

К.Р. Дзюбенко¹
С. М. Кватернюк¹
С. В. Мандебура²
Д. Р. Латуша¹
М. П. Максименко¹

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАПОБІГАННЯ ЛІСОВИМ ПОЖЕЖАМ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

¹Вінницький національний технічний університет

²Уманський державний педагогічний університет ім. Павла Тичини

Анотація

Робота зосереджена на вдосконаленні методів екологічного моніторингу лісових пожеж. Лісові пожежі, що посилюються змінами клімату та антропогенним впливом, становлять глобальну екологічну загрозу, вимагаючи ефективних стратегій запобігання, виявлення та відновлення. Основні завдання включають аналіз підходів до дослідження пожеж, обробку супутникових даних, аналіз результатів та техніко-економічне обґрунтування запропонованих методик. Практична цінність роботи полягає в наданні інструментів для ефективного запобігання пожежам, швидкого реагування та мінімізації їх наслідків.

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

Abstract

The work focuses on improving methods for ecological monitoring of forest fires. Forest fires, exacerbated by climate change and anthropogenic impact, pose a global ecological threat, requiring effective prevention, detection and recovery strategies. The main tasks include the analysis of approaches to fire research, processing of satellite data, analysis of results and feasibility study of the proposed methods. The practical value of the work lies in providing tools for effective fire prevention, rapid response and minimization of their consequences.

Keywords: forest fires, remote sensing, statistical research.

Вступ

Лісові пожежі є однією з найгостріших глобальних екологічних проблем, що мають далекосяжні наслідки для екосистем, здоров'я людини та економіки по всьому світу. Це не просто руйнівні явища, а складні процеси, що формуються як природними чинниками, так і антропогенним впливом. Історично лісові пожежі були невід'ємною частиною багатьох екосистем, відіграючи роль у підтримці біорізноманіття та кругообігу поживних речовин. Однак, у сучасному світі їхня природа трансформувалася. Зростаюча взаємодія людини з дикими ландшафтами та зміни клімату перетворили пожежі з переважно природних екологічних порушень на масштабні глобальні катастрофи. Зростаюча частота, інтенсивність та тривалість лісових пожеж, значною мірою зумовлені зміною клімату та зміною землекористування, вимагають міцного та постійно розвиваючого наукового розуміння. Ефективні стратегії запобігання, виявлення, гасіння та післяпожежного відновлення критично залежать від передових досліджень. Сучасне управління пожежами стикається з численними викликами, включаючи якість даних, точність моделей та переважний вплив зміни клімату. Ці виклики безпосередньо підтверджують актуальність досліджень, спрямованих на покращення цих областей.

Результати дослідження

Лісові пожежі є однією з найсерйозніших природних катастроф, що загрожують глобальним екосистемам, кліматичній стабільності та безпеці людини. Зі зростанням частоти та інтенсивності цих подій, спричинених зміною клімату, щорічно збільшуються економічні втрати, відбувається вимушене переселення громад та виникають значні ризики для здоров'я населення через задимлення. Неконтрольовані пожежі можуть швидко знищити житлові будинки та інфраструктуру, а також завдати непоправної шкоди лісам, лукам та іншим природним середовищам, призводячи до загибелі або витіснення незліченної кількості тварин і рослин.

У цьому контексті дистанційне зондування відіграє ключову роль як ефективний інструмент моніторингу та запобігання лісовим пожежам. Швидкі досягнення у цій галузі дозволяють збирати та ана-

лізувати дані з великих територій, що є неможливим для традиційних методів. Цей звіт має на меті представити та проаналізувати десять інноваційних рішень у системах запобігання лісовим пожежам, які активно використовують технології дистанційного зондування, а також порівняти їхні можливості та обмеження.

Запобігання та управління лісовими пожежами значною мірою залежить від здатності швидко та точно виявляти вогонь, прогнозувати його поширення та оцінювати ризики. Сучасні системи досягають цього завдяки інтеграції різноманітних технологій дистанційного зондування та передових аналітичних інструментів.

Безпілотні Літальні Апарати (БПЛА): Дрони є гнучким доповненням до супутникового моніторингу. Оснащені інфрачервоними датчиками та камерами високої роздільної здатності, БПЛА можуть збирати зображення в реальному часі, охоплюючи широкі території та надаючи детальні дані навіть за різних умов освітлення. Їхня маневреність та здатність літати на контрольованій висоті дозволяють отримувати високоякісні зображення, що є критично важливим для точної ідентифікації джерел пожежі та прогнозування її поширення. Переваги БПЛА включають їхню гнучкість, доступність, можливість точного картографування та надання даних у реальному часі. Проте, існують обмеження, такі як дальність польоту, час роботи від акумулятора та ризик падіння в умовах сильного диму або вогню.

Наземні сенсори та камери: Мережі наземних камер та датчиків забезпечують гіперлокальний та безперервний моніторинг. Ці системи можуть виявляти зміни температури, вологості, наявності дрібних частинок, диму та газів, що вказують на початок пожежі. Вони пропонують переваги у вигляді надраннього виявлення та постійного спостереження, особливо в зонах високого ризику. Однак, передача даних у віддалених районах може бути складною, і існує ризик хибних спрацьовувань.

Географічні інформаційні системи (ГІС): ГІС є центральним компонентом інтегрованих систем, що дозволяє об'єднувати та аналізувати просторові дані з різних джерел, таких як розподіл лісових ресурсів, рельєф місцевості та метеорологічні умови. Це допомагає у визначенні потенційних зон ризику, прогнозуванні шляхів поширення пожежі, а також забезпечує динамічне оновлення та візуалізацію просторових даних для відстеження пожежі в реальному часі. Крім того, ГІС відіграє ключову роль в оптимізації маршрутів порятунку, аналізуючи умови місцевості та існуючі шляхи, щоб забезпечити найшвидше прибуття до джерела пожежі.

Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання (МН): ШІ та МН революціонізують аналіз даних дистанційного зондування, дозволяючи автоматично ідентифікувати пожежі, прогнозувати їх поширення та оптимізувати розподіл ресурсів. Ці технології значно підвищують точність та ефективність виявлення диму та вогню, особливо в умовах швидкого поширення пожежі. Наприклад, алгоритм YOLOv11x демонструє високу точність (точність 0.949, повнота 0.850) у розпізнаванні диму, що є критично важливим для систем раннього попередження. Інші методи, такі як SVM, Random Forest та нейронні мережі, також успішно використовуються для картографування зон пожеж та оцінки ризиків. ШІ дозволяє системам обробляти величезні обсяги даних у реальному часі, перетворюючи їх на цінну інформацію для прийняття рішень.

Висновки

Комплексний аналіз основних підходів до дослідження лісових пожеж виявляє динамічну та багатогранну галузь, що постійно адаптується до зростаючої глобальної загрози. Досягнення в дистанційному зондуванні та ГІС революціонізували збір та аналіз просторових даних, перетворивши їх на основу сучасної науки про пожежі. Ці технології не тільки дозволяють здійснювати моніторинг у реальному часі та оцінку впливу, але й значно покращують прогностичні можливості. Водночас, моделювання поширення та поведінки пожеж, що включає як фізично обґрунтовані, так і емпіричні підходи, а також нові методи ШІ/МН, є критично важливим для прогнозування та оптимізації управління. Найбільш нагальним викликом, що посилює всі інші, є зміна клімату, яка фундаментально змінює режими пожеж і вимагає постійної адаптації дослідницьких методологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кватернюк С. М., Петрук В. Г. Спектрополяриметричний контроль концентрацій частинок полідисперсних водних середовищ : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2012. 156 с.
2. Кватернюк С. М., Петрук В. Г. Мультиспектральні методи та засоби комп'ютеризованого екологічного моніторингу водних об'єктів : монографія [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2023. 314 с. – 8,4 Мб. ISBN 978-966-641-930-2. (PDF) <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/774>.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

Дзюбенко Катерина Романівна – студент групи ТЗД-23мз, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: cherry35729@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.

Kateryna R. Dziubenko – student, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail cherry35729@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.