

А.О. Кирилюк¹
С. М. Кватернюк¹
С. В. Мандебура²
Д. Р. Латуша¹
М. П. Максименко¹

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШКОДЖЕННЯ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ У ЗОНІ БОЙОВИХ ДІЙ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОН- ДУВАННЯ

¹Вінницький національний технічний університет

²Уманський державний педагогічний університет ім. Павла Тичини

Анотація

У роботі проаналізовано методи дистанційного моніторингу структурних параметрів лісових екосистем із використанням статистичних підходів до обробки отриманих даних. Актуальність дослідження зумовлена потребою підвищення точності спостережень за структурними змінами в лісових екосистемах задля їх збереження та ефективного управління природними ресурсами. Об'єктом дослідження виступає процес дистанційного екологічного спостереження за станом лісових екосистем, а предметом — методи й інструменти, що забезпечують цей моніторинг.

Ключові слова: лісові пожежі, дистанційне зондування, статистичні дослідження.

Abstract

The paper analyzes methods of remote monitoring of structural parameters of forest ecosystems using statistical approaches to processing the obtained data. The relevance of the study is due to the need to increase the accuracy of observations of structural changes in forest ecosystems for their preservation and effective management of natural resources. The object of the study is the process of remote ecological monitoring of the state of forest ecosystems, and the subject is the methods and tools that provide this monitoring.

Keywords: forest fires, remote sensing, statistical research.

Вступ

Супутникові спостереження становлять значний потенціал як інструмент для оцінювання стану лісового покриву та відстеження його змін. Традиційні методи інвентаризації лісів передбачають значні трудові витрати, оскільки потребують проведення численних наземних вимірювань. Натомість використання технологій дистанційного зондування дозволяє швидко та ефективно фіксувати зміни лісового покриву на великих територіях із мінімальною потребою у наземних даних. В умовах розширення функцій лісоуправління моніторинг лісових змін набуває особливої практичної цінності.

Головним завданням цього дослідження було виявлення та аналіз змін у лісовому покриві, зокрема внаслідок проріджування насаджень та суцільних рубок. Для цього використовувався нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI), обчислений на основі супутникових даних, результати якого порівнювалися з результатами польових досліджень. Аналіз передбачав три ключові етапи. Спочатку структура лісового покриву оцінювалась за допомогою даних дистанційного зондування у поєднанні з наземними вимірюваннями. У цьому контексті вивчалися зв'язки між покривом та структурними характеристиками лісу, такими як вік, висота дерев, середній діаметр стовбура та базальна площа.

Другим етапом було дослідження динаміки змін за допомогою часових рядів NDVI та методів виявлення змін, спрямованих на ідентифікацію зон вирубки. На завершення, локальні зміни лісового покриву аналізувалися на рівні пікселів із подальшою верифікацією на основі даних лісових господарств.

Результати дослідження демонструють ефективність використання дистанційного зондування для оцінки стану лісових масивів у межах управлінських завдань. Зокрема, виявлено просторову змінність NDVI залежно від типу лісового покриву, особливо у районах господарської діяльності (проріджування та вирубки), а також часову динаміку цих змін. Детальний аналіз ділянок із прорідженим лісом дозволив встановити характер змін лісового покриву, пов'язаний із господарськими впливами.

Отримані висновки можуть слугувати цінним джерелом інформації для оперативного планування у плантаційних лісах, особливо у випадках обмеженої або ненадійної допоміжної інформації. Водночас, для більш глибокого розуміння чинників, що впливають на зміни лісового покриву, необхідні подальші дослідження.

Актуальність теми зумовлена потребою підвищення точності моніторингу структурних змін лісових екосистем із метою їх охорони, збереження та раціонального використання, що передбачає застосування удосконалених методів і технологічних засобів.

Результати дослідження

Найбільші масиви лісів, що потрапили до зон підвищеної небезпеки внаслідок бойових дій, зосереджені у Чернігівській, Сумській та Луганській областях. У Житомирській, Київській, Харківській областях та на території Чорнобильської зони відчуження площі потенційно небезпечних лісів становлять від 126 до 165 тис. гектарів. Загалом під впливом військових дій у небезпечних та тимчасово окупованих районах опинилися 1,849 млн гектарів лісових угідь. Станом на сьогодні рівень забруднення лісів та природно-заповідного фонду в Україні є одним із найвищих у світі.

Після виключення забруднених лісів, що містять вибухонебезпечні предмети (ВНП), з господарського використання, процес їхнього відновлення буде відбуватися природним шляхом. Темпи та динаміка природної регенерації залежатимуть від ступеня порушення лісових екосистем унаслідок біотичних (шкідники, хвороби) та абіотичних (пожежі, зміни клімату) чинників. Часто процес відновлення може розпочинатися з фази розпаду існуючих деревостанів. Завдяки природному механізму сукцесії, що передбачає зміну рослинних угруповань та порід, нові насадження будуть краще адаптовані до сучасних і майбутніх кліматичних та екологічних умов.

Ліси, що формуються на основі природного відновлення з участю місцевих лісоутворюючих порід, у перспективі вирізнятимуться підвищеною стійкістю до кліматичних змін, шкідників і пожеж. Такі насадження можуть стати осередками стабільних лісів, які будуть витривалішими порівняно з тими, де наразі застосовуються традиційні методи лісогосподарювання.

Охоронні заходи в лісах мають передбачати систематичний дистанційний моніторинг їхнього санітарного стану з використанням сучасних засобів дистанційного зондування Землі. Важливо також здійснювати профілактичні дії, щоб запобігти поширенню шкідників за межі забруднених територій.

Протипожежні заходи мають бути спрямовані на постійний контроль джерел займання, інформування населення щодо загроз лісових пожеж у забруднених районах, обмеження доступу до таких територій, а також на створення системи тривалого та ефективного вогнезахисту. Це можуть бути захисні смуги шириною 200–300 м і більше, з дерев листяних порід, наявність дорожньої інфраструктури з твердим покриттям, джерел водопостачання, систем раннього виявлення загорянь і забезпечення швидкого реагування.

У зв'язку з ускладненням ситуації у лісах, що забруднені ВНП, під впливом кліматичних змін, біотичних, абіотичних та антропогенних факторів, доцільно створити інтегровану систему моніторингу лісових екосистем у зонах бойових дій. Така система має забезпечувати регулярне надходження актуальної інформації про санітарний стан лісів, факти пожеж, самовільні рубки тощо — навіть за умови обмеженого фізичного доступу до територій.

Для таких зон система дистанційного моніторингу може тимчасово замінити традиційні форми обліку лісів, що здійснюються в межах лісовпорядкування та національної інвентаризації. Після завершення бойових дій і проведення розмінування вона зможе ефективно доповнювати ці процеси.

Комплексна оцінка пошкоджень лісів, спричинених війною, більше не є віддаленою мрією, а досяжною реальністю, завдяки синергетичній інтеграції передових технологій дистанційного зондування, штучного інтелекту та інноваційних наземних інструментів. Ці рішення спільно долають критичні обмеження традиційних методів, пропонуючи безпрецедентні можливості для швидкого, точного та безпечного моніторингу в небезпечних зонах конфліктів. Від супутникових знімків високої роздільної здатності, що забезпечують широкомасштабний нагляд, та всепогодного проникнення SAR до здатності гіперспектральної зйомки виявляти незначний хімічний стрес та точного 3D-картографування фізичних пошкоджень за допомогою LiDAR, набір інструментів дистанційного зондування є надійним. У поєднанні зі штучним інтелектом для автоматизованого виявлення, прогностичного моделювання ризиків та прозорого прийняття рішень за допомогою ШІ, аналітична потужність є величезною. Крім того, інтегровані веб-ГІС платформи централізують дані для підтримки прийняття рішень у реальному часі, тоді як БНТЗ забезпечують безпечну наземну перевірку в забруднених районах [1-3]. Цей багат шаровий підхід перетворює екологічну оцінку з реактивного, обмеженого заходу на проактивну, комплексну та стійку систему.

Реалізація повного потенціалу цих інноваційних рішень вимагає спільних зусиль та стратегічних інвестицій. Це включає фінансування розробки спеціалізованих, високоякісних наборів даних для пошкоджень, спричинених війною, продовження досліджень передових алгоритмів ШІ, які можуть узагальнювати різні сценарії конфліктів, та розгортання передового обладнання, такого як супутникові угруповання нового покоління та вдосконалені БНТЗ. Міжнародна співпраця має першочергове значення, сприяючи політиці відкритого доступу до даних, обміну досвідом та спільній розробці методологій оцінки. Важливо, що розбудова потенціалу в постраждалих країнах та місцевих громадах є важливою для забезпечення ефективного використання цих технологій для довгострокового моніторингу, сталого управління лісами та, зрештою, для створення стійких екосистем, які зможуть витримувати майбутні тиски. Завдяки впровадженню цих інновацій та сприянню духу співпраці міжнародна спільнота може прокласти шлях до відновлення та сталого майбутнього лісів, пошкоджених конфліктами.

Висновки

У результаті проведеного дослідження встановлено, що методи дистанційного зондування Землі є ефективним інструментом для моніторингу структурних змін у лісових екосистемах, зокрема в умовах бойових дій та обмеженого доступу до територій. Застосування вегетаційних індексів, зокрема NDVI, дозволяє виявляти просторово-часову динаміку змін лісового покриття, зумовлену як природними, так і антропогенними чинниками (зокрема проріджуванням, вирубками, пожежами, вибухами тощо).

Аналіз даних супутникового моніторингу в поєднанні зі статистичними підходами до обробки результатів засвідчив високу інформативність таких методів для оперативного екологічного оцінювання. Це особливо актуально для зон бойових дій, де традиційне лісовпорядкування наразі неможливе або небезпечне.

Виявлено, що найбільші площі пошкоджених або потенційно небезпечних лісів зосереджені в північних і східних регіонах України, що підтверджує необхідність термінового впровадження системи постійного дистанційного моніторингу для оцінки їхнього санітарного стану, ризику пожеж, поширення шкідників та інших негативних процесів.

Окрім фіксації змін, дистанційне зондування може відігравати важливу роль у довгостроковому плануванні заходів з відновлення та охорони лісів. Особливо перспективним є вивчення природного відновлення лісових насаджень після втрати господарської функціональності внаслідок наявності вибухонебезпечних предметів.

У перспективі рекомендовано створити інтегровану систему екологічного дистанційного моніторингу, яка стане ефективним інструментом не лише у воєнний період, а й після завершення бойових дій, сприяючи сталому управлінню лісовими ресурсами України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Писаренко Н. В., Турчик П. М., Кватернюк С. М. Система сигналізації для виявлення пожежонебезпечних ситуацій на території лісового фонду. І-й Всеукраїнський з'їзд екологів : тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. (м. Вінниця, 4–7 жовтня 2006 р.). Вінниця, 2006. С. 184.

2. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Кватернюк С. М. та ін. Розробка елемента системи пожежної сигналізації для охорони лісових ресурсів. І-й Всеукраїнський з'їзд екологів : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Вінниця, 4–7 жовтня 2006 р.). Вінниця, 2006. С. 25–29.

3. Сірачова О.О., Кватернюк С. М. Екологічний аналіз сучасного стану захисних лісових насаджень в Україні. Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023) [Електронне мережне наукове видання] : матеріали конференції. (м. Вінниця, 22–23 червня 2023 р.). Вінниця, 2023. С. 24–28.

Кирилюк Анна Олександрівна – студент групи ТЗД-23мз, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: annk34222k@gmail.com.

Кватернюк Сергій Михайлович – д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

Мандебура Святослав Васильович – викладач кафедри хімії, екології та методики їх навчання Уманського державного педагогічного університету ім. Павла Тичини, м. Умань, e-mail: eko14b.mandebura@gmail.com.

Латуша Дмитро Русланович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dima.latusha27@gmail.com.

Максименко Максим Павлович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: obzzorator@gmail.com.

Anna Oleksandrivna Kyrylyuk – student, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail annk34222k@gmail.com.

Serhii M. Kvaterniuk – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

Sviatoslav V. Mandebura – Lecturer of the Department of Chemistry, Ecology and Methods of their teaching, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, e-mail: eko14b.mandebura@gmail.com.

Dmytro R. Latusha – Postgraduate of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dima.latusha27@gmail.com.

Maxim P. Maksimenko – Postgraduate of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: obzzorator@gmail.com.