з метою вирішення завдань сільського господарства.

Застосування дистанційного зондування для дослідження лісової рослинності є актуальним і для України [53, 54, 55, 56, 57].

Застосування матеріалів дистанційного супутникового зондування для дослідження лісових масивів України розпочалось в нашій державі з середини 1990-х рр., у той час набував обертів поступовий прорив в розвитку геоінформаційних систем, поштовхом для якого, стала поява персональних комп'ютерів. Спричинений розвитком комп'ютерних технологій, що зробили можливим використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у цифровому форматі для їх подальшої, з'явився новий, ефективний метод проведення просторового аналізу поверхні Землі.

Першими, хто застосував багатозональні знімки різної просторової розрізненості у галузі дослідження екологічного стану лісових насаджень та ландшафтів, були Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України (ЦАКДЗ, м. Київ). На знімках, отриманих за допомогою супутника SPOT-4 від 23.08.1995 р. в зоні, яка потерпала від наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, вони відокремили чорновільхові ліси від дубово-грабових та осиково-березових [58, 59], а серед хвойних лісів Зони відчуження, виявили лісисті площі, що були уражені сосновим шовкопрядом. Розвиток цієї теми був підтверджений подальшими наземними дослідженнями [60].

Для систематизації видів лісових насаджень на гірських територіях в Центрі аерокосмічних досліджень Землі розробили новітній метод топографічної корекції даних багатозональних космознімків, котрий може зменшувати значення яскравостей пікселів зображень більше освітлених схилів та збільшує – для менше освітлених, натомість ці значення не змінюються в умовах, коли поверхня є горизонтальною [61].

Ця ж група вчених здійснила спробу з'ясування можливості використання даних відео спектрометра MERIS для систематизування земного покриву Українських Карпат. У результаті досліджень було виявлено, що зображення отримані від ENVISAT MERIS з грубою просторовою розрізненністю 1,2 тис. м показує середній результат класифікації, тобто достатньо чітко виділяються лише хвойні ліси та вкриті снігом вершини. Класифікація з використанням множин індексів REP та MTCI дає кращі результати, ніж класифікація на основі значень відбиття [62].

У роботі [63] висвітлено дослідження особливостей використання багатозональної космічної зйомки для вивчення стану лісових масивів України, бореальних лісів Сибіру та оцінки кругообігу вуглецю в природі, що були проведені В. І. Лялько, О. І. Сахацьким, А. Я. Ходоровським, співпрацюючи зі спеціалістами з Міжнародного інституту системного прикладного аналізу (IIASA, м. Відень).

У співпраці з американськими та німецькими колегами на підставі аналізу знімків з супутника Landsat за 1988-2007 рр. та офіційної статистичної інформації в Українських Карпатах на рівні адміністративних районів чотирьох областей (Львівської, Івано-Франківської, Чернівецької та Закарпатської) виявили зміни лісового покриву, які були викликані незаконними зрубками та природним лісовідновленням на занедбаних землях сільськогосподарського призначення. Аналіз отриманих даних висвітлено в контексті переходу України до сталого ведення лісового господарства [64].

В роботі [65], здійсненої на основі космічних знімків Landsat, з метою відображення окремих класів лісових ділянок, С. А. Гаврилюк та С. І. Миклуш

створили тематичні карти вкритих рослинністю лісових ділянок та цифрові карти лісових площ Західного Лісостепу України за групами порід. У дисертації С. І. Миклуша розкрито тему теоретико-методичних засад дешифрування модальних букових деревостанів України за космічними знімками, у тому числі особливу увагу приділено можливості виділення букових лісів з розподілом за віком [66].

Фахівцями з різних організацій Харківської області, у результаті об'єднання в один науковий колектив, була здійснена спроба застосувати для дослідження лісів радіолокаційні знімки, зроблені з борту літака-лабораторії та космічного апарата «Алмаз». У результаті дослідження було виявлено, що текстура радіолокаційних зображень дібров менш дифузна, ніж текстура зображень соснових борів [67].

Досліджуючи моніторинг засихання хвойних лісів за різночасовими космічними знімками, можна приділити увагу роботі [68], в якій на прикладі Тухлянського лісництва запропонована методика дає змогу достовірно та с достатньою точністю вести моніторинг лісових масивів, а також контролювати поширення засихання у лісах і відповідно, приймати вчасні управлінські рішення щодо зменшення осередків поширення шкідників у хвойних лісах. Опрацьовану методику та отримані результати досліджень доцільно використовувати у лісовому господарстві для здійснення оперативного лісового моніторингу.

Велика увага приділяється темі виявлення, за супутниковими зображеннями, лісових площ охоплених пожежами, їх наслідкам та прогнозуванню подальшого розвитку.

Проведені роботи свідчать про можливість використання ДЗЗ для вирішення таких завдань, як оцінка площ лісів, що зазнали змін унаслідок пожеж. МДЗ і геоінформаційні технології є інструментарій, який дозволяє вирішити більшість завдань, що постають перед сучасною лісовою галуззю України.

Для спостереження за динамічними змінами вуглецю в лісових насадженнях важливо здійснювати програми моніторингу за спеціальною методикою. Вона має включати у собі оцінку всіх компонентів лісових екосистем. З метою точного оцінювання вуглецевого балансу важливим є розроблення керівництва з гармонізованого використання даних моніторингу та інвентаризації лісів. Запропоновані у даній роботі [69] методичні підходи відповідають міжнародним вимогам і можуть бути використані при підготовці такого керівництва.

У рамках проекту «Моделі зміни біосфери на основі балансу вуглецю» [70] були проведені дослідження його річного кругообігу в зеленомошних сосняках. В загальному запасі вуглецю фітомаса становила 46% у молодняку, в середньовіковому її частка збільшувалась до 65% і практично не змінювалася на наступних стадіях розвитку в досягаючих і перестиглих сосняках. Маса підстилки зростала від 8,6 тис. га в молодняку до 18,8 тис. га в досягаючому сосняку, не змінюючись на наступних стадіях розвитку. Легкий гранулометричний склад підзолів, надзвичайно низький вміст високодисперсних частинок обумовив низькі запаси гумусу.

В Інституті екології Карпат НАН України І. Шпаківською та О. Марискевич було проведено оцінку запасів органічного вуглецю в основних блоках (наземна і підземна фітомаса, стовбуровий фітодетрит, підстилка і ґрунт) лісів Східних Бескидів [71]. В екосистемах вибраних полігонів у Сколівському та Турківському районах депоновано в середньому 149,1 тис. га, найбільше в Майданському районі – 200,0 тис. га, з яких найменше – в Росохацькому лісництві – 94,3 тис. га. Із загального запасу органічного вуглецю 54,2 % припадають на фітомасу деревостану, 41,4 % – на ґрунтовий профіль до глибини 50 см, 2,5 % – на підстилку, 1,1 % – на піднаметову рослинність і 0,8 % – на стовбуровий фітодетрит.

Основними напрямками моніторингу поглинання вуглецю є дослідження динаміки накопичення, розкладання біомаси й детриту (мортмаси), вимірювання приросту та оцінка піднаметової рослинності, а також оцінка

вмісту вуглецю в ґрунтах, що включає періодичне проведення аналізу ґрунтів на постійних ділянках фіксованої площі. За результатами оцінок загальноєвропейської програми моніторингу лісових екосистем, запас вуглецю в стовбуровій біомасі коливається в середньому від 30 до 120 тис. га з приростом від 1 до 4 тис. га на рік [69].

У роботі [72] узагальнено вітчизняний досвід вивчення лісових масивів України за допомогою супутникових знімків. Описано здобутки установ і організацій, де проводяться дистанційні дослідження лісовкритих територій шляхом обробки й аналізу космічної інформації. У роботах [73, 74, 75] представлено задачі та основні напрями діяльності державного агентства лісових ресурсів України та оприлюднена інформація про впровадження в Україні моніторингу незаконних рубок лісів.

### **Висновки до розділу 1**

Моніторинг лісів – це система регулярного спостереження, оцінки та прогнозування динаміки кількісного та якісного стану лісів. Державний моніторинг лісових екосистем є невід’ємною частиною державної системи екологічного моніторингу природного середовища. Система екологічного моніторингу накопичує, систематизує та аналізує інформацію: про стан навколишнього середовища, про причини спостережуваних та ймовірних змін, про допустимість змін та навантажень на середовище в цілому, про існуючі резерви біосфери.

Одним з основних джерел даних для екологічного моніторингу є матеріали дистанційного зондування. Огляд літературних джерел показує доцільність використання дистанційних методів для моніторингу лісів.

За допомогою використання методів стає можливим виявлення порушень лісового законодавства, оцінка ступеня пошкодження лісової рослинності під впливом природних і антропогенних факторів. Супутникові методи спостереження застосовуються для проведення оцінки загальної

лісопатологічної і пожежної ситуації, виявлення і стеження за динамікою лісових пожеж, прогнозування напрямку руху вогню по території і рішення інших завдань моніторингу (спостереження за метеорологічною обстановкою, сходом снігового покриву, фенологічним станом лісів).

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ОЦІНКИ СТАНУ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ

#### 2.1. Загальна характеристика об'єкту дослідження

Лісові ресурси займають важливе місце у формуванні вуглецевого балансу атмосфери. Лісові насадження грають велику роль в пом'якшенні наслідків, спричинених змінами клімату, як за рахунок поглинання парникових газів, так і за рахунок формування стійких ландшафтів: регулюють водний режим, покращують стан ґрунтів, забезпечують захист прибережних зон від екстремальних погодних умов, сприяють збереженню біорізноманіття, створюючи міграційні коридори для рослин і тварин.

Навіть враховуючи факт того, що лісові ресурси є відновлюваними, на сьогоднішній день споживання їх настільки масштабне, що природа просто не справляється з такими темпами і не має можливості повністю відновлюватися, що неминуче призводить до зменшення чисельності лісів.

Відомо, що загальний обсяг лісових ділянок, які належать до лісового фонду України, становить 10,4 млн. га, в тому числі зони, зайняті ліською рослинністю 9,6 млн. га. Тобто лісистість України наразі становить 15,9%. Протягом останніх 50 років площа лісів збільшилася на 21%, а запас деревини майже у три рази, що свідчить про позитивну динаміку. Але, якщо не зважати на таку невелику лісистість території, Україна сміливо посідає 9 місце серед країн Європи за лісовими площами та 6 місце за запасами деревини. Поширеність лісів на території є нерівномірною, що безпосередньо зумовлено неоднорідними умовами для ліско-вирощування.

В залежності від природних зон, лісистість значно змінюється й не відповідає оптимальному рівню, за якого ліси якісно впливають на формування клімату, ґрунти, ресурси гідросфери, протидіють процесам ерозії, і забезпечують отримання достатньої кількості деревини (рис 2.1).



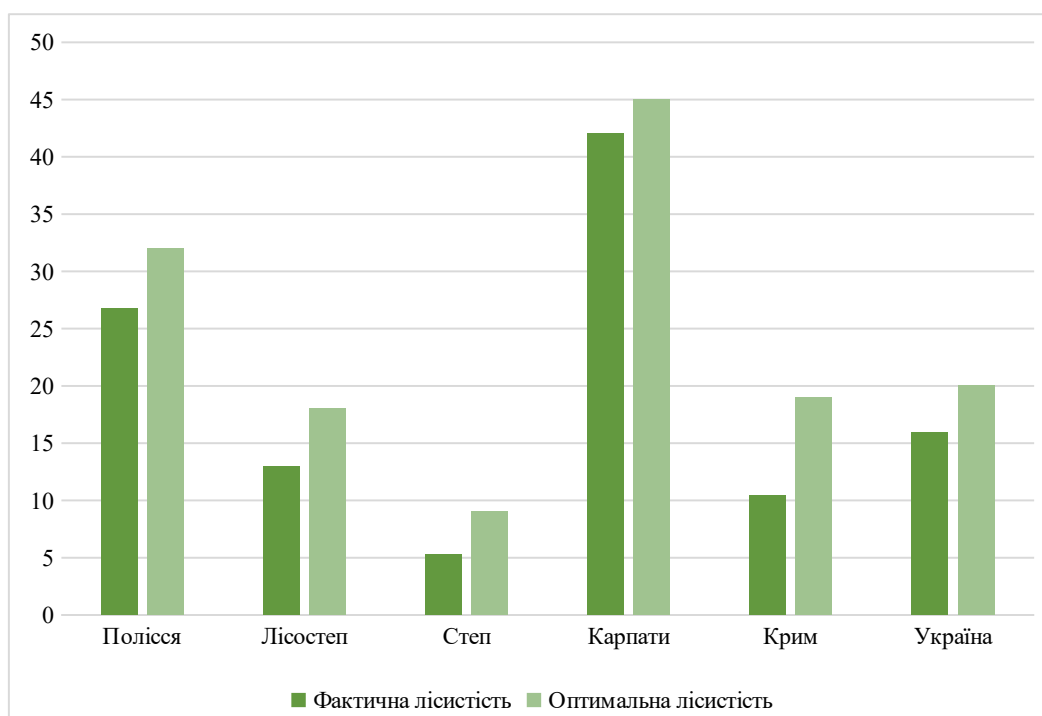


Рис. 2.1. Лісистість території України за природними зонами, % [76]

Більша частина лісових територій України належить до створених людиною, тому належно підходити до їх збереження з точки зору посиленого догляду. За віковою структурою переважну кількість становлять середньовікові насадження, на часту стиглих та перестиглих насаджень приходить 18,7%. У середньому вік лісових насаджень налічує понад 60 років, зберігається тенденція поступового старіння лісів, що у свою чергу призводить до зниження їх санітарного стану.

Різноманіття деревних порід лісів країни, налічує більш ніж 30 видів, домінантними серед яких є – дуб, бук, ялина, сосна, береза, вільха, ясен, граб, ялиця. Хвойні насадження налічують 43% від загальної площі, зокрема, сосна – 35%. Твердолистяні види займають близько 43%, зокрема, дуб та бук.

Запас лісової деревини коливається в межах 2,1 млрд. м<sup>3</sup>. За 1 рік у лісах України запаси деревини збільшуються в середньому на 35 млн. м<sup>3</sup>. Середньорічний приріст деревини на 1 га у лісах Держлісагентства дорівнює 3,9 м<sup>3</sup> на 1 га і коливається від 5,0 м<sup>3</sup> у Карпатах до 2,5 м<sup>3</sup> у Степовій зоні. Відбувається поступове збільшення запасу, що підтверджує значний економічний і природоохоронний потенціал наших лісів. У лісах Держлісагентства запас на 1 га складає близько 240 м<sup>3</sup> (7-ме місце в Європі, в

Польщі – 219 м<sup>3</sup>, у Білорусі – 183 м<sup>3</sup>, у Швеції – 119 м<sup>3</sup>). У цілому по Україні цей показник нижчий і складає 218 м<sup>3</sup>, за рахунок у першу чергу лісів реформованих сільгосп підприємств, які зріджені та знаходяться в складному санітарному стані [76].

Згідно Лісового та Земельного кодексів, лісові ресурси України мають перебувати у власності держави, комунальних підприємств та приватних осіб.

Велика кількість лісів належить державі. У процесі розподілу, землі підпорядковані комунальним підприємствам можуть налічувати приблизно 1,3 млн. га., тобто 13%, від загальної кількості земельних ділянок лісогосподарського призначення, які належать до постійного користування комунальними підприємствами, що підпорядковані органам місцевого самоврядування. На частку приватних осіб припадає менше 0,1% загальної площі лісових насаджень. Близько 800 тис. га лісових земель, що перебувають у державній власності не надані в користування та належать до земель запасу. В Україні історично сформувалася ситуація, коли державні ліси закріплюються за багатьма постійними лісокористувачами, тобто підприємствами, установами та організаціями кількох десятків міністерств та відомств. За відомчим підпорядкуванням, найбільшою площею лісових територій (приблизно 73%) володіють лісогосподарські підприємства, які координуються Держлісагентством.

Відтворення лісів є одним з основних завдань лісівників. Відповідно до законодавства, термін виконання завдань – два роки. За цей час пріоритетним напрямом є відновлення лісу на місцях суцільних рубок. Час на цей період закладається з урахуванням робіт на підготовку ґрунтів та проведення інших заходів для висаджування дерев, або сприяння його природного поновлення. Зазвичай, роботи з відновлення проводяться на наступний рік після рубки, а іноді, якщо всі умови відповідають нормі, відновлення можна розпочинати у той самий рік. Найбільш підходящий час для відновлення обирають навесні та восени, бо у ці пори року спостерігаються сприятливі погодні умови.

За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, станом на 2018 рік, площа суцільних рубок становить 42,7 тис. га. У 2019 році у результаті відтворення лісів, відновлено близько 49 тис. га, у тому числі штучно створено 2,2 тис. га нового лісу [76]. У 2020 році відновлена територія складає 44,7 тис. га.

Дослідивши динаміку відтворення лісів за останні 10 років за даними Державної служби статистики України (рис. 2.2) можна зробити висновок що починаючи з 2017 року простежується чітка тенденція зниження кількості площ охоплених роботами. Відповідно до цієї динаміки, можна спрогнозувати подальше зменшення показників.

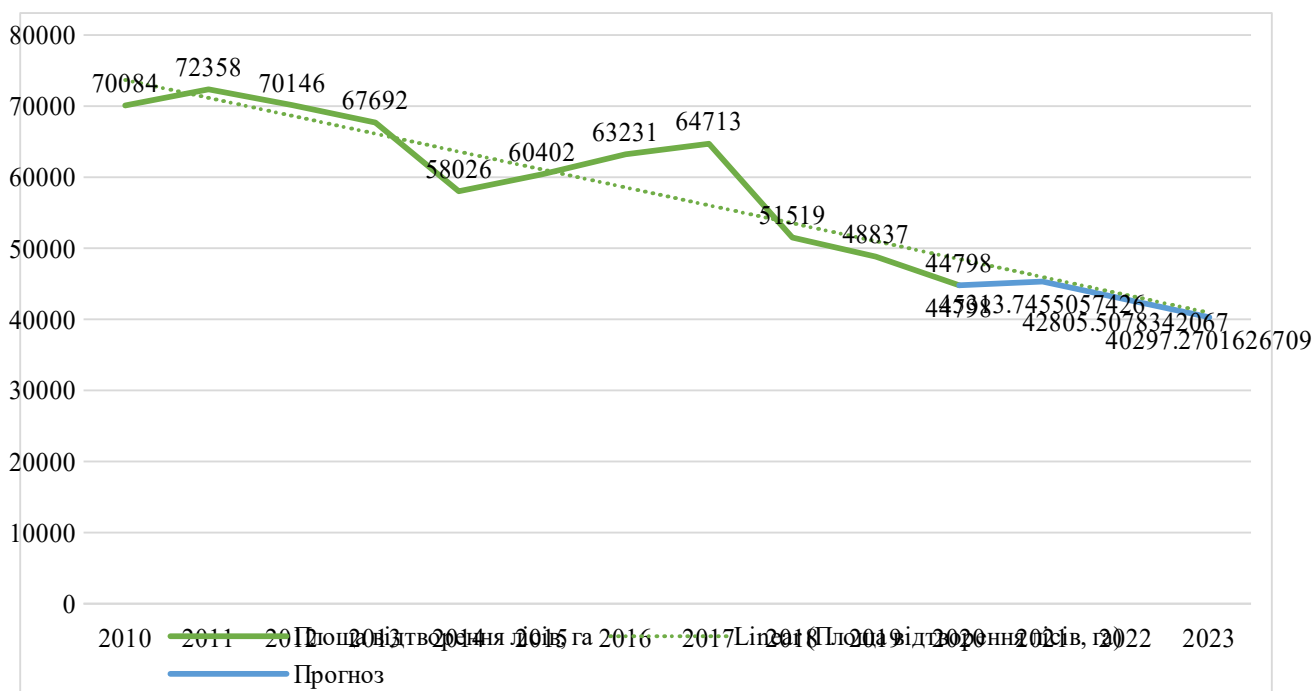


Рис. 2.2. Динаміка відтворення лісів

Не зважаючи на те, що обсяг проведених робіт з відновлення лісових насаджень є більшим ніж площа суцільних зрубів, і в країні простежується стійка тенденція у напрямку збільшення площі лісів, порівнюючи з 2019 роком площа відновлення зменшилася на 4,3 тис. га, що насамперед залежить від відсутності підтримки на державному рівні на проведення робіт з лісорозведення та лісовідновлення, та ускладненою процедурою отримання земель на означені цілі. Варто зазначити, що починаючи з 2018 року

відмічається стійка тенденція до зменшення обсягів рубок лісу (табл. 2.1), що тісно зв'язано зі зменшенням обсягів лісовідтворення.

Таблиця 2.1

Площа рубок лісу за породним складом деревостанів (2015-2020), га [77]

Вид/рік	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Хвойні	232107	226472	264715	284483	277922	246945
Твердолистяні	145137	138903	134365	138370	138036	121968
М'яколистяні	21297	20337	19660	22398	20367	13386
Загальна площа рубок	399296	386265	419099	445522	436752	382343

Згідно даних, розроблених міжнародною некомерційною неурядовою організацією «Лісова наглядова рада» (Forest Stewardship Council, FSC) в Україні станом на 1 квітня 2020 року сертифіковано 4,59 млн. га лісу (44%) (рис. 2.3). Лісова сертифікація – це процедура підтвердження третьою незалежною стороною того, що суб'єкт сертифікації, наприклад компанія-лісокористувач, у своїй діяльності відповідає спеціально встановленим вимогам. Головними цілями лісової сертифікації є вдосконалення системи лісоуправління та забезпечення доступу споживача до сертифікованих лісових продуктів, забезпечення екологічного ведення лісового господарства.

Екологічно-збалансоване і свідоме ведення лісового господарства включає у собі заготівлю лісоматеріалів та іншої продукції лісового господарства при одночасному збереженні біорізноманіття та продуктивності лісів, природних екологічних процесів. Проведення сертифікації відбувається акредитованими на міжнародному, чи національному рівнях, організаціями. Дані процедури сертифікації забезпечують незалежність, правдивість та об'єктивність оцінювання ведення лісового господарства у будь-якій країні. Сьогодні дана сертифікація має чинність у 84 країнах світу.

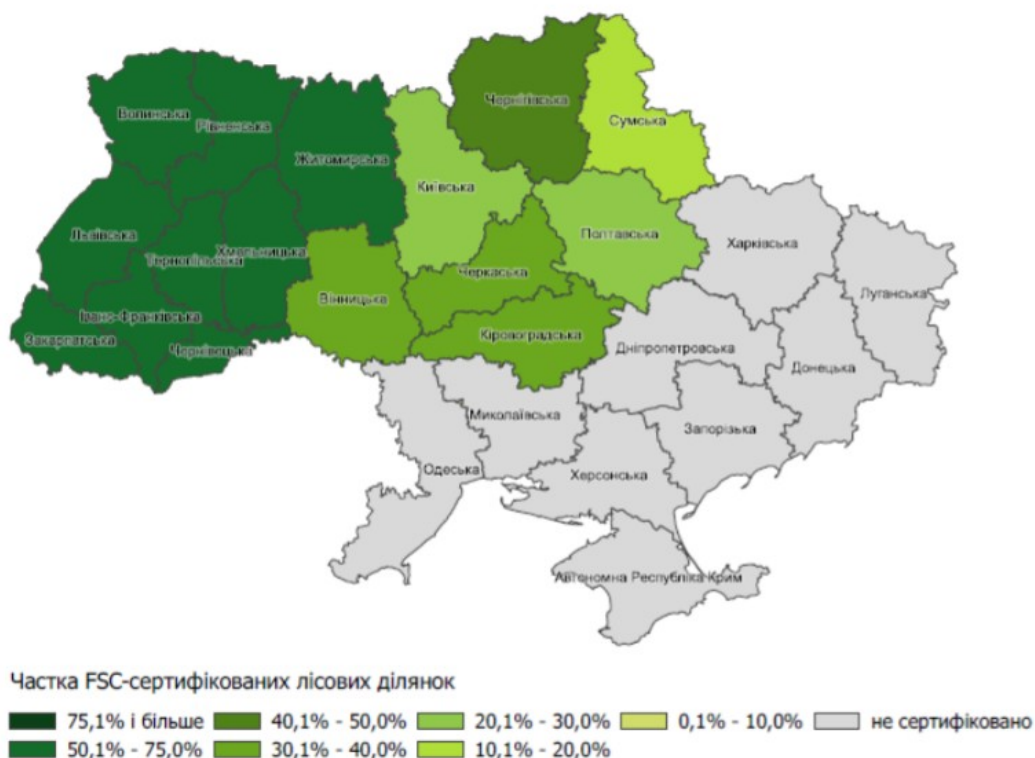


Рис. 2.3. FSC-сертифіковані ліси України [78]

Практично усі з лісів держави сертифікованих FSC підпорядковуються Державному агентству лісових ресурсів України. На сьогоднішній близько 44% лісових територій, що перебувають у відомстві Державного агентства лісових ресурсів України – сертифіковані. Високий рівень міжнародної сертифікації мають, західні області України. Малий відсоток сертифікації південних і східних областей наряду залежить від недостатнього фінансування.

Станом на 2019 рік загальний обсяг незаконних рубок склав 118 тис. куб. м, що відповідає 814,2 млн. грн. заподіяної шкоди.

Динаміку кількості випадків та обсягів незаконних рубок за останні 10 років можна простежити на діаграмах, сформованих на основі даних Державного агентства лісових ресурсів України (рис. 2.4, 2.5).

Збільшення обсягу незаконних рубок у 2019 році в порівнянні з минулими роками пов'язано з проведенням комплексних аудитів в лісогосподарських підприємствах Харківської області, які дозволили виявити масштабні незаконні рубки які здійснювались протягом попередніх років.

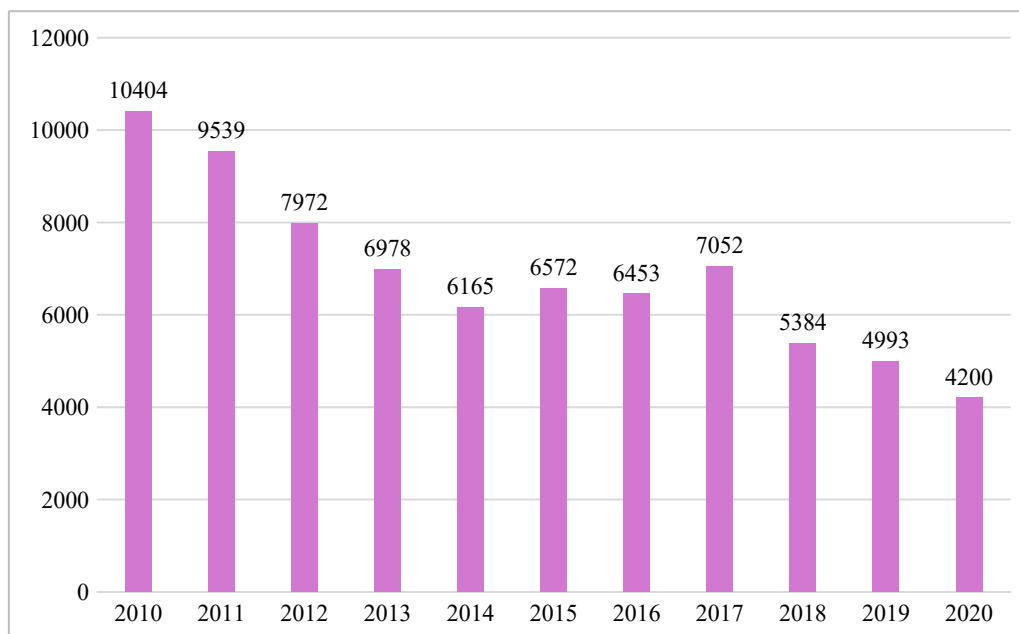


Рис. 2.4. Кількість випадків незаконних рубок за 2010-2020 роки

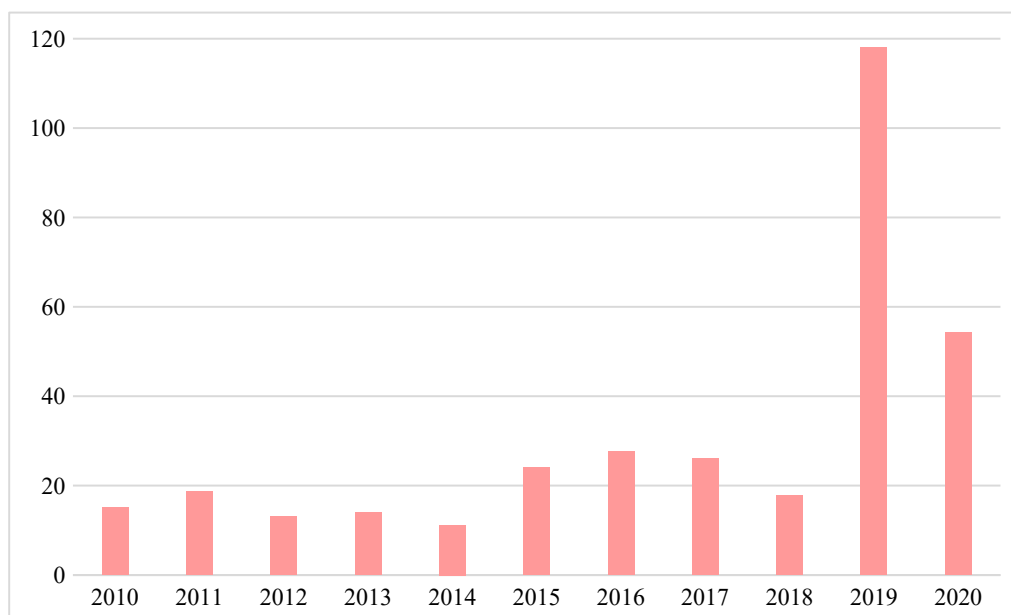


Рис. 2.5. Обсяг незаконних рубок за 2010-2020 роки (тис. куб. м.)

Значною мірою на поширення незаконних рубок у південних та східних областях України впливає недостатність бюджетного фінансування працівників державної лісової охорони, що штовхає їх на зміну місця роботи за власним бажанням, внаслідок чого великі території залишаються без нагляду.

Досить частими на територіях лісових насаджень відбуваються пожежі. У 2019 році в лісах підвідомчих підприємств ліквідовано 1261 випадків пожеж, загальною площею 1065 га. Фінансові втрати від лісових пожеж налічують 6,7 млн. гривень. Найбільша кількість пожеж зареєстрована у Херсонському,

Дніпропетровському, Харківському, Луганському та Чернігівському обласних управліннях лісового та мисливського господарства – 166, 142, 113, 110, 102 випадки, відповідно. Найбільші площі пошкоджені пожежами спостерігаються у Житомирському – 175 га, Херсонському – 169 га, Чернігівському – 158 га, та Одеському – 128 га, обласних управліннях.

Людський фактор – основна причина виникнення пожеж (85%). Якщо в попередні роки лісові пожежі переважно ліквідували на початковій стадії силами відомчої пожежної охорони (80%), то протягом останніх двох років кожен третій випадок гасіння пожеж здійснюється із залученням значних сил та засобів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, у зв'язку з цим, значно збільшуються витрати на їх ліквідацію.

З метою попередження лісових пожеж та мінімізації їх наслідків у лісах підвідомчих підприємств у 2019 році влаштовано 44 км протипожежних розривів, заслонів та бар'єрів та 52,2 тис. км мінералізованих смуг, проведено догляд за ними протяжністю 245,7 тис. км. Проведено 21,1 тис. рейдів, за порушення вимог пожежної безпеки в лісах притягнуто до адміністративної відповідальності 1265 правопорушників, стягнуто штрафів на суму 129,5 тис. гривень.

Щорічно проводяться заходи з поліпшення санітарного стану лісів, у 2019 році площа лісових насаджень, на якій проводилися роботи складає понад 217 тис. га, що складає 74%.

У 2020 році шкідники і хвороби лісу найбільше уражали штучно створені ліси на Півдні та Сході України, але останнім часом, у зв'язку зі покращенням кліматичних умов, поширення шкідників і хвороб лісу охопило всю територію України.

За даними Державної служби статистики України, щорічно лісові насадження потерпають від:

- пошкоджень шкідливими комахами;
- впливу несприятливих погодних умов;
- антропогенних факторів;

- надмірної вологості;
- хвороб лісу;
- лісових пожеж.

Дослідивши обсяги загибелі лісів України за причинами (рис 2.6), можна зробити висновок, що найбільшої шкоди за останні роки було нанесено лісовими пожежами та нападами шкідливих комах:

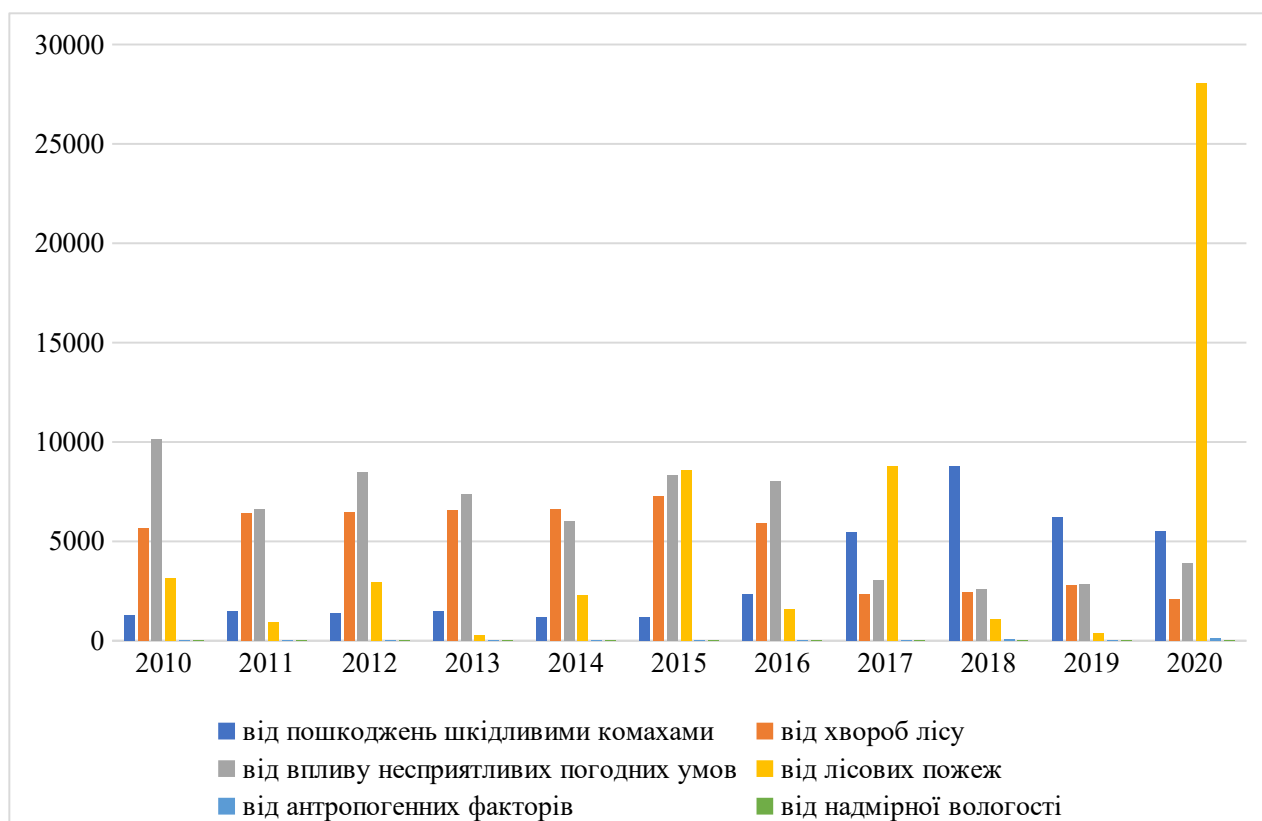


Рис. 2.6. Обсяги загибелі лісів України за причинами, га

Завдання захисту лісів є пріоритетним для лісозахисної служби, Роботи із захисту лісів здійснює спеціалізована лісозахисна служба, яка організована на базі семи державних спеціалізованих лісозахисних підприємств.

Пріоритетним напрямком діяльності лісозахисної служби є розробка та впровадження у практику біологічних засобів боротьби зі шкідниками лісу. Такі засоби не шкідливі для людини та довкілля і застосовуються в густонаселених районах України та в лісах, де використання хімічних засобів боротьби заборонено. Цим напрямком активно займається державне спеціалізоване лісозахисне підприємство «Харківлісозахист».



Екологічний моніторинг як складова частина державної системи моніторингу навколишнього середовища є важливим напрямом діяльності лісоустрою. Наразі екологічним моніторингом 1 рівня (екстенсивний рівень) охоплено всі ліси Державного комітету лісового господарства України. Надалі необхідно поступово переходити до інтенсивного моніторингу стану лісів, зокрема в екологічно неблагополучних регіонах, у ході якого детальніше вивчати фактори, що негативно впливають на стан лісів.

## **2.2. Методи оцінки вегетаційних індексів рослинності**

Веgetаційні індекси рослинності (VI) – це комбінації відбивної здатності поверхні на двох або більше довжинах хвиль, призначені для виділення певної властивості рослинності. Вони отримані з використанням відбивних властивостей рослинності. Кожен з індексів призначений для виділення певних властивостей рослинності.

У науковій літературі опубліковано понад 150 VI, але лише невелика частина має суттєву біофізичну основу або зазнала систематичного тестування. Вони підбираються експериментально, ґрунтуючись на відомих особливостях кривих спектральної відбивної здатності рослинності та ґрунтів. Ефективність вегетаційних індексів визначається особливостями відбиття. Розрахунок більшої частини вегетаційних індексів базується на двох найбільш стабільних ділянках кривої спектральної відбивної здатності рослин.

Характерною ознакою рослинності та її стану є спектральна відбивна здатність, її характеризують значні відмінності у відображенні випромінювання різних довжин хвиль [79]. Знання про зв'язок структури та стану рослинності з її спектрально-відбивними здібностями дозволяють використовувати аерокосмічні знімки для картографування та ідентифікації типів рослинності. На основі комбінації значень яскравості в певних каналах, інформативних для виділення об'єкта, що досліджується, і розрахунку за цими значеннями «спектрального індексу» об'єкта будується зображення, відповідне значенням

індексу в кожному пікселі, що і дозволяє виділити досліджуваний об'єкт або оцінити його стан [80]. Спектральні індекси, що використовуються для вивчення та оцінки стану рослинності, отримали загальноприйнятту назву вегетаційних індексів. Вони дозволяють автоматизувати процес ідентифікації різних рослинних угруповань, оцінити їх якісну характеристику.

Розрахунок більшої частини вегетаційних індексів базується на двох найбільш стабільних ділянках кривої спектральної відбивної здатності рослин, що не залежать від інших факторів. На червону зону спектру (0,62 - 0,75 мкм) припадає максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом, а на ближню інфрачервону зону (0,75 - 1,3 мкм) максимальний відбиток енергії клітинною структурою листа. Таким чином, висока фотосинтетична активність, яка пов'язана, як правило, з великою фітомасою рослинності, веде до нижчих значень коефіцієнтів відображення в червоній зоні спектру і більших значень ближньої інфрачервоної. Ставлення цих показників один до одного дозволяє чітко відокремлювати рослинність від інших природних об'єктів [81, 82].

NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований відносний вегетаційний індекс. Алгоритм для розрахунку NDVI був розроблений ще в 1973 році доктором Джоном Роузом – директором Центру дистанційного зондування з Техаського університету (The Remote Sensing Center of Texas A&M University) [83].

Нормалізований відносний вегетаційний індекс є одним з найпоширеніших для вирішення задач, що використовують кількісні оцінки рослинного покриву.

NDVI часто використовується в усьому світі для моніторингу посухи, прогнозування сільськогосподарського виробництва, надання допомоги у прогнозуванні зон пожеж та наступальних карт пустелі. NDVI краще для глобального моніторингу рослинності, оскільки він допомагає компенсувати зміни умов освітлення, ухилу поверхні, експозиції та інших зовнішніх факторів. Безпосереднє використання NDVI – це характеристика росту чи сили рослинного покриву, тому у багатьох дослідженнях його порівнювали з

індексом площі листка (LAI) [84], де LAI визначається як площа одностороннього листа на площу ґрунту [85]. Обчислюється за такою формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - \rho}{NIR + \rho}$$

де NIR – відбиток у ближній інфрачервоній області спектра, RED – відбиток у червоній області спектра.

Відповідно до цієї формули щільність рослинності (NDVI) у певній точці зображення дорівнює різниці інтенсивностей відбитого світла в червоному та інфрачервоному діапазонах (табл. 2.2), поділеної на суму цих інтенсивностей.

Таблиця 2.2

Значення коефіцієнту відображення для різних типів об'єктів [86]

Тип об'єкту	Коефіцієнт відображення у червоній області спектра	Коефіцієнт відображення у ближній інфрачервоній області спектра	Значення NDVI
Густа рослинність	0,1	0,5	0,7
Розряджена рослинність	0,1	0,3	0,5
Відкритий ґрунт	0,25	0,3	0,025
Хмари	0,25	0,25	0
Сніг та лід	0,375	0,35	-0,05
Вода	0,02	0,01	-0,25
Штучні матеріали (бетон, асфальт)	0,3	0,1	-0,5

Цей індекс визначає значення від -1,0 до 1,0 (рис. 2.7), що переважно представляють зелень, де негативні значення в основному утворюються з хмар, води та снігу, а значення, близькі до нуля, в основному формуються з каменів і голого ґрунту.

Дуже малі значення (0,1 або менше) функції NDVI відповідають порожнім ділянкам каміння, піску або снігу. Помірні значення (від 0,2 до 0,3)

представляють чагарники та луки, а великі значення (від 0,6 до 0,8) вказують на помірні та тропічні ліси.



Рис. 2.7. Дискретна шкала NDVI [87]

Простіше кажучи, NDVI – це міра стану здоров'я рослин, заснована на тому, як рослина відбиває світло на певних частотах (деякі хвилі поглинаються, інші відбиваються) (рис. 2.8).

Хлорофіл (індикатор здоров'я) сильно поглинає видиме світло, а клітинна структура листя сильно відбиває ближнє інфрачервоне світло. Коли рослина стає зневодненою, хворою, ураженою хворобами і т.д. Губчастий шар руйнується, і рослина поглинає більше ближнього інфрачервоного світла, а не відбиває його. Таким чином, спостереження за тим, як змінюється NIR у порівнянні з червоним світлом, дає точне уявлення про наявність хлорофілу, що корелює зі здоров'ям рослин.

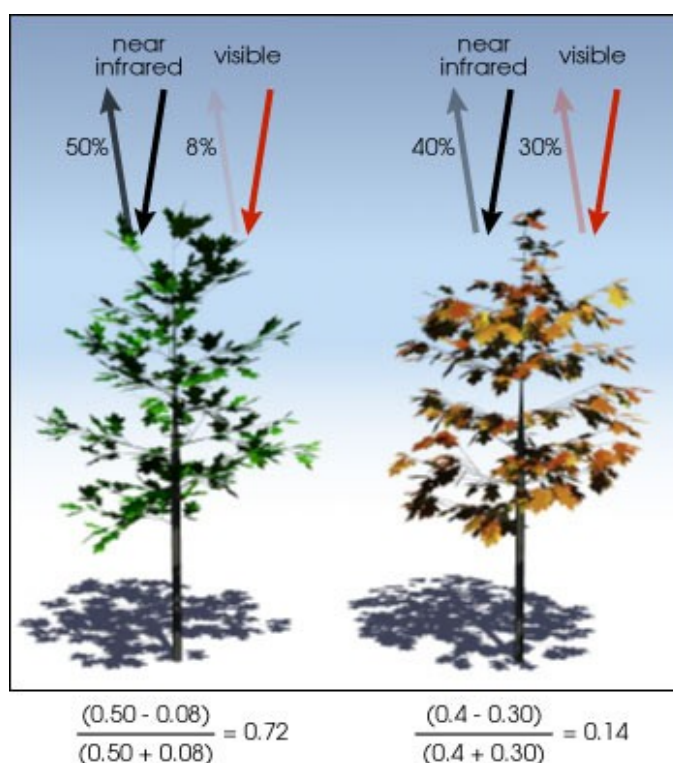


Рис. 2.8. Приклад відображення світла в різних діапазонах хвиль [88]

Крім цього індексу використовуються інші індекси, хоча практично всі з них засновані на даних про індекс NDVI. Вегетаційні індекси, або індекси стану

наземної рослинності, мають низку істотних переваг перед даними приземних метеорологічних спостережень. По-перше, в даний час дані супутникового зондування покривають практично всю поверхню земної кулі і мають високий просторовий дозвіл. Ряди даних супутникового зондування вже досить тривалі – з 1982 року до теперішнього часу. Наразі просторове вирішення даних супутникового зондування стосовно завдань агрометеорологічного характеру доведено до кількох десятків метрів. По-друге, багато вегетаційних індексів є акумулятивними показниками, що відображають інтегральну динаміку інтегральних показників розвитку рослинності.

Можна відзначити і те, що вегетаційні індекси, що характеризують рівень «зеленості» рослинності, стійкі до короткочасних аномалій метеорологічних факторів. По-третє, для вегетаційних індексів прийнято величину тимчасового опосередкування за один тиждень, тоді як більшість із доступних метеорологічних показників є помісячно опосередкованими характеристиками. Слід зауважити, що до цього часу ряди вегетаційних індексів ще не такі тривалі і можуть містити деякі похибки, пов'язані з використанням складної супутникової апаратури – високоточних радіометрів, схильних до так званого «дроп-ефекту». У зв'язку з цим супутники доводиться досить часто оновлювати.

EVI (Enhanced Vegetation Index) – удосконалений вегетаційний індекс. Розроблено як покращення NDVI шляхом оптимізації сигналу рослинності в областях із високим індексом листової поверхні (LAI). Індекс використовує синю область відображення для корекції фонових сигналів ґрунту та зменшення атмосферних впливів, у тому числі аерозольного розсіювання. Найбільш корисний у регіонах із високим рівнем LAI, де NDVI може перенасичуватися. Значення EVI для вегетаційних пікселів повинні знаходитися в діапазоні від 0 до 1. Яскраві об'єкти, такі як хмари та білі будівлі, поряд з темними об'єктами, такими як вода, можуть призвести до аномальних значень пікселів у зображенні EVI. Використовується з метою оцінки мінливості розвитку як за умов густого рослинного покриву, так і в умовах розрідженої рослинності.

$$EVI = 2,5 \times \frac{(NIR - \lambda)}{(NIR + 6 \times \lambda - 7,5 \times \lambda + 1)}$$

GNDVI (англ. Green Normalized Difference Vegetation Index) – зелений нормалізований відносний вегетаційний індекс. Схожий на NDVI крім того, що він замість червоного спектру вимірює зелений в діапазоні від 0,54 до 0,57 мкм. Це показник фотосинтетичної активності рослинного покриву, що найчастіше використовується при оцінці вмісту вологи і концентрації азоту в листі рослин за мультиспектральними даними, у яких відсутній крайній червоний канал. У порівнянні з індексом NDVI більш чутливий до концентрації хлорофілу. Застосовується при оцінці пригніченої та старіючої рослинності.

$$GNDVI = \frac{(NIR - \lambda)}{(NIR + \lambda)}$$

CVI (англ. Chlorophyll Vegetation Index) – вегетаційний індекс хлорофілу. Має підвищену чутливість до вмісту хлорофілу у листяному покриві. Використовується з початку до середини циклу росту культур для широкого діапазону ґрунтів та умов посіву шляхом аналізу великого набору синтетичних даних, отриманих з використанням моделі відображення листової поверхні. Підвищена чутливість індексу до концентрації хлорофілу в листі обумовлена ефективною нормалізацією різних значень LAI, отриманих при введенні червоного та зеленого кольорів.

$$CVI = \frac{NIR}{\lambda} \times \frac{\lambda}{\lambda}$$

За своїм просторовим дозволом оптимальним джерелом даних могли б служити значення індексу вегетації, які можна отримати з супутників серії «Landsat». Але спостереження одного і того ж району із супутника «Landsat» можуть проводитися з періодичністю не частіше ніж раз на кілька тижнів, а з урахуванням високої ймовірності закриття земної поверхні хмарним покривом ще рідше. Тому безперервний моніторинг за даними Landsat практично неможливий. Дослідження динаміки рослинного покриву, які проводились у роботі Василевич та ін. [89] показують, що для невеликого тестового полігону за весь теплий сезон року можна отримати лише кілька знімків із супутника

Landsat. Знімки можуть бути віднесені як до періодів високого, так і до періодів низького зволоження, до аномально теплих або аномально холодних періодів. Погодні умови в останній момент спостереження можуть істотно відхиляти значення індексу з його середнього, за вегетаційний сезон, стану. Отже, за знімками, отриманими для різних умов вегетації, неможливо коректно розрахувати багаторічний тренд NDVI.

На прикладі зображень, отриманих за індексами NDVI та із композиційного знімка, можна побачити, що добре розрізняються старі й молоді листяні та хвойні ліси (рис. 2.9), чітко ідентифікуються вирубки, за рослинністю можна простежити різночасовий їх характер.

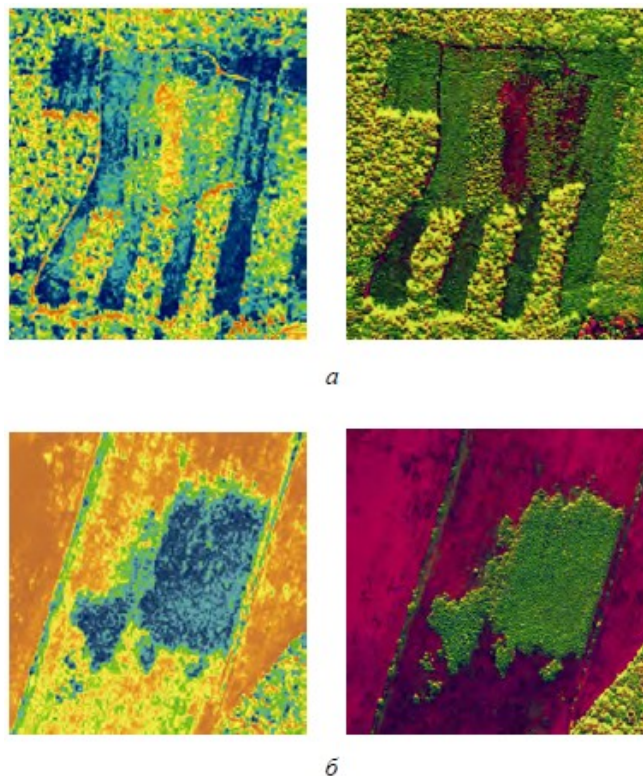


Рис. 2.9. Елементи зображень, отриманих на підставі вегетаційного індексу NDVI і композиційного знімка: а – вирубки лісу; б – ґрунти та лісова рослинність за даними супутника WorldView-2.

### 2.3. Методика організації та проведення польових робіт з моніторингу лісів

При проведенні моніторингу використовуються два основні способи збору даних про стан і забруднення навколишнього середовища: наземний (контактний) і дистанційний (безконтактний). Наземний (контактний) спосіб передбачає проведення безпосередніх дій щодо досліджуваних компонентів довкілля (вимірювань, відбору проб, спостережень та інших.). При цьому дослідник безпосередньо контактує з досліджуваними екосистемами.

Роботи з моніторингу лісів проводяться в другій половині літа, зазвичай у липні-серпні, до початку опадіння та осіннього пожовтіння листя. Польові роботи проводяться в максимально стислий термін, по можливості щороку в один і той же час. Різниця в часі має перевищувати 2 тижнів. Крім того, щорічно обстеження постійного пункту обліку проводиться в одній послідовності.

При проведенні наземного моніторингу проєктують з використанням методів математичної статистики і закладають пробні площі і пункти обліку. У ряді випадків (при необхідності оцінки насаджень на невеликих площах – локальному моніторингу) проводять суцільний моніторинг.

При проведенні моніторингу необхідна єдина методологія, що включає в собі [6]:

- відпрацьовані методи отримання об'єктивної і різноманітної інформації про стан навколишнього середовища та стан (нормі і відхиленні від норми) основних компонентів екосистем на основі необхідної і достатньої кількості вибірових даних;
- автоматизовані і високотехнологічні методи обробки та аналізу інформації, що дозволяють отримати адекватну оцінку ситуації, що спостерігається;
- можливість прогнозу ситуації, заснованої на використанні апробованих екологічних моделей, що описують реакцію і поведінку основних компонентів лісових екосистем під тиском спостережуваних і обставин, що змінюються;



– можливість прийняття обґрунтованих рішень різних типів, масштабів і категорій залежно (від законодавчих і управлінських до економічних і технологічних) на основі використання еколого-економічних критеріїв і апробованих для різних ситуацій і рівнів алгоритмів;

– розробку механізму обов'язкового виконання прийнятих рішень, аналіз їх результативності та можливість швидкої реакції і обґрунтованих поправок до рішень з метою їх адаптації до мінливих ситуацій.

Тільки при дотриманні зазначених умов моніторинг стану лісових насаджень може розглядатися як система контролю, що забезпечує сталий розвиток і збереження природних територій.

Основою моніторингу є матеріали лісовпорядкування та державної інвентаризації лісів, вони забезпечують актуальну інформацію про ліси, їх породному складі і структурі, кількісному і якісному стані. Зіставлення наявних матеріалів різних років дозволяє встановлювати зміни, що відбуваються на територіях будь-яких розмірів.

Весь цикл біогеоценологічних досліджень в лісах умовно можна розділити на чотири етапи: попередній, початковий, основний і додатковий [7].

Попередній етап включає вибір об'єктів. Цей цикл робіт передбачає ознайомлення з картографічними і лісовпорядкованими матеріалами і маршрутне обстеження намічених ключових ділянок, з числа яких і вибираються об'єкти досліджень. При попередньому етапі досліджень збираються відомості про характеристику природних умов району досліджень, режимах господарства в теперішньому і минулому.

Початковий етап – це проведення комплексу лісо-таксаційних робіт: закладка постійних і тимчасових пробних площ.

Основний етап включає комплекс робіт, пов'язаних з отриманням кількісних оцінок окремих сторін біогеоценологічного процесу і взаємодій компонентів біогеоценозу (всілякі види обліку, пов'язані з виразом оцінок на площу деревостану, підліску, підросту і т.д.).

Додатковий етап включає екологічні роботи, що стосуються вивчення потреб порід-едифікаторів в ставленні до провідних факторів середовища (наприклад, аналіз структури продуктивності деревостанів за класами росту дерев і за ступенями товщини, щоб обґрунтувати інтенсивність рубок догляду; вивчення динаміки приросту стовбурної деревини в залежно від циклічності погодних умов; дослідження стимулювання мінералізації лісової підстилки за допомогою внесення хімічних речовин і т.д.) [8].

За станом лісових насаджень слідкують, використовуючи як наземний транспорт, так і вежі, оснащені звичайними камерами відеоспостереження і спеціальними, що мають датчики інфрачервоного випромінювання. Камери здійснюють стеження в автоматичному режимі цілодобово протягом необхідного часу (в пожежонебезпечний період). Фіксується інформація передається для обробки диспетчером в спеціальний пункт прийому даних. При організації моніторингу даними способом необхідно визначити необхідну для ефективної роботи кількість точок спостереження, забезпечених електроенергією [9].

Найвідповідальнішою роботою в польових дослідженнях є визначення ступеня дефоліації (втрати хвої чи листя), і навіть ступеня дехромації (зміна кольору – пожовтіння, побуріння) облікових дерев. Дехромація, як і дефоліація, обумовлюється багатьма факторами, такими як забруднення повітря, нестача поживних елементів, ентомологічні пошкодження, хвороби, заморозки, посухи та ін.

Наприклад у ялини європейської розрізняють 3 типи розгалуження: гребінчасте, щіткоподібне, пластинчастоподібне і 4 типи дефоліації:

- 1) дефоліація на кшталт «модрини». Втрата хвої починається всередині крони на межі верхньої та середньої її третини з поступовим переходом у нижню частину крони. Ушкодження ялинки з гребінчастоподібним розгалуженням особливо помітні внаслідок відсутності хвої на уражених звисаючих гілках і вищих порядків. У разі сильнішої дефоліації насамперед опадає хвоя з гілок другого та вищих порядків;

2) підвершинний тип дефоліації. Розріджені ділянки крони з'являються нижче за повністю охоплені вершини незалежно від типу розгалуження. У нижній частині крони охоплення залишається густішим, але на сильно пошкоджених деревах дефоліація спостерігається по всій кроні;

3) суховершинний тип. Зазвичай сильніша дефоліація спостерігається в освітлених частинах крони. В результаті вершина усихає, а нижні гілки продовжують зростання. Цей тип пошкодження може викликатися також опеньком та кореневою губкою;

4) периферійна дефоліація. В цьому випадку втрата хвої відбувається рівномірно по всій кроні з поступовим її усиханням.

Існує узагальнена шкала визначення ступеня ослаблення дерев (табл. 2.3).

Таблиця 2.3.

#### Шкала оцінки ступеня пошкодження дерев ялинки

Клас пошкодження	Вік хвої, роки	Приріст гілок у висоту	Наявність сухих гілок	Маса, розміри хвої
0	7-12	Нормальний	Відсутні	Нормальне
1	5-10	Майже нормальний	Відсутні	Нормальне
2	3-5	Знижений	Зустрічаються	Нормальне
3	1-4	Помітно знижений	Багато	Сильно зменшені
4	1-2	Сильно знижений або без приросту	Дуже багато або крона усохла	Недорозвинена хвоя або відсутня

Сосна характеризується відносно рівномірним знехвоєнням крони, хоча найбільш наочне уявлення про ступінь ушкодження, особливо в молодому віці, дає стан її верхньої частини. Розрізняють 2 типи дефоліації: регулярний та суховершинний типи. Густина крони дерев старшого віку оцінюється по бічній поверхні крон з використанням наступної шкали:

- густа – 25%;
- середньої густоти – 25-50%;
- рідкісна – понад 50% просвітів.

Для листяних порід та модрини застосовується наступна шкала:

- 0 – без зовнішніх ознак пошкодження;
- 1 – на окремих гілках крони спостерігається зменшення розмірів асиміляційного апарату, поодинокі поява слабких некрозів по краях листя у верхній частині крони;
- 2 – спостерігається зменшення розмірів асиміляційного апарату у верхній частині крони або по всій кроні; сухих гілок немає; поодинокі поява слабких некрозів по краях листя у верхній частині крони;
- 3 – сильне зменшення розмірів асиміляційного апарату; поява некрозів по краях листової пластинки у верхній частині або по всій кроні;
- 4 – дуже сильно зменшені розміри листя; часті некрози; багато сухих гілок у кроні.

Оцінка дефоліації. Дефоліація є результатом негативного впливу забруднення довкілля та інших абіотичних чи біотичних чинників. Оцінюючи дефоліацію слід враховувати форму крони, типи розгалуження (особливо ялини), наявність «вікон» у кроні.

У ялиці іноді утворюються так звані «лелекові гнізда» (тупі з поглибленнями вершини і рясна поява хвої у верхній частині крони). Оцінюючи дефоліацію слід також враховувати омелу (*Viscum album* L.). Рясна її поява на деревах може вплинути на результати визначення дефоліації.

Оцінку дефоліації проводять два фахівці з допомогою бінокля з різних боків дерева. Оцінка дефоліації в рівнинних умовах проводиться з відстані, що дорівнює висоті дерева. У гірській місцевості оцінку дефоліації рекомендується робити зверху, таким чином, щоб дерева розташовувалися більш-менш на одній висоті по ізолінії.

До дерев, що зростають ближче до галявин лісу, застосовуються більш жорсткі вимоги, ніж до зростаючих всередині насадження, оскільки у перших більш сприятливі умови для утворення та розвитку асиміляційного апарату.

При оцінці дефоліації слід звертати увагу і на товщину сучків: товсті сучки зазвичай рідкіші, тому крона здається ажурнішою, що може призвести до завищення ступеня дефоліації. Облік світлового фактора в структурі пологу та класу дерев завжди треба мати на увазі при віднесенні до того чи іншого ступеня пошкодження за приростом, дефоліацією, сучковатістю, наявністю сухого сучча тощо.

Втрата хвої в результаті механічної дії на дерево (охолодження, об'їдання) не зараховується до загального відсотка дефоліації. Дефоліація визначається з 5-10% точністю для верхньої 1/3 частини крони і для всієї крони.

Для оцінки ступеня дефоліації (хвої чи листя) застосовується наступна шкала (табл. 2.4).

Таблиця 2.4.

#### Класи пошкодження дерев за ступенем дефоліації крон

Клас пошкодження	Ступінь дефоліації крони (втрати хвої, листя), %
0	<10%
1	11-25%
2	26-50%
3	51-75%
4	Більше 75%

Оцінка дехромації. Пожовтіння або побуріння асиміляційного апарату дерев можуть викликати різні причини (загазованість, порушення режиму харчування, шкідники, грибні хвороби, старіння хвої або листя та інші).

Пожовкла або побуріла хвоя та листя не відновлюється і з часом опадає. Сильне пожовтіння хвої зазвичай є наслідком нестачі магнію. У сосни пожовтіння хвої проявляється рідше, ніж у ялини або ялиці.

Дехромація точніше визначається у сонячну погоду. Забороняється визначати дехромацію проти сонця та без біноклів.

Для оцінки ступеня дехромації хвої чи листя застосовується наступна шкала (табл. 2.5).

Таблиця 2.5.

#### Класи пошкодження дерев за ступенем дехромації крон

Клас пошкодження	Ступінь дехромації крони, %
0	<10%
1	11-25%
2	26-60%
3	61-99%
4	100%

Під час проведення польових робіт у точках моніторингу в насадженнях старших 60 років, зі стовбурів 10 облікових дерев буравом Пресслера, на висоті 1,3 м від кореневої шийки, за двома напрямками (північному та південному) висвердлюються циліндричні зразки деревини – керни. На кожному керне олівцем записується номер дерева із зазначенням напрямку (дерево N 1, північ; дерево N 2, південь).

За відсутності старих дерев у пункті дослідження підбираються відповідні у радіусі до 200 м. У цьому випадку заповнюється спеціальна накладна записка. Отвори від кернів затикаються гілочками.

Керни кожного облікового дерева або завертають у папір, або поміщають у спеціальні пластмасові циліндри. Камеральна обробка матеріалу проводиться

за методиками, що застосовуються у дендрокліматологічних дослідженнях, з використанням наявних дендрохронологічних серій радіального приросту.

## Висновки до розділу 2

Проведено опис об'єкту дослідження, охарактеризовано досліджувані території. Визначено основні проблеми лісових ресурсів України. Наведено динаміку відтворення лісів за останні 10 років, на основі якої можна зробити висновок що починаючи з 2017 року простежується чітка тенденція зниження кількості площ охоплених роботами. Відповідно до цієї динаміки, можна спрогнозувати подальше зменшення показників. Досліджено динаміку кількості випадків та обсягів незаконних рубок, яка свідчить про збільшення обсягів незаконних рубок у 2019 році в порівнянні з минулими роками, що у свою чергу пов'язано з проведенням комплексних аудитів в лісогосподарських підприємствах, які дозволили виявити масштабні незаконні рубки які здійснювались протягом попередніх років.

Виявлено, що для території України характерним є 1 рівень (екстенсивний рівень) моніторингу, що зумовлює необхідність поступового переходу до інтенсивного моніторингу стану лісів, зокрема в екологічно неблагополучних регіонах.

Узагальнено основні вегетаційні індекси, які використовуються для дослідження якості рослинності лісових насаджень. Для подальшого аналізу відібрано нормалізований диференційований вегетаційний індекс рослинності (NDVI) для оцінки стану лісового покриву.

Досліджено методику проведення наземного (контактного) способу моніторингу лісів, який передбачає проведення безпосередніх дій щодо досліджуваних компонентів довкілля (вимірювань, відбору проб, спостережень та інших.).

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

#### 3.1. Розрахунок нормалізованого диференційованого вегетаційного індексу

Одним з важливих завдань дистанційного зондування є дослідження параметрів рослинного покриву. Запаси надземної фітомаси рослинності є одним із важливих параметрів рослинності, який може визначатися за багатозональними космічними знімками. Для вирішення цього завдання знаходяться взаємозв'язки між даними дистанційних спостережень та параметрами рослинного покриву, отриманими в польових умовах. Аналіз літератури показує, що значення вегетаційного індексу, що визначаються як відношення яскравостей у двох діапазонах знімка (червоний та інфрачервоний), корелюють з кількістю біомаси рослинності [98, 99, 100].

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований відносний індекс рослинності – кількісний показник кількості фотосинтетично активної біомаси. У червоній області спектра (0,6-0,7 мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом вищих судинних рослин, а в інфрачервоній області (0,7-1,0 мкм) знаходиться область максимального відображення клітинних структур листка. Тобто, висока фотосинтетична активність (пов'язана, як правило, з густою рослинністю), веде до меншого відображення у червоній області спектру та більшого в інфрачервоній.

Для об'єктів даного дослідження було обрано наступні території:

- Українські Карпати, що характеризуються значною лісистістю (42%);
- Південно-східна частина Криму, яка налічує 10,2% від загального обсягу територій України вкритих лісовими насадженнями;
- степова зона, з загальним відсотком лісистості 5,3,



Об'єкти дослідження: природний заповідник Горгани, Карадазький природний заповідник, штучно створений Великоанадольський ліс.

NDVI лісів напряму залежить від клімату, який змінюється у просторі. Клімат Горган континентально-європейський. Він характеризується переходом від прохолодної до холодної зони. Найвищі середні показники температури досягають  $+16,4^{\circ}\text{C}$ . Річна кількість опадів – 853-1007 міліметрів. У межах кліматичного районування Криму територія Карадазького заповідника відноситься до південно-східного кліматичного району, який характеризується як дуже посушливий, спекотний, з дуже м'якою зимою. Середня багаторічна річна температура повітря Карадагу становить  $12,1^{\circ}\text{C}$ . Найбільш висока вологість повітря на Карадазі спостерігається в холодну пору року – з листопада по березень (72-77%), найменша характерна для найспекотнішого періоду – липня-серпня (56-58%). Клімат території Великоанадольського лісу помірно сухий із вираженими рисами континентальності. Опадів випадає на рік близько 400 міліметрів, переважна більшість їх припадає на зливи літнього періоду. Середньорічна температура –  $7,1^{\circ}\text{C}$ . Характерна риса Великоанадоля – високі добові амплітуди коливань температури.

Як вихідні дані для проведення досліджень використовувалися знімки супутників Landstat з просторовою роздільною здатністю 1 км для території природного заповідника Горгани, і 0,5 км для територій Великоанадольського лісу та Карадазького природного заповідника, за вегатаційні сезони (березень-серпень) 2014-2021.

На основі супутникових знімків (рис. 3.1), отриманих за допомогою програми EO BROWSER, для кожного об'єкту були сформовані гістограми розподілу показників (рис 3.2).

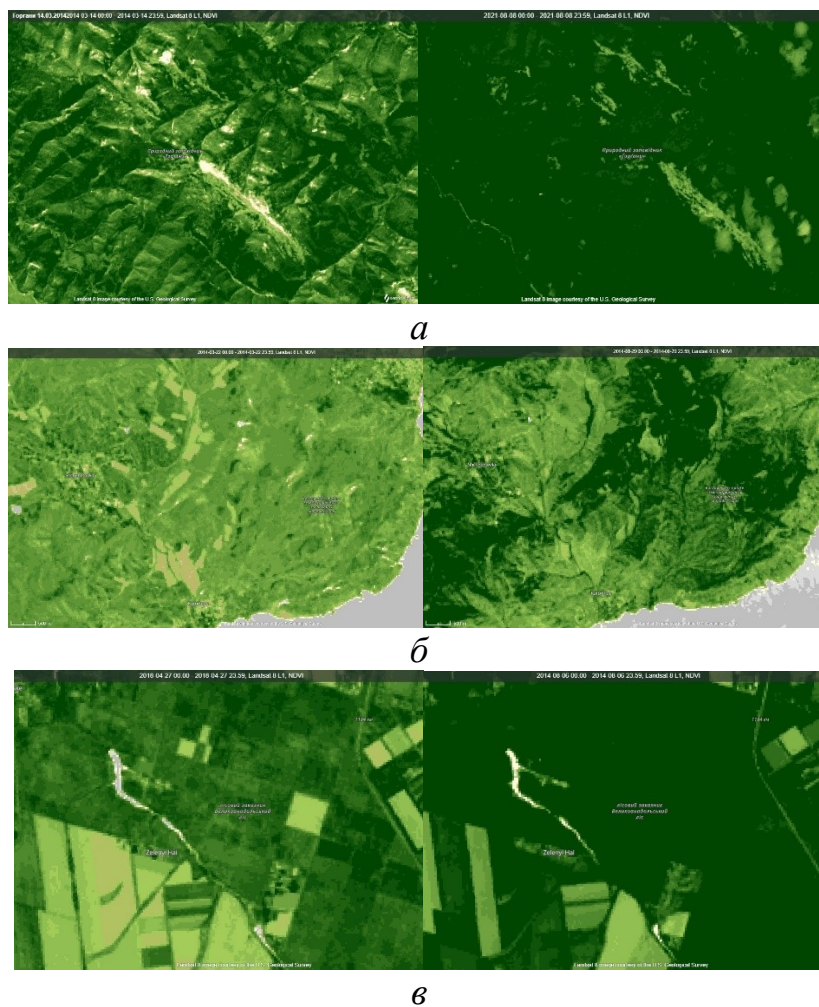


Рис. 3.1. Супутникові знімки, отримані на підставі вегетаційного індексу NDVI: а – природний заповідник Горгани, б – Карадазький природний заповідник, в – Великоанаодольський ліс.

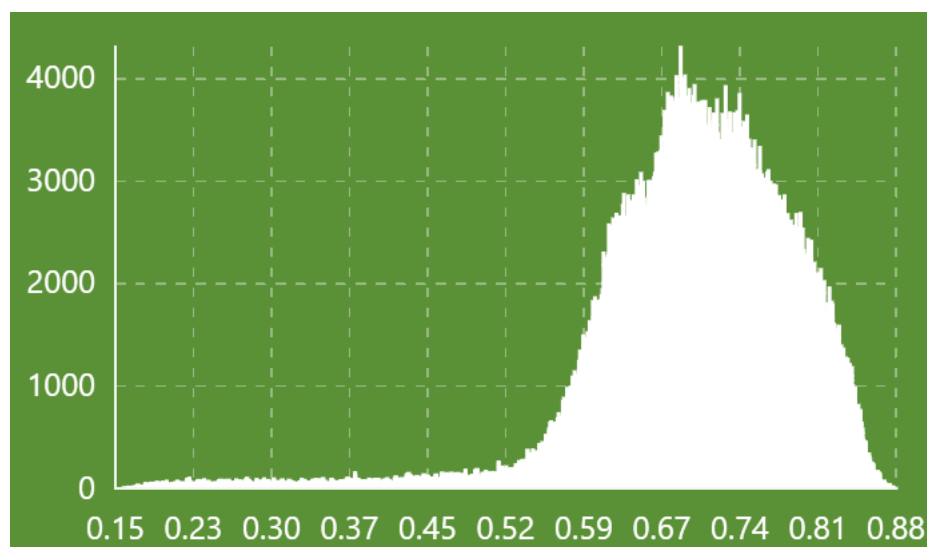


Рис. 3.2. Гістограма розподілу показників NDVI для території природного заповідника Горгани

Результати розрахунків значень NDVI для природного заповідника Горгани за період 2014-2021 р.р. наведені у таблиці (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Індекси NDVI для територій природного заповідника Горгани (2014-2021)

Дата	Мінімальне значення NDVI	Максимальне значення NDVI	Середнє значення NDVI	Домінуюче значення індексу NDVI
14.03.2014	0,07	0,74	0,41	0,57
08.04.2014	0,14	0,72	0,43	0,56
26.05.2014	0,15	0,85	0,50	0,64
11.06.2014	0,15	0,88	0,52	0,69
13.07.2014	0,14	0,86	0,50	0,67
14.08.2014	0,14	0,86	0,50	0,63
17.03.2015	0,12	0,71	0,42	0,54
11.04.2015	0,11	0,76	0,44	0,61
20.05.2015	0,14	0,86	0,50	0,68
05.06.2015	0,16	0,88	0,52	0,62
16.07.2015	0,15	0,89	0,52	0,69
24.08.2015	0,08	0,84	0,46	0,67
03.03.2016	0,05	0,74	0,40	0,50
26.08.2016	0,20	0,87	0,54	0,73
31.03.2017	0,03	0,79	0,41	0,59
07.04.2017	0,14	0,72	0,43	0,56
18.05.2017	0,15	0,85	0,50	0,64
03.06.2017	0,14	0,87	0,51	0,69
21.07.2017	0,09	0,84	0,47	0,62
22.08.2017	0,15	0,88	0,52	0,69

## Продовження таблиці 3.1

25.03.2018	0,03	0,72	0,38	0,56
19.04.2018	0,04	0,76	0,40	0,58
12.05.2018	0,15	0,85	0,50	0,64
06.06.2018	0,06	0,87	0,47	0,63
09.08.2018	0,11	0,86	0,49	0,67
12.03.2019	0,05	0,74	0,40	0,50
06.04.2019	0,04	0,75	0,40	0,31
08.05.2019	0,11	0,86	0,49	0,67
16.06.2019	0,07	0,84	0,46	0,62
27.07.2019	0,20	0,87	0,54	0,73
12.08.2019	0,05	0,86	0,46	0,69
14.03.2020	0,05	0,74	0,40	0,52
08.04.2020	0,10	0,75	0,43	0,59
10.05.2020	0,15	0,85	0,50	0,64
27.06.2020	0,07	0,84	0,46	0,65
11.07.2020	0,14	0,72	0,43	0,56
30.08.2020	0,10	0,86	0,48	0,69
26.03.2021	0,07	0,77	0,42	0,51
11.04.2021	0,11	0,86	0,49	0,65
04.05.2021	0,11	0,84	0,48	0,66
30.06.2021	0,15	0,85	0,50	0,64
16.07.2021	0,14	0,77	0,46	0,46
08.08.2021	0,19	0,86	0,53	0,69

Максимальні значення NDVI коливаються в діапазоні від 0,71 (17 березня 2015 року) до 0,89 (16 липня 2015 року). Мінімальні значення NDVI коливаються в діапазоні від 0,03 (31 березня 2017 року) до 0,2 (26 серпня 2016 року; 27 липня 2019 року). Варто відмітити, що максимальні та мінімальні

значення NDVI не відображають ситуацію в цілому, а лише фіксують максимальне та мінімальне значення інформації, яка присутня в пікселі, для якого і виробляється розрахунок. Більш об'єктивну ситуацію показує розподіл середніх значень NDVI по розглянутим датам. Середні значення NDVI коливаються в діапазоні від 0,38 (25 березня 2018 року) до 0,54 (26 серпня 2016 року; 27 липня 2017).

Найбільші домінуючі за площею значення NDVI приходяться на знімки від 26 серпня 2016 року, та 27 липня 2019, коли на більшій частині території заповіднику значення NDVI досягають 0,73.

За отриманими даними, з метою відстеження динаміки змін та аналізу значень за періодами, було сформовано діаграму (рис.3.3). Дослідивши діаграму, можна зробити висновок:

- рослинність території перебуває в діапазоні оптимальних значеннях здорової рослинності;
- найбільші значення індексу переважають у 3 періоді дослідження (серпень).

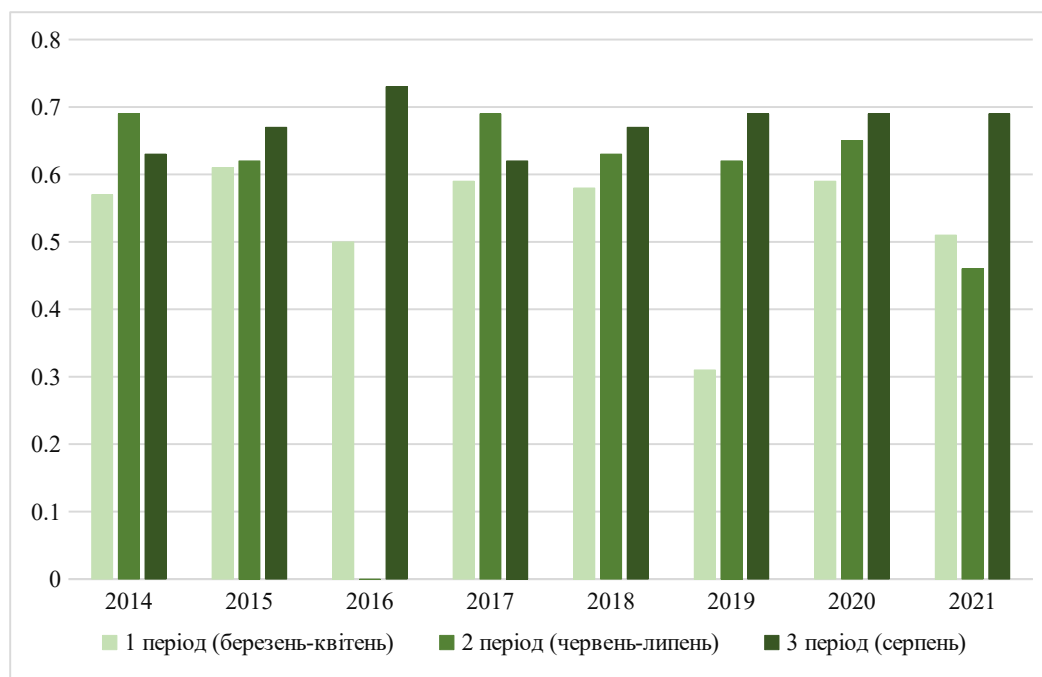


Рис. 3.3. Динаміка індексів NDVI для територій природного заповідника Горгани за періодами вегетації (2014-2021)

У таблиці (табл. 3.2) наведені результати розрахунків значень NDVI для Карадазького природного заповідника за період 2014-2021 р.р.

Таблиця 3.2

Індекси NDVI для територій Карадазького природного заповідника (2014-2021)

Дата	Мінімальне значення NDVI	Максимальне значення NDVI	Середнє значення NDVI	Домінуюче значення індексу NDVI
22.03.2014	0,01	0,67	0,34	0,57
15.04.2014	0,09	0,63	0,36	0,59
25.05.2014	0,11	0,54	0,33	0,54
22.06.2014	0,1	0,55	0,33	0,6
29.08.2014	0,07	0,8	0,44	0,64
25.03.2015	0,07	0,7	0,39	0,69
27.04.2015	0,03	0,56	0,30	0,52
12.05.2015	0,05	0,81	0,43	0,67
13.07.2015	0,12	0,84	0,48	0,72
09.08.2015	0,1	0,81	0,46	0,63
20.03.2016	0,13	0,72	0,43	0,54
15.04.2016	0,09	0,75	0,42	0,6
14.05.2016	0,05	0,83	0,44	0,65
17.06.2016	0,09	0,79	0,44	0,66
18.08.2016	0,1	0,75	0,43	0,68
23.03.2017	0,03	0,62	0,33	0,62
13.04.2017	0,07	0,65	0,36	0,62
26.05.2017	0,09	0,84	0,47	0,69
15.07.2017	0,08	0,83	0,46	0,68
21.08.2017	0,07	0,81	0,44	0,67
01.03.2018	0,04	0,59	0,32	0,5
27.04.2018	0,09	0,61	0,35	0,58

## Продовження таблиці 3.2

13.05.2018	0,11	0,82	0,47	0,73
26.07.2018	0,15	0,8	0,48	0,7
17.08.2018	0,09	0,74	0,42	0,59
07.03.2019	0,1	0,66	0,38	0,55
05.04.2019	0,05	0,74	0,40	0,56
23.05.2019	0,14	0,84	0,49	0,64
08.07.2019	0,13	0,85	0,49	0,67
27.08.2019	0,16	0,79	0,48	0,69
31.03.2020	0,08	0,58	0,33	0,62
22.05.2020	0,1	0,63	0,37	0,57
02.05.2020	0,11	0,71	0,41	0,69
17.06.2020	0,12	0,77	0,45	0,55
29.08.2020	0,1	0,79	0,45	0,56
02.03.2021	0,07	0,68	0,38	0,58
20.04.2021	0,09	0,74	0,42	0,6
21.05.2021	0,1	0,79	0,45	0,64
16.07.2021	0,11	0,8	0,46	0,65
25.08.2021	0,14	0,75	0,45	0,63

Максимальні значення NDVI для даного об'єкту коливаються в діапазоні від 0,54 (25 травня 2014 року) до 0,85 (08 липня 2019 року). Мінімальні значення NDVI коливаються в діапазоні від 0,01 (22 березня 2014 року) до 0,16 (27 серпня 2019 року). У даному випадку максимальні та мінімальні значення NDVI не відображають ситуацію в цілому, а лише фіксують максимальне та мінімальне значення інформації, яка присутня в пікселі, для якого і виробляється розрахунок. Більш об'єктивну ситуацію показує розподіл середніх значень NDVI по розглянутим датам. Середні значення NDVI коливаються в діапазоні від 0,30 (07 квітня 2015 року) до 0,49 (23 травня 2017, 08 липня 2019 року).

Найбільші домінуючі за площею значення NDVI приходяться на знімки від 13 травня 2018 року, коли на більшій частині території заповіднику значення NDVI досягають 0,73.

– За отриманими даними, з метою відстеження динаміки змін та аналізу значень за періодами, було сформовано діаграму (рис.3.4). Дослідивши діаграму, можна зробити висновок:

– рослинність території перебуває в діапазоні оптимальних значеннях здорової рослинності;

– найбільші значення індексу переважають у 2 період дослідження (червень-липень), що напряму пов'язано з достатньою кількістю опадів.

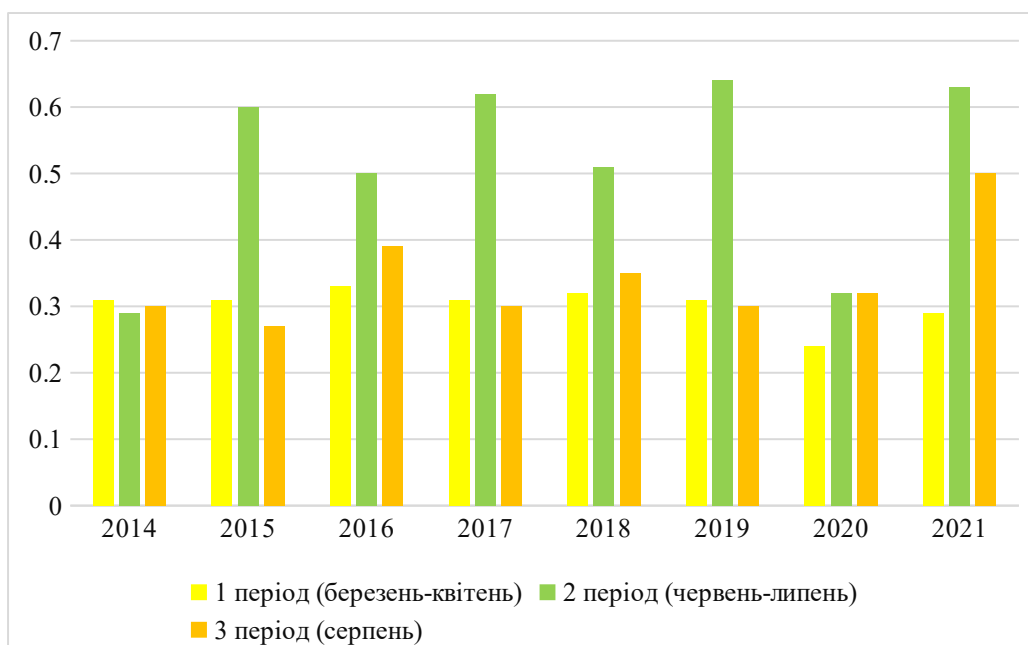


Рис. 3.4. Динаміка індексів NDVI для територій Карадазького природного заповідника за періодами вегетації (2014-2021)

У таблиці (табл. 3.3) наведені результати розрахунків значень NDVI для територій Карадазького природного заповідника за період 2014-2021 р.р.

Таблиця 3.3

Індекси NDVI для територій Великоанадольського лісу (2014-2021)

Дата	Мінімальне значення NDVI	Максимальне значення NDVI	Середнє значення NDVI	Домінуюче значення індексу NDVI



## Продовження таблиці 3.3

21.03.2014	0,11	0,79	0,45	0,67
18.05.2014	0,14	0,87	0,51	0,71
21.07.2014	0,21	0,87	0,54	0,79
06.08.2014	0,15	0,83	0,49	0,74
29.03.2015	0,1	0,8	0,45	0,7
21.05.2015	0,13	0,87	0,50	0,8
08.07.2015	0,21	0,85	0,53	0,79
25.08.2015	0,14	0,86	0,50	0,75
19.03.2016	0,08	0,8	0,44	0,69
21.04.2016	0,1	0,79	0,45	0,41
26.07.2016	0,19	0,81	0,50	0,72
11.08.2016	0,12	0,84	0,48	0,75
28.03.2017	0,09	0,81	0,45	0,76
26.05.2017	0,13	0,86	0,50	0,8
15.07.2017	0,15	0,88	0,52	0,79
14.08.2017	0,04	0,81	0,43	0,71
26.03.2018	0,07	0,74	0,41	0,71
27.04.2018	0,11	0,78	0,45	0,19
30.06.2018	0,18	0,84	0,51	0,7
17.08.2018	0,11	0,82	0,47	0,72
23.03.2019	0,12	0,7	0,41	0,5
30.04.2019	0,13	0,72	0,43	0,49
19.07.2019	0,14	0,85	0,50	0,76
20.08.2019	0,2	0,8	0,50	0,7
29.03.2020	0,13	0,74	0,44	0,69
02.05.2020	0,09	0,79	0,44	0,51
05.07.2020	0,19	0,81	0,50	0,74
06.08.2020	0,15	0,83	0,49	0,76

20.03.2021	0,09	0,78	0,44	0,44
05.05.2021	0,1	0,82	0,46	0,47
08.07.2021	0,19	0,87	0,53	0,8
25.08.2021	0,12	0,81	0,47	0,7

На території Великоанадольського лісу максимальні значення NDVI коливаються в діапазоні від 0,7 (23 березня 2019 року) до 0,88 (15 липня 2017 року). Мінімальні значення NDVI коливаються в діапазоні від 0,04 (14 серпня 2017 року) до 0,21 (21 квітня 2014 року). Середні значення NDVI коливаються в діапазоні від 0,41 (26 березня 2018 року) до 0,54 (21 липня 2014 року).

Найбільші домінуючі за площею значення NDVI приходяться на знімки від 08 липня 2015 року та 21 липня 2014, коли на більшій частині території заповіднику значення NDVI досягають 0,79.

За отриманими даними, з метою відстеження динаміки змін та аналізу значень за періодами, було сформовано діаграму (рис.3.5).

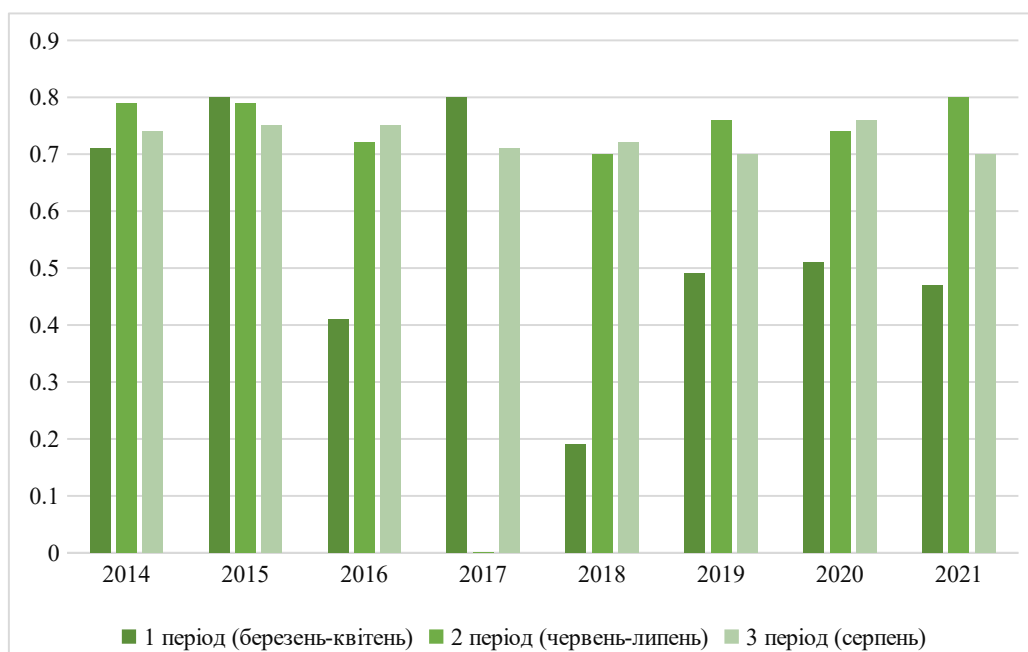


Рис. 3.5. Динаміка індексів NDVI для територій Великоанадольського лісу за періодами вегетації (2014-2021)

Дослідивши діаграму, можна зробити висновок:

- рослинність території перебуває в діапазоні оптимальних значень здорової рослинності;
- середні індекси NDVI є найбільшими серед трьох досліджуваних об'єктів;
- найбільші значення індексу переважають у 2 та 3 періодах дослідження, що вказує на позитивний вплив ступеню зволоженості та температурного режиму даної території.

### **3.2. Дослідження динаміки та прогнозування лісових пожеж**

Лісові пожежі щорічно призводять до загибелі або пошкодження тисячі гектарів лісових насаджень, викиди в атмосферу продуктів горіння, зниження водоохоронних, ґрунтозахисних та інших корисних функцій лісу, знищення фауни, порушення планового ведення лісового господарства та використання лісових ресурсів. На гасіння лісових пожеж, які вдалося ліквідувати у початковій стадії їх розвитку, щорічно залучається велика кількість населення, робітників і службовців, техніки.

Нині проблема лісових пожеж торкнулася багатьох країн. Останнє пояснюється тим, що поряд з величезними економічними збитками лісові пожежі створюють загрозу життю та здоров'ю населення. При цьому через глобальну зміну клімату на нашій планеті кількість лісових пожеж та пройдена ними площа мають тенденцію до збільшення.

У таблиці (табл. 3.4) висвітлено дані щодо розподілу лісових ділянок, що знаходяться у відомстві Державного лісового агенства України, в залежності від класів природної пожежної небезпеки за адміністративними областями. Ці дані є характеристикою пожежної небезпеки за кожним регіоном. Площі, що віднесені до I та II класів природної пожежної небезпеки дають змогу оцінювати необхідні обсяги профілактичних протипожежних заходів в області – насамперед шляхом створення мінералізованих протипожежних смуг. Меншою мірою КППН виступає характеристикою ризиків виникнення пожеж

(надзвичайних ситуацій), оскільки є чітко встановлена залежність їх від ступеня охорони, наявності джерел вогню і погодних умов.

Проаналізувавши ці дані, можна зробити висновок, що найвищі значення III класу КППН фіксуються у зонах Київської, Житомирської, Рівненської та Чернігівської областей, де лісовий покрив в основному – соснові ліси, а також області зі значними об'ємами соснових лісів на борових терасах вздовж річок Дніпро та Сіверський Донець (Харківська, Черкаська та Луганська області).

За останні 30 років в Україні регулярно відбувалися великі лісові пожежі, які на тлі багаторічних статистичних даних проявляються у вигляді років пожежних максимумів. Серед таких років варто зазначити лісові пожежі в Криму у 1993 р. (на площі близько 600 га), Київській, Донецькій, Луганській, Чернігівській областях в 1996 р. (від 0,5 до 8,5 тис. га), Луганській у 1998 р. (понад 1,7 тис. га), Херсонській та Луганській у 1999 р. (від 1,0 до 2,0 тис. га), Херсонській в 2007 р. (близько 7,4 тис. га), на південному макросхилі Кримських гір у районі селища Алушка в 2007 р. (до 1 тис. га), на території зони відчуження Чорнобильської АЕС у 1992 (17,0 тис. га) та 2015 р.р. (14,9 тис. га).

Таблиця 3.4.

## Розподіл площі лісів України за класами природної пожежної небезпеки

Область	Площа лісів		Розподіл площі лісів за класами природної пожежної небезпеки, %					Середній КППН
	тис. га	%	I	II	III	IV	V	
Закарпатська	690,7	7,0	8,7	4,3	37,7	47,9	1,4	3,3
Запорізька	667,5	0,7	14,3	28,5	14,3	14,3	28,6	3,2
Херсонська	177,6	1,8	27,8	11,1	5,6	11,1	44,4	3,2
Одеська	139,2	1,4	7,1	28,6	28,6	7,1	28,6	3,1
Львівська	679,9	6,9	15,9	10,1	31,9	37,8	4,3	3,0
Вінницька	325,1	3,3	6,1	9,1	75,7	6,1	3,0	2,9
Волинська	697,1	7,0	17,1	21,4	21,4	33,0	7,1	2,9
Дніпропетровська	110,9	1,1	18,2	36,3	18,2	9,1	18,2	2,9
Івано-	583,3	5,9	16,7	6,7	43,3	30,0	3,3	2,9

Франківська								
Миколаївська	69,0	0,7	14,3	28,5	14,3	14,3	28,6	2,9
Полтавська	236,1	2,4	12,5	25,0	37,5	16,7	8,3	2,9
Тернопільська	182,8	1,8	11,8	11,8	58,8	17,6	0,0	2,9
Хмельницька	275,3	2,8	11,1	11,1	55,6	18,5	3,7	2,9
Донецька	142,8	1,4	13,3	40,1	20,0	13,3	13,3	2,8
Кіровоградська	124,7	1,3	7,7	23,1	53,8	7,7	7,7	2,8
Чернівецька	257,3	2,6	18,5	3,7	51,9	22,2	3,7	2,8
АР Крим	291,3	2,9	13,3	36,7	30,0	3,3	16,7	2,7
Черкаська	310,8	3,1	12,9	22,6	54,8	6,5	3,2	2,7
Луганська	327,9	3,3	17,6	41,2	11,8	14,7	14,7	2,6
Харківська	333,7	3,4	12,1	33,3	42,4	6,1	6,1	2,6
Чернігівська	659,4	6,7	19,4	34,3	17,9	23,9	4,5	2,6
Житомирська	1099, 3	11,1	28,2	21,8	29,1	19,1	1,8	2,5
Рівненська	852,4	8,6	27,6	20,7	26,5	19,5	5,7	2,5
Київська	736,1	7,4	31,1	27,0	24,3	13,5	4,1	2,3

Згідно з даними Державної служби статистики України, на території лісового фонду країни упродовж 1990-2020 рр. виникло 139,8 тис. пожеж загальною площею 189,2 тис. га. Середня, за останні 28 років, площа однієї пожежі становить 1,3 га. За період незалежності України до 2017 р. включно пожежами пошкоджено 4,7 млн м<sup>3</sup> деревини на корені, або 170 тис. м<sup>3</sup> щорічно. Аналіз багаторічної динаміки пожеж свідчить про те, що лісові пожежі в Україні є явищем сталим.

Багаторічну динаміку лісових пожеж за їхньою площею наведено на рис. 3.6. Ключовим чинником, який визначає пожежну небезпеку в тому чи іншому році, є кількість опадів. Посушливий період від 20 до 40 днів може трапитися у будь-якій частині пожежонебезпечного періоду (квітень, жовтень), проте найчастіше це відбувається у квітні, травні або у серпні, вересні. Україна є

малолісною і, водночас, густонаселеною державою, що зумовлює значну кількість відвідувачів лісів упродовж пожежонебезпечного періоду, а отже постійну наявність джерел вогню в лісах. У посушливі періоди, коли вологість лісових горючих матеріалів знижується до 6-10 %, створюються умови високої небезпеки займання, і саме в такі періоди найчастіше джерела контрольованого вогню (переважно багаття) часто переходять у пожежі. Для дослідження зв'язку площі пожеж із опадами було виконано аналіз багаторічної динаміки кількості опадів із лютого до листопада, за період із 2010 до 2020 р., який свідчить про наявність зв'язку між площею лісових пожеж і кількістю опадів.

У роки пожежних максимумів (2014, 2017, 2020) кількість опадів була нижчою, ніж середнє багаторічне значення за досліджуваний період, і навпаки, у роки із підвищеною кількістю опадів площа пожеж була нижчою порівняно із середньорічним значенням. Проте не у всі роки спостерігається чітка залежність між кількістю опадів та площею пожеж, і це пояснюється впливом інших факторів, які визначають горимість лісів (просторовий розподіл опадів, розподіл інтенсивності випадання, профілактичні заходи із запобігання виникненню та поширенню пожеж, швидкість та ефективність виявлення, реагування тощо).

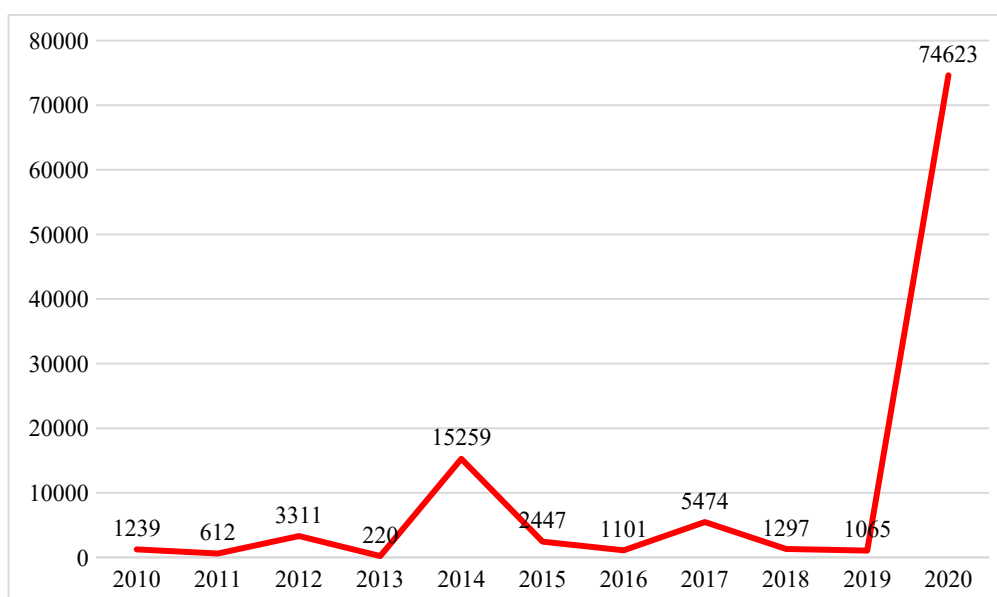


Рис. 3.6 Динаміка площ лісових пожеж, га

У 2020 році лісових масивах вздовж доріг загального користування та у місцях відпочинку населення виставлено 12,2 тис. панно, плакатів на

протипожежну тематику. У засобах масової інформації оприлюднені 7,1 тис. статей і виступів, проведено 22,1 тис. лекцій та бесід про дотримання вимог пожежної безпеки в лісах.

На жаль, ці заходи виявилися недостатніми через масові неконтрольовані сільгосппали та обмеження, які спричиненні бойовими діями на території Луганської області. Значно ускладнила ситуацію зміна клімату та глобальне щорічне потепління, що призвело до збільшення кількості пожеж та розповсюдження їх на значних площах в лісових масивах та екосистемах. За рік у лісах підвідомчих підприємств було ліквідовано понад 2,5 тис лісових пожеж, що охопили площу 74,6 тис. га, із них 19,8 тис. га верхові, у 50 випадках пожежі набули рівня надзвичайної ситуації.

У період 2010-2020 роки спостерігається чітка тенденція до зростання площ великих та особливо великих лісових пожеж з 15,2 тис. га у 2014 р. до 74,6 тис. га у 2020 р. Це свідчить про недостатню готовність лісопожежних служб боротися з великими пожежами і вимагає спеціальних лісопірологічних досліджень та розробки нової стратегії управління пожежами в умовах низького рівня технічної та матеріальної забезпеченості. Недоліком чинної системи охорони лісів від пожеж є однакове матеріальне забезпечення лісопожежних служб та однакова готовність до гасіння пожеж (наприклад посушливі роки) під час середньої та надзвичайної пожежної небезпеки погоди, що в результаті призводить до розвитку катастрофічних пожеж – надзвичайних ситуацій.

Ключовими факторами високої горимості лісів в Україні є брак фінансування лісопожежних служб, недостатньо ефективна міжвідомча взаємодія, недосконале законодавство щодо запобігання виникненню природних пожеж, недостатня теоретична та практична підготовка лісових пожежників та керівників гасіння, а також невиконання відповідних чинних нормативних і законодавчих вимог.

### **3.3. Напрями розвитку екологічного моніторингу лісів**

На сьогоднішній день, досить важливою постає тема якості інформації про ліси. Насамперед це пов'язано з тим, як швидко змінюються національна законодавчо-нормативна база, ратифікацією Україною декількох міжнародних угод, що напряду пов'язані з лісовими ресурсами, а також євроінтеграційною спрямованістю політики держави. Для раціонального ведення лісового господарства та прийняття оптимальних управлінських рішень в галузі охорони довкілля, постає необхідність у актуальній і достовірній інформації про державні ліси, не зважаючи на їх підпорядкування чи форми власності.

Вимоги до інформації щодо лісового господарства зумовлюють необхідність у вдосконаленні систем збору та обробки відповідної інформації, для поліпшення змісту та якості матеріалів лісовпорядкування, а також вимагають проведення розширення системи національного моніторингу лісів.

Зараз, інформаційну основу про ліси становлять дані, отримані завдяки лісовпорядкувальній діяльності, виробничій та статистичній звітності підприємств лісового господарства. Для лісів, що підпорядковуються Державному агентству лісових ресурсів України, лісовим іпорядкуванням було створено базу даних, що включає у собі інформацію про 7,5 млн.га площ лісових насаджень. Інформація з цієї бази постійно оновлюється.

Оновлення даних лісового кадастру та державного обліку лісів відбувається один раз на п'ять років. У той самий час, нові вимоги до інформації про ліси, засновані на ряді національних вимог та міжнародних зобов'язань України передбачають необхідність більш оперативного оновлення даних про ліси, зокрема для:

- формування річного звіту про моніторинг лісів, передбаченої постановою Кабінету Міністрів України №391 від 30 березня 1998 р., підписаною Україною резолюцією конференції Міністрів щодо захисту лісів Європи;



- формування річного звіту до міжнародних Конвенцій, ратифікованих ВРУ (Рамкова конвенція ООН про зміну клімату, Конвенція ООН про збереження біологічного різноманіття);

- підготування національного звіту в рамках міжнародних процесів, до яких приєдналася Україна (лісового форуму ООН, Конференції Міністрів щодо захисту лісів Європи, оцінки лісових ресурсів під егідою FAO).

Для отримання об'єктивної оцінки стану лісових ресурсів та дослідження змін на державному рівні, своєчасного контролювання характеристик лісових насаджень, поліпшення інформаційного забезпечення лісового управління, необхідно проводити розширення системи державного моніторингу лісів.

Над даний момент можна виділити наступні проблеми моніторингу лісів:

- проведення моніторингу відбувається тільки на територіях, що підпорядковані Державному агентству лісових ресурсів України. Приблизно 3,5 млн.га, лісових територій країни не охоплюється моніторингом;

- більшість показників моніторингу, що передбачаються національними та міжнародними вимогами (забруднення лісових територій екзогенними елементами, стан лісових ґрунтів, біорізноманіття лісової рослинності) – не визначаються;

- незадовільний рівень технічного забезпечення у сфері моніторингу лісів, недостатня кількість та відсутність сучасного польового, лабораторно-аналітичного та офісного обладнання;

- проблеми забезпечення якості даних моніторингу лісів, які залежать в першу чергу від того, що до збору інформації на ділянках моніторингу залучені понад 400 осіб, люди, що мають різну кваліфікаційну підготовку, а також недостатнє впровадження програм контролю якості даних моніторингу.

Для вирішення наявної проблематики, можна запропонувати шлях перебудови та посилення системи моніторингу та національної інвентаризації лісів, як єдиної системи збору статистичної інформації про ліси країни. На відміну від лісового впорядкування, що зосереджене на суцільній оцінці лісових площ, основні принципи функціонування національного моніторингу

лісів базуються на статистичних методах вимірювання показників, які характеризують ліси і є поширеними засобами отримання інформації з обліку та контролю стану лісів, що застосовуються у багатьох країнах.

У зв'язку з тим, що наявна законодавча сфера недостатньо чітко позначає необхідність проведення моніторингу лісів, необхідним є удосконалення нормативно-правової бази.

У даному випадку можливо сформулювати наступні варіанти вирішення проблеми. Перший варіант полягає у вдосконаленні наявної системи моніторингу лісів, що у свою чергу зробить можливим покращити інформаційне забезпечення лісового сектору, однак такий варіант не є оптимальним для вирішення проблеми отримання статистично-достовірної та актуальної інформації для лісів усієї країни.

Інший варіант являє собою ідею створення окремої системи національного моніторингу лісів (незалежної від існуючої системи лісового впорядкування), зміни нормативно-законодавчої бази, проведення інституційної розбудови, що дозволить отримувати інформацію про ліси шляхом використання вибірково-статистичних методів, які менш затратні та більш інформативні у порівнянні з діючими методами лісовпорядкування. Цей варіант є доцільним для впровадження за умови фінансування з державного бюджету, бюджетів місцевого рівня та інших джерел, передбачених чинним законодавством.

Для розширення та оновлення моніторингу лісів необхідно:

- змінити інституційні і нормативно-правові аспекти в галузі законодавчого забезпечення проведення моніторингу лісів, включення національного моніторингу лісів до державних цільових програм у лісовому господарстві та охороні довкілля;
- розробити та затвердити на законодавчому рівні поєднані з міжнародними стандартами, національні критерії оцінки лісів та науково-методичні основи проведення польових робіт та аналізу результатів моніторингу лісів;

- готувати кваліфікованих спеціалістів, забезпечувати їх навчання, тренування і забезпечення контролю якості даних;
- поступове проведення моніторингу лісів на території усіх лісів держави.

Національний моніторинг лісів має надавати сучасну та статистично достовірну інформацію про ліси країни та динаміки змін, що відбуваються на їх території. Наявна інформація повинна об'єктивно характеризувати біорізноманіття, стан, продуктивність, пошкодження та відновлення лісів, виконання ними різних функцій (поглинання вуглецю, зміни біорізноманіття лісової рослинності, стан захисту природних екосистем).

В результаті перебудови системи національного моніторингу лісів необхідно запровадити систему регулярних вибіркового досліджень, яка буде надавати статистично достовірну оцінку кількісних та якісних показників стану лісів України. Для досягнення цієї мети необхідно створити окрему структуру для проведення моніторингу лісів. До основних завдань такої структури повинні відноситися проведення національної інвентаризації лісів, моніторингу, а також забезпечення підготовки державного обліку та кадастру лісів. Структура буде отримувати державне фінансування за окремою бюджетною програмою (у разі реалізації програм на обласному рівні, фінансування буде здійснюватися із обласного бюджету). Організаційно вказана структура має представлятися державним (національним) та регіональними центрами в областях.

Моніторинг має послідовно перебудовуватися за принципом «згори до низу», починаючи з національного рівня, який забезпечує країну інформацією про стан лісів або окремих природних зон (державне фінансування), до регіонального та локального рівнів (фінансування на відповідному рівні).

Обов'язковим є впровадження сучасних інформаційних технологій, засобів збору та обробки інформації. Вражаючий розвиток космічних технологій, зокрема, повторюваного супутникового дистанційного зондування в різних просторових і часових масштабах пропонує найбільш економічні

засоби оцінки лісових ресурсів і впливу процесів розвитку. Він забезпечує чудову можливість моніторингу складу лісової екосистеми, впливу господарювання та процесів деградації. Інтегрована інформація, отримана з набору супутникових даних, може допомогти в розробці відповідних планів дій для початку сталого ведення лісового господарства.

Ведення лісового господарства вимагає комплексного підходу. Супутникове дистанційне зондування та географічна інформаційна система (ГІС) демонструють, що разом вони мають потенціал для надання вичерпної інформації для проведення лісового моніторингу. Дані супутникового дистанційного зондування можуть широко використовуватися для картування лісів, у яких відсутні актуальні дані про просторовий розподіл.

Загалом, у результаті проведення робіт з перебудови державної системи моніторингу лісів стає можливим:

- забезпечення держави актуальною інформацією про лісові ресурси;
- підвищення ефективності в сфері управління лісами та прийняття рішень в сфері охорони навколишнього середовища;
- забезпечення проведення контролю ефективності ведення та стратегічного планування розвитку лісового господарства на державному рівні;
- оцінка дотримання головних критеріїв збалансованого лісового господарства (збереження життєздатності лісових насаджень, основних функцій лісу) і досягнення стратегічних цілей лісового господарства.

### **Висновки до розділу 3**

В розділі наведено оцінку стану лісової рослинності за трьома об'єктами (природний заповідник Горгани, Карадазький природний заповідник, штучно створений Великоанадольський ліс) з використанням даних супутникових спостережень Landsat-8 L2 за NDVI, кількісним показником кількості фотосинтетично активної біомаси. Проаналізувавши дані можна стверджувати,

що за трьома об'єктами простежуються оптимальні значення здорової рослинності, максимальні значення індексу спостерігаються у серпні.

Досліджено динаміку лісових пожеж на території країни. Виявлено, що роки пожежних максимумів (2014, 2017, 2020) кількість опадів була нижчою, ніж середнє багаторічне значення за досліджуваний період, і навпаки, у роки із підвищеною кількістю опадів площа пожеж була нижчою порівняно із середньорічним значенням. Визначено, що однією з причин високої горимості лісів в Україні є брак фінансування лісопожежних служб, недостатньо ефективна міжвідомча взаємодія, недосконале законодавство щодо запобігання виникненню природних пожеж, недостатня теоретична та практична підготовка лісових пожежників та керівників гасіння, а також невиконання відповідних чинних нормативних і законодавчих вимог.

Запропоновано шляхи розвитку системи моніторингу лісів, які полягають у вдосконаленні наявної системи моніторингу лісів, що у свою чергу зробить можливим покращити інформаційне забезпечення лісового сектору, створенні окремої системи національного моніторингу лісів, зміни нормативно-правової бази, що дозволить отримувати інформацію про ліси шляхом використання вибірково-статистичних методів, які менш затратні та більш інформативні у порівнянні з діючими методами лісовпорядкування.

## ВИСНОВКИ

Екологічний моніторинг навколишнього середовища являє собою сучасну форму реалізації процесів природоохоронної діяльності з використанням інформаційних технологій, забезпечуючи регулярну оцінку та прогнозування стану навколишнього середовища життя суспільства та умов функціонування екосистем для прийняття управлінських рішень з питань навколишнього середовища безпека, збереження природного середовища та раціональне використання природних ресурсів Моніторинг лісових екосистем можна розглядати як систему нагляду, аналізу і прогнозу динаміки стану лісів під дією різних впливів з метою поліпшення виконання відведених їм функцій.

Одним з основних джерел даних для екологічного моніторингу є матеріали дистанційного зондування. Інформація дистанційного зондування про зростання, силу та динаміку зростання наземної рослинності може дати надзвичайно корисну інформацію для додатків у галузі моніторингу навколишнього середовища, збереження біорізноманіття, сільського господарства, лісового господарства, міської зеленої інфраструктури та інших пов'язаних областях. Доцільність застосування дистанційного моніторингу полягає у виявленні порушень лісового законодавства, оцінці ступеня пошкодження лісової рослинності під впливом природних і антропогенних факторів (викиди забруднюючих речовин та інші негативні процеси), а також виявлення джерел потенційно шкідливого впливу на лісовий фонд. Крім цього, супутникові методи спостереження застосовуються для проведення оцінки загальної лісопатологічної і пожежної ситуації, виявлення і стеження за динамікою лісових пожеж, прогнозування напрямку руху вогню по території і рішення інших завдань моніторингу.

Описано об'єкт дослідження, охарактеризовано досліджувані території. Висвітлено основні проблеми в галузі лісового господарства України. Наведено динаміку відтворення лісів за останні 10 років, на основі якої можна зробити

висновок що починаючи з 2017 року простежується чітка тенденція зниження кількості площ охоплених роботами. Відповідно до цієї динаміки, можна спрогнозувати подальше зменшення показників. Досліджено динаміку кількості випадків та обсягів незаконних рубок, яка свідчить про збільшення обсягів незаконних рубок у 2019 році в порівнянні з минулими роками, що у свою чергу пов'язано з проведенням комплексних аудитів в лісогосподарських підприємствах, які дозволили виявити масштабні незаконні рубки які здійснювались протягом попередніх років.

Узагальнено основні вегетаційні індекси, які використовуються для дослідження якості рослинності лісових насаджень. Для подальшого аналізу відібрано нормалізований диференційований вегетаційний індекс рослинності (NDVI) для оцінки стану лісового покриву. Досліджено методику проведення наземного (контактного) способу моніторингу лісів, який передбачає проведення безпосередніх дій щодо досліджуваних компонентів довкілля (вимірювань, відбору проб, спостережень та інших.).

Оцінку стану лісової рослинності за трьома об'єктами (природний заповідник Горгани, Карадазький природний заповідник, штучно створений Великоанадольський ліс) проведено на основі індексу NDVI. Проаналізувавши дані можна зробити висновок, що за трьома об'єктами простежуються оптимальні значення здорової рослинності, максимальні значення індексу спостерігаються у серпні.

Наведено багаторічну динаміку лісових пожеж за їхньою площею. Виявлено, що роки пожежних максимумів (2014, 2017, 2020) кількість опадів була нижчою, ніж середнє багаторічне значення за досліджуваний період, і навпаки, у роки із підвищеною кількістю опадів площа пожеж була нижчою порівняно із середньорічним значенням.

Запропоновано шляхи розвитку системи моніторингу лісів, які полягають у вдосконаленні наявної системи моніторингу лісів, що у свою чергу зробить можливим покращити інформаційне забезпечення лісового сектору, створенні окремої системи національного моніторингу лісів, зміни нормативно-правової

бази, що дозволить отримувати інформацію про ліси шляхом використання вибірково-статистичних методів, які менш затратні та більш інформативні у порівнянні з діючими методами лісовпорядкування.



**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Положення про державну систему моніторингу довкілля : Постанова від 30 березня 1998 р. N 391. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-%D0%BF>
2. Іванюта С.П. Створення ефективної системи моніторингу довкілля в Україні: проблеми і шляхи їх вирішення. Аналітична записка. Серія «Національна безпека». 2018. № 27. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/2054/>
3. Лабоха, К. В., Юшкевич, М. В. Охрана окружающей среды и мониторинг лесных экосистем: учебное пособие. Минск: БГТУ, 2012. – 170 с.
4. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text>
5. Морозов, А. Е., Стародубцева, Н. И. Экологический мониторинг и контроль состояния и загрязнения атмосферного воздуха: метод. рекомендации. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2019. – 55 с.
6. Мониторинг состояния лесных и городских систем: монография / Под ред. В. С. Шалаева, Е. Г. Мозолева. – М.: МГУЛ, 2004. – 235 с.
7. Программа и методика биогеоценологических исследований / Под редакцией Н. В. Дылиса. – М.: Наука, 1974. – 402 с.
8. Данчева, А. В., Залесов, С. В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения: учеб. пособие. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 152 с.
9. Мониторинг лесных экосистем, 2016. – URL: [http://wood-prom.ru/analitika/14763\\_monitoring-lesnykh-ekosistem](http://wood-prom.ru/analitika/14763_monitoring-lesnykh-ekosistem)
10. Asner G P, Knapp D E, Balaji A and Páez-Acosta G 2009 Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: cLASlite J. Appl. Remote Sens. 3 033543
11. Asner G P, Knapp D E, Broadbent E N, Oliveira P J, Keller M and Silva J N 2005 Selective logging in the Brazilian Amazon Science 310 480–2

12. Souza C Jr and Roberts D 2005a Mapping forest degradation in the Amazon region with Ikonos images *Int. J. Remote Sens.* 26 425–9
13. Souza C M Jr, Roberts D A and Cochrane M A 2005b Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires *Remote Sens. Environ.* 98 329–43
14. Souza C M Jr, Siqueira J V, Sales M H, Fonseca A V, Ribeiro J G, Numata I, Cochrane M A, Barber C P, Roberts D A and Barlow J 2013 Ten-year Landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon *Remote Sens.* 5 5493–513
15. Hett C, Castella J C, Heinimann A, Messerli P and Pfund J L 2012 A landscape mosaics approach for characterizing swidden systems from a REDD+ perspective *Appl. Geogr.* 32 608–18
16. Ryan C M, Berry N J and Joshi N 2014 Quantifying the causes of deforestation and degradation and creating transparent REDD+ baselines: A method and case study from central Mozambique *Appl. Geogr.* 53 45–54
17. Ryan C M, Hill T, Woollen E, Ghee C, Mitchard E, Cassells G, Grace J, Woodhouse I H and Williams M 2012 Quantifying small-scale deforestation and forest degradation in African woodlands using radar imagery *Global Change Biol.* 18 243–57
18. Mitchell A L, Rosenqvist A and Mora B 2017 Current remote sensing approaches to monitoring forest degradation in support of countries measure, reporting and verification (MRV) systems for REDD+ *Carbon Balance Manage.* 12 1–9
19. Dupuis C, Lejeune P, Michez A and Fayolle A 2020 How can remote sensing help monitor tropical moist forest degradation? – a systematic review *Remote Sens.* 12 1087
20. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abaad7>
21. Nandy S, Kushwaha S P S and Dadhwal V K 2011 Forest degradation assessment in the upper catchment of the river Tons using remote sensing and GIS *Ecol. Indic.* 11 509–13

22. Shearman P L, Ash J, Mackey B, Bryan J E and Lokes B 2009 Forest conversion and degradation in Papua New Guinea 1972–2002 *Biotropica* 41 379–90
23. Miettinen J, Stibig H J and Achard F 2014 Remote sensing of forest degradation in Southeast Asia-aiming for a regional view through 5-30m satellite data *Global Ecol. Conserv.* 2 24–36
24. Miettinen J and Liew S C 2010 Status of peatland degradation and development in Sumatra and Kalimantan *Ambio* 39 394–401
25. Hall R J, Castilla G, White J C, Cooke B J and Skakun R S 2016 Remote sensing of forest pest damage: a review and lessons learned from a Canadian perspective *Can. Entomol.* 148 S296–S356
26. Senf C, Seidl R and Hostert P 2017 Remote sensing of forest insect disturbances: current state and future directions *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 60 49–60
27. Eklundh L, Johansson T and Solberg S 2009 Mapping insect defoliation in scots pine with MODIS time-series data *Remote Sens. Environ.* 113 1566–73
28. Cohen W B, Yang Z and Kennedy R 2010 Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly time series: 2. TimeSync-tools for calibration and validation *Remote Sens. Environ.* 114 2911–24
29. Dennison P E, Brunelle A R and Carter V A 2010 Assessing canopy mortality during a mountain pine beetle outbreak using GeoEye-1 high spatial resolution satellite data *Remote Sens. Environ.* 114 2431–5
30. Strand H, Höft R, Strittholt J, Miles L, Horning N, Fosnight E and Turner W 2007 *Sourcebook on Remote Sensing and Biodiversity Indicators* CBD Technical Series No. 32 (Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity)
31. *Forest Monitoring in Guatemala Using Satellite Imagery and Deep Learning* Nina Sofia Wyniawskyj; Milena Napiorkowska; David Petit; Pritimoy Podder; Paula Marti 14 November 2019 IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
32. Nepstad D C et al 1999 Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire *NATUR E* 398 505–8

33. Hosonuma N, Herold M, De Sy V, De Fries R, Brockhaus M, Verchot L, Angelsen A and Romijn E 2012 An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries *Environ. Res. Lett.* 7 12
34. Gerwing J J 2002 Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon *For. Ecol. Manage.* 157 131–41
35. Cochrane M A 2003 Fire science for rainforests *Nature* 421 913–9
36. Asner G P, Broadbent E N, Oliveira P L C, Keller M, Knapp D E and Silva J N M 2006 Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon *PNA S* 103 12947–5
37. Thompson I D, Guariguata M R, Okabe K, Bahamondez C, Nasi R, Heymell V and Sabogal C 2013 An operational framework for defining and monitoring forest degradation *Ecol. Soc.* 18 1–20
38. Aragão L E O C et al 2018 *Nat. Comm.* 9 536
39. Nepstad D, Lefebvre P, Lopes da Silva U, Tomasella J, Schlesinger P, Solorzano L, Moutinho P, Ray D and Nenito J G 2004 Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis *Global Change Biol.* 10 704–17
40. Matricardi E A T, Skole D L, Pedlowski M A, Chomentowski W and Fernandes L C 2010 Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery *Remote Sens. Environ.* 114 1117–29
41. Yang Y, Saatchi S S, Xu L, Yu Y, Choi S, Philips N, Kennedy R, Keller M, Knyazikhin Y and Myneni R B 2018 Post-drought decline of the Amazon carbon sink *Nat. Commun.* 9 3172
42. Chuvieco E, Aguado I, Salas J, Garcia M, Yebra M and Oliva P 2020 Satellite remote sensing contributions to wildland fire science and management *Curr. For. Rep.* 6 81–96
43. Shimabukuro Y E, Arai E, Duarte V, Jorge A, Dos Santos E G, Cruz Gasparini K A and Dutra A C 2019 Monitoring deforestation and forest degradation using multi-temporal fraction images derived from Landsat sensor data in the Brazilian Amazon *Int. J. Remote Sens.* 40 5475–96

44. Matricardi E A T, Skole D L, Pedlowski M A and Chomentowski W 2013 Assessment of forest disturbances by selective logging and forest fires in the Brazilian Amazon using Landsat data *Int. J. Remote Sens.* 34 1057–86
45. Md. Rafikul Islama, Md. Nabiul Islam Khana, Md. Zulfikar Khanb, Bishwajit Royc A three decade assessment of forest cover changes in Nijhum dwip national park using remote sensing and GIS. *Environmental Challenges* 4, 2021.
46. Basam Dahy, Salem Issa1, Taoufik Ksiksi and Nazmi Saleous. *Geospatial Technology Methods for Carbon Stock Assessment: A Comprehensive Review*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 540, 2020.
47. Лось Н. М. Лісові екосистеми Центрального Полісся в контексті запобігання зміні клімату / Н. М. Лось // Науковий вісник НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.1. – С. 47–51.
48. Sasaki N. Biomass carbon sinks in Japanese forests : 1966– 2012 / N. Sasaki, S. Kim // *Forestry*. – 2009. – Vol. 82. – No. 1. – P. 113–123.
49. Alberti G. Forest ecosystem carbon accumulation during a secondary succession in the Eastern Prealps of Italy / G. Alberti, A. Peressotti, P. Piussi, G. Zerbi // *Forestry*. – 2008. – Vol. 81. – No. 1. – P. 1–11.
50. Harrison A. F. Carbon storage in forest soils / A. F. Harrison, P. J. Howard, D. M. Howard, D. C. Howard, M. Hornung // *Forestry*. – 1993. – Vol. 68. – No. 4. – P. 335–348.
51. Анализ сезонной и многолетней динамики вегетационного индекса NDVI на территории государственного природного заповедника «Нургуш» 2017. Т. А. Адамович, Г. Я. Кантор, Т. Я. Ашихмина, В. П. Савиных Вятский государственный университет.
52. Интегрирование ГИС и ДЗЗ для эффективного мониторинга окружающей среды Автор: К. С. Емельянов и О. В. Кушнырь Издатель: Европейская ассоциация геологов и инженеров. Международная конференция EAGE по геоинформатике – теоретические и прикладные аспекты, 2012.
53. Гаврилюк С.А. Класифікація земель лісового фонду Західного Лісостепу України за матеріалами дистанційного знімання /Гаврилюк С.А., Миклуш

- С.І. /Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць. –Львів: НЛТУУ. – 2007. –Вип. 17.3. –С. 26-35.Горошко М.П. Дистанційні спостереження за гірськими територіями басейну Верхньої Тиси / М.П. Горошко, С.І. Миклуш, О.Г. Часковський // Наук. вісн. УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. пр. –Львів: УкрДЛТУ. –2003. –Вип.13.1. –С. 58-61.
54. Горошко М.П. Особливості інвентаризації гірських лісів у системі регіонального моніторингу / М.П. Горошко, Р.Р. Вицега // Промислова гідравліка і пневматика: всеукраїнський наук. –технічний журнал. –2010. –№ 4 (30). –С. 12-14.
55. Горошко М.П.Оцінка урбаністичних процесів гірських ландшафтів сучасними засобами лісоінвентаризації / М.П.Горошко, Р.Р.Вицега // Науковий вісник НЛТУУ: зб. наук.-техн. праць.–Львів, 2011.–Вип. 21.16. –С. 85-90.
56. Цуняк А.М. Розподіл наземного вкриття Стрийсько–Сянської Верховини на основі супутникових знімків LANDSAT / А.М. Цуняк О.Г.Часковський, М.М.Король // Науковий вісник НЛТУ України.–2013.–Вип. 23.14.–С. 27 –32.
57. Миклуш С.І. Виділення “лісової маски” для Західного Лісостепу України / С.І. Миклуш, С.А. Гаврилук // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2006. –Вип. 110. –С. 60-66.
58. Сахацький О. І., Ходоровський А. Я. Класифікація ландшафтів за допомогою космічного знімка. Зона впливу аварії на Чорнобильській АЕС // Україна з космосу. Атлас дешифрованих знімків території України з космічних апаратів / За ред. В. І. Лялька, О. Д. Федоровського. — К. : НАН України, НКА України, ЦАКДЗ ІГН НАНУ, 1997. — С. 20—21.
59. Lyalko V. I., Sahatsky A. I., Voolfson L. D., et al. Remote ecological monitoring in the Chernobyl disaster area using GIS TRIAS // Pollution Monitoring and Geographic Information Systems : proc. of the EARSel Workshop, Brandys nad Labem, Gzech Republic, 15—18 May, 1995. — Brandys nad Labem., 1995 — P. 89 — 97.
60. Лялько В. І., Сахацький О. І., Азімов О. Т. та ін. Використання багатозональних космічних знімків з метою вивчення рослинності Зони

відчуження ЧАЕС // Матер. наук.-техн. семінару «Нові методи в аерокосмічному землезнавстві», 27—28 травня 1999 р. — Київ, 1999. — С. 105—113.

61. Лялько В. І., Шпортюк З. М., Сахацький О. І., Сибірцева О. М. Застосування методу топографічної корекції даних багатозональних космознімків для класифікації лісового покриву гірських територій // Космічна наука і технологія. — 2003. — 9, № 4. — С. 94—98

62. Лялько В. І., Шпортюк З. М., Сахацький О. І., Сибірцева О. М. Класифікація земного покриву Карпат з використанням наземного хлорофільного індекса та позиції червоного краю за даними відеоспектрометра MERIS // Космічна наука і технологія. — 2006. — 12, № 5/6. — С. 10—14.

63. Lyalko V. I., Sakhatsky A. I., Hodorovsky A. Ya., et al. Features of the space control of forests of Ukraine and Siberia for an estimation of their state, fire risk and carbon cycle // Abstract Book. Proc. of 24th EARSeL Symposium «New Strategies For European Remote SensinG», IUC, Dubrovnik, Croatia, 25—27 May 2004. — P. 91.

64. Kuemmerle T., Chaskovsky O., Knorn J., et al. Forest cover change and illegal logging in the Ukrainian Carpathians in the transition period from 1988 to 2007 // Remote sensing of environment. — 2009. — 113, N 6. — P. 1194—1207.

65. Гаврилюк С. А., Миклуш С. І. Класифікація земель лісового фонду Західного Лісостепу України за матеріалами дистанційного знімання // Наук. вісник Нац. лісотехнічного ун-ту України. — 2007. — Вип. 17.3. — С. 26—35.

66. Миклуш С. І. Продуктивність рівнинних букових лісів та особливості організації сталого господарства в них: Дис. ... д-ра с.-г. наук. — Київ: НУБіП, 2009. — Машинопись. — <http://disser.com.ua/content/350639.html>

67. Атрошенко Л. М., Горобец Н. Н. Перспективы изучения методами радиолокации таксационных характеристик и степени техногенной загрязненности лесов // Вісник Харків. нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна. Радіофізика та електроніка. — 2004. — № 622. — С. 132—136.

68. Ю. Денис, Х. Бурштинська, О. Паштетник. Моніторинг засихання хвойних лісів за різночасовими космічними знімками. Національний університет «Львівська політехніка».
69. Пастернак В. П. Методичні підходи до моніторингу динаміки вуглецю у лісових екосистемах / В. П. Пастернак, І. Ф. Букша // Науковий вісник УкрНДІЛГА ім. Г. М. Висоцького. – 2004. – Вип. 14.2. – С. 177–181.
70. Модели изменения биосферы на основе баланса углерода (по натуральным и спутниковым данным и с учетом вклада бореальных экосистем) // Промежуточный отчет по междисциплинарному интеграционному проекту № 50 за 2009 г. Учреждение Российской академии наук. Сибирское отделение РАН. – Новосибирск, 2009. – 98 с.
71. Шпаківська І. М. Оцінка запасів органічного вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів / І. М. Шпаківська, О. Г. Марискевич // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2009. – Вип. 115. – С. 176–180.
72. Жолобак Г. М. Вітчизняний досвід супутникового моніторингу лісових масивів України. Космічна наука і технологія. 2010. Т. 16, № 3. С. 46–54.
73. Позняк Е. В. Правовк регулювання моніторингу лісів в Україні з урахуванням міжнарод-них та європейських тенденцій. Часопис Київського університету права. 2015. № 4. С. 247–251.
74. Лісове Господарство України 2015 / Державне агентство лісових ресурсів України. Київ, 2015. 18 с. URL: [http://dklg.kmu.gov.ua/forest/document/118552;/Brosura\\_DALR\\_2015\\_web.pdf](http://dklg.kmu.gov.ua/forest/document/118552;/Brosura_DALR_2015_web.pdf).
75. Моніторинг лісу. URL: <http://www.eco-initiatives.org.ua/page/chergovij-kosmichnij-monitoring-lisu>.
76. Публічний звіт Державного агентства лісових ресурсів України за 2019 рік. URL: [https://mepr.gov.ua/files/images/news\\_2020.pdf](https://mepr.gov.ua/files/images/news_2020.pdf)
77. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
78. Лісова опікунська рада, FSC в Україні. URL: <https://ua.fsc.org/ua-ua>



79. Антонов В. Н. Мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности яровой пшеницы по данным ДЗЗ / В. Н. Антонов, Л. А. Сладких // Геоматика. – 2009. – №3. – С. 50-53.
80. Черепанов, А. С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы / А. С. Черепанов, Е. Г. Дружинина // Геоматика. – 2009. - №3. –С. 28-32.
81. Crippen, R. E. Calculating the Vegetation Index Faster / R. E. Crippen // Remote Sensing of Environment. – 1990. - Vol. 34. - P. 71-73.
82. Барталев, С. А. Методы использования временных серий спутниковых изображений высокого пространственного разрешения для оценки масштабов и динамики вырубок таежных лесов / С. А. Барталев, Т. С. Курятникова, Х. Ю. Стибиг // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2005. – Т.2. - №2. –С. 217-227.
83. J. W. Rouse Jr., R. Haas, J. Schell, and D. Deering, “Monitoring vegetation systems in the great plains with erts,” NASA Special Publication 351, 309, 1974.
84. R. P. Sripada, R. W. Heiniger, J. G. White, and R. Weisz, “Aerial color infrared photography for determining late-season nitrogen requirements in corn,” Agronomy Journal, vol. 97, no. 5, pp. 1443-1451, 2005.
85. B. Zhang, D. Wu, L. Zhang, Q. Jiao, and Q. Li, “Application of hyperspectral remote sensing for environment monitoring in mining areas,” Environmental Earth Sciences, vol. 65, no. 3, pp. 649-658, 2012.
86. Зерновое сельское хозяйство – вид из космоса / R&D Center ScanEx [http://www.scanex.ru/ru/data/Applications\\_ScanEx\\_p19-31.pdf](http://www.scanex.ru/ru/data/Applications_ScanEx_p19-31.pdf)
87. <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html>
88. <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/>
89. Василевич М.И., Елсаков В.В., Щанов В.М. Применение спутниковых методов исследований в мониторинге состояния лесных фитоценозов в зоне выбросов промышленного предприятия. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2014, т. 11, № 1, с. 30-42/

90. М.В. Горшков Экологический мониторинг Учебное пособие. – Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. – 313 с.
91. Мониторинг лесных экосистем: учебное пособие / С. С. Зубова, С. С. Постникова ; Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. –89 с.
92. D. J. Mulla, “Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps,” Biosystems Engineering, vol. 114, no. 4, pp. 358–371, 2013.
93. [https://kpfu.ru/portal/docs/F564721785/Panasyuk.M.V..Safiollin.F.N..Loginov.N.A..Pudovik.E.M..Uchebnoe.posobie.Kartografiya\\_.fotogrammetriya.i.DZZ\\_konvertirovan.pdf](https://kpfu.ru/portal/docs/F564721785/Panasyuk.M.V..Safiollin.F.N..Loginov.N.A..Pudovik.E.M..Uchebnoe.posobie.Kartografiya_.fotogrammetriya.i.DZZ_konvertirovan.pdf)
94. Дистанционный мониторинг – эффективный способ контроля использования лесов. 2019
95. Черніховський, Диссер. на соиск. докт. с.-х.наук. 2019
96. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / за ред. В.І. Лялько та М.О. Попова. – К. : Наукова думка, 2006. – 360 с.
97. Застосування ГІС технологій для вивчення екології лісових масивів за багатозональними космічними знімками (на прикладі Зони відчуження ЧАЕС) / В.І. Лялько, О.І. Сахацький, А.Я. Ходоровський та ін. / Гіс-Форум 99: матеріал конф. , Київ, 10–12 листоп. 1999 р. – К. : ГІС-Асоціація України, 1999. – С. 174–179.
98. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
99. Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
100. Myneni R.B., Doug J., Tucker C.J.,Kaufmann R.K., Kauppi P.E., Liski J., Zhou L., Alexeyev V., Hughes M.K. A large carbon sink in the woody biomass of Northern forests //PNAS, 2001, 98(26): 14784–14789.