

**СТРАТЕГІЇ ТА МЕТОДИ ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКУ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ
ТА РОЗШИРЕННЯ ШКІДНИКІВ****Т. П. ЛОЗІНСЬКА**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,<https://orcid.org/0000-0002-7119-0759>*Білоцерківський національний аграрний університет*

E-mail: lozinskataat@ukr.net

А. І. ЗАДОРОЖНИЙ, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,<https://orcid.org/0000-0002-0664-5462>*Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний
університет»*

E-mail: andriy.zadorozhnyy@uzhnu.edu.ua

В. В. МАМЧУР, кандидат сільськогосподарських наук,<https://orcid.org/0000-0003-1579-4467>*Уманський національний університет садівництва*

E-mail: mamcurvalentina@gmail.com

[https://doi.org/10.31548/dopovidi.1\(107\).2024.021](https://doi.org/10.31548/dopovidi.1(107).2024.021)

***Анотація.** Стаття включає детальний опис різних методів попередження та управління ризиками виникнення лісових пожеж, зокрема використання нормативно-правових, організаційних, економічних, соціально-психологічних, превентивних, репресивних та компенсаційних методів. Автори надають класифікацію цих методів, виходячи зі способу впливу, характеру впливу та спрямованості дії. Мета дослідження полягає у виявленні та аналізі ефективних підходів та методик, спрямованих на зниження ризику виникнення лісових пожеж та контролю за поширенням шкідників у лісових екосистемах. У дослідженні використані методи камерального аналізу та огляду наукових праць, доповнені польовими дослідженнями. Це дозволило розробити обґрунтовані рекомендації щодо зниження ризику виникнення пожеж у лісах. Особлива увага була приділена аналізу лісовпорядних даних, які включали інформацію про розподіл лісів за категоріями земель, класифікацію насаджень та їх санітарний стан. Польові дослідження допомогли оновити та уточнити дані про стан насаджень та ідентифікувати ключові фактори, що збільшують ризик виникнення пожеж. Використано сучасні методи виявлення лісових пожеж, включаючи відеонаглядні камери, супутникове спостереження, патрулювання територій та використання безпілотних літальних апаратів. Описується система раннього виявлення лісових пожеж, яка включає IoT-пристрої, що об'єднані в пористу топологію та оснащені датчиками температури, вуглекислого газу, водню та вуглеводневих газів. В статті також викладені методи багатofакторного аналізу даних та методики головних компонентів для зниження розмірності даних і виявлення ключових факторів, що впливають на виникнення пожеж. Регресійний аналіз використовується для*

Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Мамчур В. В.

встановлення зв'язку між різними змінними та прогнозування ймовірності виникнення пожеж. Визначені фізико-механічні, хімічні, біологічні та лісогосподарські методи зменшення ризику лісових пожеж та впливу від шкідників та хвороб, включаючи ручне збирання комах, струшування гусениць, застосування пасток, хімічне обприскування та створення змішаних та різновікових насаджень. Перспективи досліджень можуть охоплювати наступні ключові аспекти: вивчення та інтеграція передових технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання, та дистанційне зондування Землі, для раннього виявлення лісових пожеж і моніторингу популяцій шкідників; дослідження впливу кліматичних змін на частоту та інтенсивність лісових пожеж і поширення шкідників, а також розробка адаптаційних стратегій.

Ключові слова: *ризик лісової пожежі, лісові шкідники, лісорослинні зони, геоінформаційна система, санітарний стан, хвоєгризи*

Актуальність. Зміна клімату та антропогенний вплив призводять до збільшення частоти та інтенсивності лісових пожеж у багатьох регіонах світу. Це робить розробку ефективних стратегій запобігання та контролю лісових пожеж надзвичайно актуальною. Лісові пожежі можуть мати драматичний вплив на екосистеми, знищуючи флору та фауну, погіршуючи якість повітря та сприяючи викиду великих обсягів парникових газів. Лісові пожежі можуть призводити до значних економічних збитків, у тому числі через знищення лісових ресурсів, інфраструктури та впливу на туристичну галузь. Зміни клімату та екологічних умов також сприяють розповсюдженню лісових шкідників, що може призвести до додаткових проблем у лісовому господарстві та збереженні біорізноманіття. Розв'язання цих проблем вимагає комплексного підходу, який включає наукові дослідження, планування,

управління ризиками та залучення громадськості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В ряді робіт науковців-дослідників (С. Зібцев, П. Лакида, В. Миронюк, Ю.С. Шелюк, Л. Й. Астахова) зазначається, що протягом останніх двох десятиліть спостерігається зростання частоти, площі та сили негативних впливів на лісові екосистеми, зумовлених лісовими пожежами та впливом шкідливих комах, у різних частинах світу. В Україні, зокрема, збільшилася площа висихання соснових насаджень, що особливо помітно у Поліському регіоні та інших природних зонах (Балабух, 2017). Виділяється тісний зв'язок між поширенням пожеж та активністю шкідливих комах. Основні групи комах, які впливають на стан лісів та опосередковано пов'язані з лісовими пожежами, включають комах-хвоєгризів та стовбурових комах

Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Мамчур В. В. (Смирнова, Смирнов, Островерха, 2020).

Як вказують О.Ю. Андрєєва, І. В. Мартинчук, Н. Пузріна, комах-хвоєгризи, що уражають хвою, послаблюють дерева, збільшуючи їх схильність до впливу вогню та заселення стовбуровими шкідниками. Пошкоджені частини дерев, заселені стовбуровими шкідниками, сприяють накопиченню легкозаймистих матеріалів, збільшуючи ризик пожеж. Дерев, пошкоджені вогнем, стають об'єктом для заселення стовбуровими шкідниками, а на прилеглих до згарищ ділянках формуються вогнища комах-хвоєгризів.

Мета дослідження полягає у виявленні та аналізі ефективних підходів та методик, спрямованих на зниження ризику виникнення лісових пожеж та контролю за поширенням шкідників у лісових екосистемах.

Завдання дослідження охоплюють:

–аналіз причин та факторів, що сприяють виникненню лісових пожеж та поширенню шкідників;

–вивчення сучасних стратегій та методів запобігання лісовим пожежам та боротьби зі шкідниками в різних екологічних умовах;

–оцінка ефективності різних підходів до управління лісовими ресурсами у контексті зменшення ризиків та запобігання негативним наслідкам;

–пропозиції щодо політики та практичних заходів для підвищення

стійкості лісових екосистем та зменшення негативного впливу пожеж та шкідників на лісове господарство.

Методи. Це дослідження охопило різні природні зони на рівнинній території України, включаючи полярні роботи, які були зосереджені в основному на державному підприємстві «Кремінське ЛМГ» (Луганське обласне управління лісового господарства). Територія знаходиться в басейні Сіверського Дінця і за лісорослинним районуванням належить до VIII лісорослинного району. Клімат тут помірно-континентальний, характеризується гарячим, сухим літом, холодною, малосніжною зимою з частими теплими періодами, а також нерівномірним розподілом опадів протягом року. Переважно свіжі ґрунти займають 55 % території (Південно-Східне міжрегіональне управління лісового та мисливського господарства, 2023).

Первинні відомості про стан лісових ресурсів були здобуті з останніх даних лісовпорядкування, що включали інформацію про розподіл лісів за категоріями земель, класифікацію насаджень за бонітетом, відносною повнотою, віковими категоріями, запасами деревини, типами лісорослинних умов та лісових типів. Польові дослідження допомогли оновити дані про санітарний та лісопатологічний

Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Мамчур В. В.
стан насаджень і визначити ключові фактори, які сприяють збільшенню ризику виникнення пожеж.

Результати дослідження. Україна відноситься до країн Європи з низьким рівнем лісистості. Загальна площа лісових територій в країні приблизно становить 10 мільйонів гектарів. Частка лісистих територій від усієї площі країни, згідно з даними за 2021 рік, приблизно дорівнює 16 %, що на 4 відсоткові пункти нижче від ідеального рівня лісистості, встановленого за методологією Науково-дослідного Інституту лісового господарства та агролісомеліорації (рис. 1).

Температурні показники в Україні зростають у напрямку з півночі на південь та від заходу до сходу, в той час як обсяг опадів та щільність річкової мережі

зменшуються в тому ж напрямку. Це призводить до неоднорідного розподілу лісових масивів по країні. Наприклад, у період з 2005 по 2022 рр. спостерігалось збільшення площі осередків звичайного соснового пильщика у порівнянні з періодом 1980-2010 рр. у середньому в 8,2 рази, а площа осередків рудого соснового пильщика на сході країни зросла в 3,4 рази, охопивши понад 110 тис. га лісових насаджень (Пузріна, 2020).

Лісові пожежі в більшості випадків виникають через діяльність людини. Підвищення ефективності захисту лісових екосистем від пожеж може бути досягнуто за допомогою різних методів та стратегій управління ризиками, що залежать від причин виникнення пожеж (Лозінська, 2020).



Рис. 1. Лісорослинні зони України (Голов. упр. стат. у Чернігівській обл., 2023)

Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Мамчур В. В.

Ці методи ризик-менеджменту є взаємопов'язаними і їх комплексне застосування допомагає досягти бажаних результатів, як вказано в таблиці 1.

1. Характеристика методів попередження і управління ризиками виникнення лісових пожеж

Ознака класифікації	Вид методу	Характеристика методу
За способом впливу	Нормативні правові	Створюють основу організаційних рішень, способів адміністрування, умов реалізації економічних та соціально-психологічних методів.
	Організаційні (адміністративні)	Передбачають організацію виконання цілей у рамках нормативно-правових обмежень та здійснення контролю за дією економічних та соціально-психологічних методів.
	Економічні і соціально-психологічні	Визначають ефективну структуру адміністрування, її нормативну правову основу. Засновані на вплив психології людей.
За характером впливу	Превентивні	Спрямовані на недопущення чи запобігання виникнення несприятливого стану керованого об'єкта.
	Репресивні	Спрямовані на придушення стихійного лиха, що вже відбувається.
	Компенсаційні	Направлені на часткове або повне відшкодування втрат, завданих у ситуаціях ризику.
За спрямованістю дії	Зниження	Спрямовані на зменшення розмірів можливих збитків чи ймовірності настання несприятливих подій.
	Збереження	Не завжди означають відмову від дій щодо компенсації збитків. Для відшкодування збитків можуть бути створені резервні фонди, залучені зовнішні джерела.
	Передача	Означають передачу відповідальності за ризики третім особам за збереження їхнього рівня.
За часом впливу	Дододійні	Планують та здійснюють завчасно: страхування, самострахування, запобіжні заходи та інші методи передачі та зниження ризиків.
	Післяподієві	Передбачають отримання коштів у ліквідацію збитків.

Джерело: сформовано авторами за даними (Яворовський П.П., Сендонін С.Є., Токарева О.В. 2019; Ye S., Rogan J., Zhu Z., Hawbaker T.J., Hart S.J., Andrus R.A., Meddens A. J.H., Hicke J.A., Eastman J.R., Kulakowski D., 2021).

Ми можемо виокремити і дати пояснення щодо ряду методів зменшення ризику лісових пожеж, які, адаптовані до специфічних умов і територій. Серед найбільш розповсюджених методів можна виділити (Зібцев, та ін., 2018):

1. Відеонаглядові камери. Встановлені на верхівках дерев, ці камери забезпечують 360-градусний

огляд і здатні виявляти дим та його приблизне місцезнаходження.

2. Супутникове спостереження. Здійснюється за допомогою супутникових знімків, які можуть знімати від 2 до 12 годин. Система раннього виявлення і попередження ризиків лісових пожеж представляє собою мережу з множини пристроїв, об'єднаних у пористу топологію за

Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Мамчур В. В. допомогою IoT (Internet of Things) (Македон, Байлова, 2023). Кожен пристрій оснащений датчиками температури, вуглекислого газу, водню та вуглеводневих газів на основі використання багатофакторного аналізу даних для обробки інформації, отриманої від датчиків та інших джерел, які збирають дані про пожежі у лісах. Всі зібрані дані узагальнюються в таблицю, приклад якої наведено в таблиці 2.

Вхідна інформація включає дату та час, ідентифікатор пристрою, геолокацію та показники датчиків. Додатково можуть бути враховані такі фактори, як кількість опадів, сила та напрямок вітру. Аналіз показує, що найсильніший взаємозв'язок спостерігається між температурою повітря та концентрацією вуглеводневих газів (Глухонець, та ін., 2022).

2. Приклад даних, які отримують від пристроїв

№	ID	Дата	Час	GPS-широта	GPS-довгота	Температура	CO ₂	H ₂	C _x H _x
1	1	12.07.2023	11:00	30	53	29	0,0157	0,31966	1,0354
2	6	12.07.2023	11:01	35	48	29	0,0082	0,28633	1,5643
3	9	12.07.2023	11:02	38	45	29	0,0081	0,23529	1,0173
4	4	12.07.2023	11:03	33	50	30	0,0083	0,28369	2,1304
5	8	12.07.2023	11:04	37	46	30	0,0148	0,28677	0,2018
6	2	12.07.2023	11:05	31	52	30	0,0184	0,24607	0,0523
7	7	12.07.2023	11:06	36	47	30	0,0112	0,23045	0,3438
8	5	12.07.2023	11:07	34	49	30	0,0011	0,25267	0,7242
9	7	12.07.2023	11:08	36	47	30	0,0198	0,23496	2,0148
10	3	12.07.2023	11:09	32	51	30	0,0056	0,25619	1,5534

Джерело: сформовано авторами.

Результати цього аналізу вказують на можливість групування даних за геопозицією та кількістю опадів, що дозволяє визначити регіони з підвищеним ризиком пожежної небезпеки залежно від їх географічного розташування та кліматичних особливостей.

3. Застосування методу головних компонентів (РСА) Метод головних компонентів (РСА) є однією з технік

багатофакторного аналізу даних, що використовується для зниження розмірності даних, виявлення непрямих зв'язків між різними факторами та зменшення кількості використовуваних змінних. Уявімо, що існує набір даних, який включає багато різноманітних параметрів, таких як температура, обсяг опадів, вологість, напрям і швидкість вітру. Завдяки методу головних

Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Мамчур В. В.

компонентів можна визначити, які з цих параметрів мають найбільше значення та найбільшу вагу у варіативності даних. Інші параметри можуть бути виключені з аналізу або бути використані лише для більш специфічних досліджень (Зібцев, та ін., 2023). Отже, інтеграція даних про метеорологічні умови в систему зменшення ризику лісових пожеж може значно підвищити її точність.

4. Аналіз за допомогою регресії. Цей аналіз дозволяє встановити зв'язок між однією залежною змінною та кількома незалежними й використовувати цей зв'язок для прогнозування. У контексті системи раннього виявлення лісових пожеж, залежною змінною може бути ймовірність виникнення пожежі, а незалежними змінними – такі фактори, як температура, вміст вуглекислого газу, концентрація водню, інших газів, а також кількість опадів, напрям і швидкість вітру. Регресійний аналіз може стати цінним інструментом в системах зменшення ризику лісових пожеж. Він надає можливість використовувати історичні дані про попередні пожежі та погодні умови для оцінки ймовірності виникнення нових пожеж (Балабух, 2017).

Для наочного представлення зібраних даних використовують геоінформаційну систему, яка дозволяє візуалізувати різні параметри. Виявлення пожежі відбувається через зміну показників датчиків. При цьому, різні типи пожеж мають свої унікальні характеристики, тому важливо аналізувати дані, отримані з декількох пристроїв, які розміщені поруч один з одним, для точнішої ідентифікації пожеж (рис. 2) (Андрєєва, Мартинчук, 2018).

Важливим є той факт, що при фіксації ознак лісової пожежі одним з датчиків, потенційна зона ураження може бути визначена як радіусом, що підходить для моніторингу (див. рис. 2. а), так і у вигляді полігону, границі якого залежать від відстані між сусідніми датчиками (див. рис. 2. б). Для точнішого визначення зони ураження можна застосовувати метеорологічні дані, наприклад, швидкість і напрям вітру, що змістять потенційну зону ураження в протилежному напрямку від вітру (див. рис. 2. в). Якщо один датчик зафіксував ознаки пожежі в момент часу t_1 , а інший – в момент часу t_2 , це дозволяє зробити висновки про напрям поширення продуктів горіння (див. рис. 2. г).

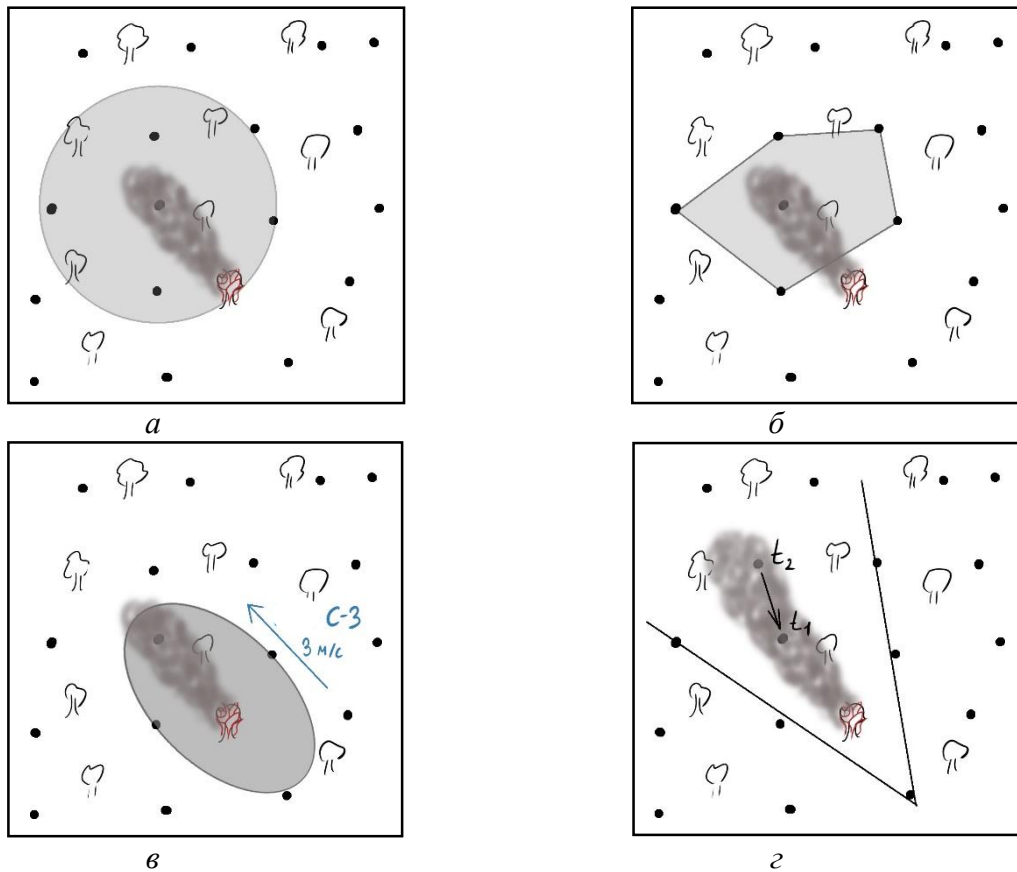


Рис. 2. Визначення області ураження: а – один пристрій; б – полігональне; в – з урахуванням метеоданих; г – на основі кількох датчиків
Джерело сформовано авторами

Проблема захисту лісів від шкідників залишається актуальною, з огляду на те, що переважна більшість шкідників лісу належать до класу комах.

Сосновий пильщик. Цей шкідник є універсальним для місць, де ростуть хвойні дерева, і відомий за вживанням хвої, через що він завдає значних збитків лісам у широкому географічному діапазоні. Він поширений у всіх Європейських країнах, включаючи Україну. У популяції пильщиків існують два види: звичайний (*Diprion pini*) та рудий (*Neodiprion sertifer*).

Рудий пильщик має розмір личинки 2-2,5 см, світло-сіре

забарвлення тіла з білою смугою посередині спини та чорними смугами з боків з білою облямівкою. Голова личинки чорного кольору та блискуча. Личинка звичайного пильщика має жовте або світло-зелене забарвлення, жовте черевце з чорними плямами над кожною лапкою. Довжина тіла становить близько 2,5 см, а голова – коричнева та блискуча (Борисенко & Мешкова, 2021).

Метелик листовійка (*Tortricidae*) поширений у Європі, Малій Азії, північно-західній Африці, зустрічається в центральній частині України. Виглядає як міленький метелик або міль з розмахом крил до

Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Мамчур В. В.

2,5 см, зазвичай має товсте тіло, покрите густими волосками, і горизонтально складені крила на спині. Гусениці листовійки майже без волосся, довжиною 1-2 см, з 16 ніжками, мають жовтувате або зелене тіло і чорну або буру голову. Саме гусениці є основними шкідниками рослин (Shelyuk & Astahova, 2021).

Великий сосновий довгоносик (*Hylobius abietis*) широко розповсюджений у лісових та лісостепових зонах території України. Цей жук, завдовжки 7-14 мм, має темно-бурий колір з рідкісними жовтуватими волосками та лусочками, покритий дрібними вм'ятинами та ямками. Великий сосновий довгоносик переважно шкодить соснам, хоча може зустрічатися і на інших хвойних та листяних деревах. Основну шкоду завдають дорослі особини, які пошкоджують кору стовбурів і весняні пагони молодих сосен, бруньки та хвою.

Для запобігання ризиків поширення шкідників та хвороб необхідно своєчасно виявляти осередки їх розмноження та застосовувати відповідні заходи для їх ліквідації, використовуючи різноманітні доступні методи та засоби. Ефективними методами боротьби зі шкідниками та хворобами лісу є фізико-механічні, хімічні, біологічні та спеціальні лісгосподарські заходи (Klouček, et al., 2019).

1. Фізико-механічні методи аналізу ризиків і контролю над шкідниками включають різноманітні механічні техніки та використання ручного інструментарію для їх знищення. Ці методи вимагають значної праці та зазвичай обмежуються невеликими площами. Основною перевагою цих методів є їх низький або відсутній вплив на довкілля та людину. До фізико-механічних методів боротьби відносяться:

–ручне збирання комах з молодих дерев;

–струшування гусениць з дерев, обрізання та знищення вогнем листя, згорнутого гусеницями;

–застосування пасток і приманок з феромонами, липких кілець, що перешкоджають доступу личинок до крон дерев.

2. Хімічний метод боротьби передбачає використання пестицидів для знищення шкідників. Він ефективний, порівняно недорогий і може бути використаний на великих площах за допомогою авіації. Отрутохімікати у вигляді порошку, дрібних крапель або аерозолів розпилюють на заражені ділянки з літаків, машин чи ручних розпилювачів.

3. Біологічні методи аналізу ризиків і боротьби базуються на природних антагоністичних відносинах між різними видами організмів і є ключовими в інтегрованій системі захисту лісу від

Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Мамчур В. В. шкідників та хвороб. До біологічного методу належать (Cohen, Yang, Kennedy, 2010):

– збереження популяцій природних ворогів комах-шкідників, таких як мурахи, гризуни та птахи;

– встановлення годівниць для комахоїдних птахів у хвойних посадках, наприклад, для синиць. Приваблені кормом, птахи також полюють на личинки комах-шкідників.

4. Лісогосподарські методи захисту полягають у виконанні цілого ряду заходів та дотриманні правил протягом всього процесу вирощування лісу для збільшення його відпорності до атак шкідників та хвороб. До таких лісогосподарських заходів належать:

– створення змішаних та різновікових насаджень, що є більш стійкими до шкідників та хвороб;

– адекватний догляд за лісом, включаючи видалення хворих, заражених шкідниками та ослаблених дерев;

– постійний контроль санітарного стану лісу, який включає прибирання сухостою, видалення дерев, які можуть служити притулком для шкідників під час зимівлі, своєчасне вивезення зрубаної деревини та інші заходи.

Таким чином, боротьба з лісовими шкідниками здійснюється за допомогою різних методів і технічних засобів. Однак, жоден з наявних методів не є універсальним, тобто не

підходить для боротьби з усіма видами шкідників в усіх умовах та в будь-який час. Також немає жодного методу, який би раз і назавжди вирішив проблему з певним шкідником.

Висновки та перспективи. У даній статті представлено систему для раннього виявлення лісових пожеж, засновану на використанні IoT-пристроїв, що об'єднані в мережу з пористою топологією. Досліджено різні фактори, що впливають на ризик виникнення пожеж, і проведено багатофакторний аналіз цих даних. Система раннього виявлення пожеж має велике значення для попередження та ефективного реагування на лісові пожежі. Розглянуто використання різних методів управління ризиками, включаючи нормативно-правові, організаційні, економічні та соціально-психологічні підходи, є критично важливим для зниження ризику пожеж. Використання комбінованих методів, які включають превентивні, репресивні та компенсаційні підходи, є ефективним у боротьбі з пожежами. Використання відеонаглядових камер, супутникового спостереження, патрулювання та безпілотних літальних апаратів значно підвищує ефективність раннього виявлення пожеж. Підкреслено, що немає універсального методу боротьби з лісовими пожежами та шкідниками, і необхідний комплексний підхід, який

Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Мамчур В. В. включає фізико-механічні, хімічні, біологічні та спеціальні лісгосподарські заходи. Загалом, дослідження підкреслює значення інтегрованих стратегій управління

Список використаних джерел

1. Андреева О.Ю., Мартинчук І.В. Економічні аспекти вирубування дерев, заселених стовбуровими шкідниками, у соснових лісах Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. № 28 (2). С. 31–36.

2. Балабух В.О. Сучасний стан прогнозування природної пожежної небезпеки за умовами погоди в Україні : Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» 10-11 жовтня 2017 року. Київ, 2017. С. 25-29.

3. Борисенко О.І., Мешкова В.Л. Прогнозування поширення пожеж та осередків шкідливих комах у соснових лісах засобами ГІС : Монографія. Х.: Планета-Прінт, 2021. 148 с.

4. Зібцев С., Сошенський О., Гуменюк В., Богомолів В. План інтегрованого управління ландшафтними пожежами в Луганській області : монографія. Київ : Редакційно-видавничий відділ НУБіП України, 2023. 257 с.

5. Глухонець А.О., Морозова Т.В., Морозов А.В., Кобзиста О.П., Самойленко І.В., Стецюк Л.М. Використання ГІС технологій для модернізації систем моніторингу об'єктів природно-заповідного фонду України. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2022. № 2(98). С. 40-54.

6. Інтегрована система охорони лісів від пожеж : монографія / [С. Зібцев, П. Лакида, В. Миронюк та ін.]. Київ : Наукова столиця ; ФОП Шмидко Т. С., 2018. 350 с.

7. Лозінська Т. (2020). Проблеми пожежної небезпеки в лісовому господарстві. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Формування сучасної навкової думки». Кропивницький 31 січня 2020. МЦНД. С. 71-73. <https://doi.org/10.36074/31.01.2020.08>

ризиками та впровадження інноваційних технологій для зменшення ризику лісових пожеж і контролю над шкідниками.

8. Македон В.В., Байлова О.О. Планування і організація впровадження цифрових технологій в діяльність промислових підприємств. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2023. Випуск 47. С. 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3.

9. Пузріна Н.В. Шкідники і збудники деревних декоративних рослин. Частина 1. Київ : редакційно-видавничий відділ НУБіП України. 2020. 527 с.

10. Смирнова С.М., Смирнов В.М., Островерха В.О. Наукові засади управління розвитком природно-заповідних територій. *Агросвіт*. 2020. № 2. С. 77-83.

11. Південно-Східне міжрегіональне управління лісового та мисливського господарства. 2023. URL: <https://se.forest.gov.ua/arxiv/luganske-oulmg.html>

12. Яворовський П.П., Сендонін С.Є., Токарева О.В. Рекреаційне лісівництво : підручник. Київ : Наукова столиця, 2019. 299 с.

13. Cohen W.B., Yang Z., Kennedy R. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 2. TimeSync – Tools for calibration and validation. *Remote Sensing of Environment*. 2010. vol. 114(12). P. 2911–2924.

14. Klouček T., Komárek J., Surový P., Hrach K., Janata P., Vašíček B. The Use of UAV Mounted Sensors for Precise Detection of Bark Beetle Infestation. *Remote Sensing*. 2019. vol. 11, № 13. P. 1561.

15. Shelyuk Yu.S., Astahova L.Y. Phytoplankton succession in the anthropogenic and climate ecological transformation of freshwater ecosystems. *Biosyst. Divers*. 2021. №29(2). P. 119–128. DOI: <https://doi.org/10.15421/012116>.

16. Ye S., Rogan J., Zhu Z., Hawbaker T.J., Hart S.J., Andrus R.A., Meddens A. J.H., Hicke J.A., Eastman J.R., Kulakowski D. Detecting subtle change from dense Landsat

Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Мамчур В. В.

time series: Case studies of mountain pine beetle and spruce beetle disturbance. *Remote Sensing of Environment*. 2021. vol. 263. P. 112-560.

References

1. Andreyeva, O.Yu., Martynchuk, I.V. (2018). Economic aspects of felling trees infested with trunk pests in the pine forests of Polissia. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny – Scientific bulletin of NLTU of Ukraine*, 28(2), 31–36. [in Ukrainian].
2. Balabukh, V.O. (2017). The current state of forecasting of natural fire danger in the weather in Ukraine: materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Current State of Civil Protection of Ukraine and Prospects for Development" October 10-11, 2017, Kyiv, Ukraine. 25-29. [in Ukrainian].
3. Borysenko, O.I., Meshkova, V.L. (2021). Forecasting the spread of fires and centers of harmful insects in pine forests by means of GIS: Monograph. Kharkyv, Ukraine: Planeta-Print. 148. [in Ukrainian].
4. Zibtsev, S., Soshenskyi, O., Humenyuk, V., Bogomolov, V. (2023). Plan of integrated management of landscape fires in Luhansk region: monograph. Kyiv, Ukraine: Editorial and publishing department of NUBiP of Ukraine. 257. [in Ukrainian].
5. Hlukhonets, A.O., Morozova, T.V., Morozov, A.V., Kobzysta, O.P., Samoilenko, I.V., Stetsiuk, L.M. (2022). Use of GIS technologies for modernization of monitoring systems of objects of the nature and preserve fund of Ukraine. *Visnyk Natsional'noho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannya – Bulletin of the National University of Water Management and Environmental Management*, 2(98), 40-54. [in Ukrainian].
6. Zibtsev, S., Lakyda, P., Myroniuk, V. (2018). Integrated forest fire protection system: monograph. Kyiv, Ukraine: Scientific Capital, 350. [in Ukrainian].
7. Lozins'ka, T. (2020). Problems of fire danger in forestry. *Materialy mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Formuvannya suchasnoyi navkovoyi dumky»*. Kropyvnyts'kyi 31 sichnya 2020. MTSND. S. 71-73. <https://doi.org/10.36074/31.01.2020.08>. [in Ukrainian].
8. Makedon, V.V., Bailova O.O. (2023). Planning and organizing the implementation of digital technologies in the activities of industrial enterprises. *Naukovyy visnyk Khersons'koho derzhavnoho universytetu. Seriya «Ekonomichni nauky» – Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences"*, 47, 16-26. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2023-47-3. [in Ukrainian].
9. Puzrina, N.V. (2020). Pests and pathogens of wooden decorative rolls. Part 1. Kyiv, Ukraine: editorial and publishing department of NUBiP of Ukraine, 527. [in Ukrainian].
10. Smyrnova, S.M., Smirnov, V.M., Ostroverkha, V.O. (2020). Scientific principles of managing the development of nature-protected territories. *Ahrosvit – Agroworld*, 2, 77-83. [in Ukrainian].
11. South-Eastern interregional management of forestry and hunting (2023). URL: <https://se.forest.gov.ua/arxiv/luganske-oulmg.html> [in Ukrainian].
12. Yavorovskyi, P.P., Sendonin, S.E., Tokareva, O.V. (2019). Recreational forestry. Kyiv, Ukraine: Scientific Capital [in Ukrainian].
13. Cohen, W.B., Yang, Z., Kennedy, R. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 2. TimeSync – Tools for calibration and validation. *Remote Sensing of Environment*, 114, 12, 2911–2924.
14. Klouček, T., Komárek, J., Surový, P., Hrach, K., Janata, P., Vašíček, B. (2019). The Use of UAV Mounted Sensors for Precise Detection of Bark Beetle Infestation. *Remote Sensing*, 11, 13, 1561.
15. Shelyuk, Yu.S., Astahova, L.Y. (2021). Phytoplankton succession in the anthropogenic and climate ecological transformation of freshwater ecosystems. *Biosyst. Divers*, 29(2), 119–128. DOI: <https://doi.org/10.15421/012116> [in Ukrainian].
16. Ye, S., Rogan, J., Zhu, Z., Hawbaker, T.J., Hart, S.J., Andrus, R.A., Meddens, A.J.H., Hicke, J.A., Eastman, J.R., Kulakowski, D. (2021). Detecting subtle change from dense Landsat time series: Case studies of mountain

Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Мамчур В. В.
pine beetle and spruce beetle disturbance.
Remote Sensing of Environment, 263, 112-560.

STRATEGIES AND METHODS FOR REDUCING THE RISK OF FOREST FIRES AND THE SPREAD OF PESTS

T. P. Lozinska, A. I. Zadorozhnyy, V. V. Mamchur

Abstract. *The article includes a detailed description of various methods of forest fire prevention and risk management, including the use of regulatory, organizational, economic, socio-psychological, preventive, repressive and compensatory methods.*

It has been determined that forest fires have serious consequences for ecosystems, causing the destruction of plants and animals, deterioration of air quality and increased emissions of greenhouse gases. They also cause significant economic losses, affecting forest resources, infrastructure and tourism. Climate change and changes in environmental conditions contribute to the spread of pests in forests, which can worsen the situation in forestry and biodiversity conservation. Addressing these challenges requires an integrated approach, including scientific research, strategic planning, risk management and active public engagement. The authors provide a classification of these methods, based on the method of influence, the nature of the influence and the direction of the action. The purpose of the study is to identify and analyze effective approaches and methods aimed at reducing the risk of forest fires and controlling the spread of pests in forest ecosystems. The research uses the methods of camera analysis and review of scientific works, supplemented by field research. This made it possible to develop reasonable recommendations for reducing the risk of forest fires. Special attention was paid to the analysis of forest management data, which included information on the distribution of forests by land category, the classification of plantations and their sanitary condition. Field studies have helped to update and clarify data on the state of plantations and identify key factors that increase the risk of fires. Modern methods of detecting forest fires were used, including video surveillance cameras, satellite surveillance, patrolling territories and the use of unmanned aerial vehicles. A forest fire early detection system is described, which includes IoT devices combined in a porous topology and equipped with sensors for temperature, carbon dioxide, hydrogen, and hydrocarbon gases. The article also describes the methods of multivariate data analysis and principal component methods for reducing data dimensionality and identifying key factors affecting the occurrence of fires. Regression analysis is used to establish the relationship between various variables and predict the probability of fire occurrence. Physico-mechanical, chemical, biological and silvicultural methods of reducing the risk of forest fires and the impact of pests and diseases are identified, including manual collection of insects, shaking off caterpillars, use of traps, chemical spraying and creation of mixed and multi-aged stands. Research perspectives may include the following key aspects: exploring and integrating advanced technologies, such as artificial intelligence, machine learning, and remote sensing of the Earth, for early detection of forest fires and monitoring of pest populations; study of the impact of climate change on the frequency and intensity of

Лозінська Т. П., Задорожний А. І., Мамчур В. В.

forest fires and the distribution of pests, as well as the development of adaptation strategies.

Presented a system for early detection of forest fires based on the use of IoT devices connected to a network with a porous topology. Various factors affecting the risk of fires were studied, and a multivariate analysis of these data was carried out. The early fire detection system is of great importance for the prevention and effective response to forest fires. Considered the use of different risk management methods, including regulatory, legal, organizational, economic and socio-psychological approaches, is critical to reducing the risk of fires. The use of combined methods that include preventive, repressive and compensatory approaches is effective in fighting fires. The use of video surveillance cameras, satellite surveillance, patrolling and unmanned aerial vehicles significantly increases the effectiveness of early detection of fires. It is emphasized that there is no universal method of fighting forest fires and pests, and a comprehensive approach is needed, which includes physical-mechanical, chemical, biological and special forestry measures. Overall, the study highlights the importance of integrated risk management strategies and the implementation of innovative technologies for forest fire risk reduction and pest control.

Key words: *forest fire risk, forest pests, forest vegetation zones, geoinformation system, sanitary condition, conifers*