

РЕГІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ У ПІВНІЧНО-СХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛ.

В.В. Мороз¹, О. П. Житова²

¹Західноукраїнський національний університет (м. Тернопіль, Україна)
e-mail: vera_moroz@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1258-1530

²Поліський національний університет (м. Житомир, Україна)
e-mail: elmi1969@meta.ua; ORCID: 0000-0003-2572-4163

Проблема лісових пожеж на Українському Поліссі набула критичного характеру, що зумовлює необхідність комплексного дослідження регіональних особливостей горимості лісів, їхніх екологічних наслідків та розробки науково обґрунтованих підходів до управління пожежними ризиками. Мета дослідження — виявити регіональні особливості динаміки лісових пожеж у північно-східній частині Житомирської обл., з'ясувати їх екологічні наслідки для ґрунтового покриву та охарактеризувати ефективність прогнозування пожежних ризиків. Методологія базується на аналізі статистичних даних Державної служби України з надзвичайних ситуацій за 2015–2024 рр., визначенні класів природної пожежної небезпеки за шкалою Курбатського, дослідженні впливу пожеж на властивості ґрунтів методами потенціометрії та титриметрії (87 зразків із 30 розрізів) та математичному моделюванні на основі теореми Байєса для 120 кварталів лісництв. Встановлено критичне зростання площі пожеж у 170 разів — від 0,3 тис. га у 2021 р. до 51 тис. га у 2023 р., до тогож у 45% випадків основною причиною стали військові дії. Виявлено парадоксальну тенденцію у Бехівському лісництві: збільшення кількості пожеж удвічі супроводжувалося зменшенням їх площі втричі завдяки ефективному ранньому виявленню. Визначено відмінності класів пожежної небезпеки лісництв філії «Олевське лісове господарство» (2,15–2,79), де домінують соснові насадження класів II–III (понад 60% площі). З'ясовано статистично достовірні зміни властивостей ґрунтів: підвищення рН з 6,5–7,0 до 7,35–7,55 та зниження вмісту органічного вуглецю на 15–40% із тривалим періодом відновлення 5–10 років. Модель Байєса показала високу прогностичну здатність (87% точність), при цьому близькість до доріг збільшує ймовірність пожежі у 2,5–3,2 раза. Результати можуть бути використані для оптимізації розміщення протипожежної інфраструктури та прогнозування тривалості відновлення пірогенних ділянок.

Ключові слова: горимість лісів, пірогенна трансформація, модель Байєса, класи пожежної небезпеки, органічний вуглець, прогнозування ризиків, соснові монокультури.

ВСТУП

Лісові пожежі є одним із найнебезпечніших екологічних чинників, що впливають на функціонування та стійкість лісових екосистем. За даними міжнародних досліджень, упродовж останніх десятиліть спостерігається глобальна тенденція до зростання кількості та інтенсивності лісових пожеж, що пов'язано зі змінами клімату, підвищенням температури повітря на 0,6–0,68°C за декаду та зміною режиму опадів [1; 2]. Для Європи ліси Полісся, особливо соснові монокультури на бідних піщаних ґрунтах та осушені болота, стають однією з найвразливіших до пожеж територій [3–5].

В Україні проблема лісових пожеж набула критичного характеру. За період 2015–2023 рр. на території держави зафіксовано 16 355 лісових пожеж, які завдали економічних збитків на суму 9,3 млрд грн [6]. Особливо загрозливою є ситуація на Поліссі, де за 2001–2023 рр. зафіксовано зростання кількості та інтенсивності пожеж із вираженими піками навесні та наприкінці літа–осені [1; 7].

Згідно аналізу повидільної бази даних (ВО «Укрдержліспроект») Житомирська область, де зосереджено 388,1 тис. га соснових лісів — однієї з найбільших площ в Україні, — зазнає особливо значних втрат від пожеж [8].

Додатковим чинником, що різко загострив пожежну ситуацію, стали військові дії, розпочаті у 2022 р. За даними Державного агентства лісових ресурсів України, у 45% випадків основною причиною лісових пожеж є загоряння насаджень внаслідок обстрілів, мінування та падіння безпілотників [1; 9]. Якщо у 2021 р. площа лісових пожеж у лісах, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів, становила 0,3 тис. га, то у 2022 р. вона зросла до 15,7 тис. га (у 54 рази), а в 2023 р. — до 51 тис. га (у 170 разів) (Державна служба України з надзвичайних ситуацій, 2024 р.) [6]. Унаслідок бойових дій знищено понад 280 тис. га лісу на суму 6,5 млрд грн [10].

Аналіз наукової літератури свідчить, що дослідження лісових пожеж на Поліссі активізувалися після 2015 р., до того ж основна увага приділяється кліматичним чинникам, типам угідь, що горять, та антропогенному впливу [1; 3; 5; 11–13]. Встановлено, що ризик пожеж різко зростає за температури понад 18–20°C і дефіциту опадів, а найчастіше горять соснові ліси, осушені торфовища та луки [2; 7; 14]. Переважна більшість загорянь пов'язана з людською діяльністю: випалюванням трави, підпалами, близькістю доріг та забудови [3; 11].

Особливу увагу дослідники приділяють екологічним наслідкам пожеж. Після низових пожеж спостерігається тимчасове підлучення верхнього горизонту ґрунту через золу, підвищення вмісту К, Са, Mg, проте через 1–1,5 роки рН знову стає дуже кислим [15]. Відбувається деградація рослинних угруповань у сухих соснових типах лісу, хоча в більш вологих умовах можлива швидка сукцесія та навіть зростання видової різноманітності окремих груп [4; 16]. Значні викиди аерозолів і газів формують пилові та димові шлейфи, що істотно впливають на якість атмосферного повітря [5; 9].

Водночас, незважаючи на значну кількість досліджень, залишається низка невирішених питань. Найперше, бракує комплексних регіональних досліджень, що поєднували б аналіз динаміки пожеж, їх еколо-

гічних наслідків та ефективності профілактичних заходів у межах одного природно-територіального комплексу. По-друге, недостатньо вивчені особливості пожежної ситуації в умовах воєнного стану, зокрема вплив військових дій на горимість лісів у різних лісгосподарських підприємствах. По-третє, відсутні порівняльні дослідження ефективності протипожежних заходів у різних лісництвах одного регіону, що унеможливує розробку оптимальних управлінських рішень. По-четверте, недостатньо застосовуються методи математичного моделювання для прогнозування пожежних ризиків на регіональному рівні.

Житомирська обл., де зосереджена найбільша в Україні площа соснових лісів на Поліссі, є ідеальним об'єктом для комплексного дослідження. На її території функціонують великі лісгосподарські підприємства, які характеризуються різними класами природної пожежної небезпеки, неоднаковою інтенсивністю пожеж та різним рівнем організації профілактичних заходів. Інтеграція даних про динаміку пожеж, їх екологічні наслідки для ґрунтового покриву та ефективність профілактики дозволить створити цілісну картину пожежної ситуації в регіоні та розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо її поліпшення.

Мета дослідження — виявити регіональні особливості динаміки лісових пожеж у північно-східній частині Житомирської обл. в умовах воєнного стану, з'ясувати їх екологічні наслідки для ґрунтового покриву та охарактеризувати ефективність профілактичних заходів у різних лісгосподарських підприємствах для обґрунтування системи управління пожежними ризиками.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблема лісових пожеж на Поліссі активно досліджується вітчизняними та зарубіжними науковцями, про що свідчить зростання кількості публікацій у провідних міжнародних виданнях упродовж останніх п'яти років. Аналіз наукової літератури дає

змогу виділити чотири основні напрями досліджень: кліматичні драйвери пожеж, типи угідь та їх горимість, антропогенний вплив, а також екологічні наслідки пожеж.

Фундаментальне дослідження S. Youchenko et al. [1], присвячене аналізу взаємозв'язку між змінами клімату та динамікою лісових пожеж на Українському Поліссі за період 2001–2023 рр. Автори встановили, що температура повітря зростала зі швидкістю $0,60^{\circ}\text{C}$ за декаду, а кількість опадів знизилася на 3–5%. Використовуючи дані супутникового моніторингу MODIS та метеорологічні спостереження, дослідники виявили, що ризик пожеж різко зростає за температури понад $18\text{--}20^{\circ}\text{C}$ та дефіциту опадів. Особливо катастрофічною виявилася весна 2020 р., коли понад половина території Українського Полісся опинилася під впливом лісових та торфових пожеж внаслідок поєднання теплої безсніжної зими, посушливої весни та сильного вітру.

Доповнюють цю картину результати V. Karamushka et al. [5], представлені на 17-й Міжнародній конференції з моніторингу геологічних процесів. Дослідники продемонстрували, що кліматичні зміни призводять до подовження пожежонебезпечної періоду та збільшення частоти посух, при цьому особливо небезпечними є посушливі умови серпня. Y. Nykytiuk & O. Podolian [2] у статті проаналізували екологічні детермінанти просторово-часової динаміки пожеж у зонах Полісся та Лісостепу України, виявивши просторові патерни розподілу пожеж залежно від температурного режиму та вологозабезпеченості.

Важливе міжнародне дослідження M. Kirkland et al. [3], присвячене аналізу впливу ландшафтних пожеж на цінні природоохоронні території Полісся. Британські та українські вчені встановили, що пожежі непропорційно вражають торфовища, луки та листяні ліси, але лише за умов низької вологості. Використовуючи дані дистанційного зондування Землі за період 2015–2020 рр., автори виявили, що за низької вологості осушені торфовища горять частіше за хвойні ліси, що становить

особливу загрозу для біорізноманіття та вуглецевих запасів.

С.В. Зібцев та співавт. [7] представили результати моніторингу ландшафтних пожеж Транскордонної Рамсарської території «Ольмани-Переброди» за даними супутникових систем MODIS та VIIRS. Автори встановили, що найчастіше горять соснові ліси на бідних піщаних ґрунтах та відкриті болота. Г. Бумар [14] проаналізували довгострокову динаміку пожеж у Поліському природному заповіднику, виявивши, що у заповідниках значна частка території регулярно охоплюється вогнем, що впливає на структуру та функціонування екосистем.

Польське дослідження A. Kolanek et al. [13], продемонструвало значний вплив людської діяльності на щільність лісових пожеж. Аналізуючи 30-річний період спостережень, автори зафіксували, що близькість доріг, населених пунктів та рекреаційних зон різко збільшує ймовірність виникнення пожеж. Ці висновки підтверджуються дослідженням P. Didenko et al. [11] де у статті показано, що переважна більшість загорянь на Поліссі пов'язана з випалюванням трави, підпалами та недотриманням правил пожежної безпеки.

A. Renkas et al. [12] запропонували новітній підхід до оптимізації розміщення пожежних частин, використовуючи метод ізохрон та діаграми Вороного. Автори продемонстрували, що науково обґрунтоване планування розташування пожежної інфраструктури може скоротити час доїзду та зменшити площу пройденої вогнем. O. Soshenskyi et al. [17] розробили методіку картування зон контакту «ліс-забудова» для Житомирської обл., що дає можливість визначати територіальні пріоритети профілактичних заходів.

В.П. Ворон [15] детально дослідили пірогенні зміни ґрунтів соснових насаджень. Автори встановили, що після низових пожеж спостерігається тимчасове (до 1–1,5 років) підлучення верхнього горизонту ґрунту через золу та підвищення вмісту K, Ca, Mg, проте надалі рН знову стає дуже кислим, а ефект обмежується глибиною до 10 см. O. Kratiuk et al. [18] проаналі-

зували вплив лісових пожеж на соснові насадження Коростишівського лісництва Житомирської обл., виявивши значну деградацію деревостанів та необхідність розробки програм відновлення.

L. Raichuk et al. [9] досліджували взаємодію між вирубукою лісів та кліматичними змінами, встановивши, що лісові пожежі є важливим чинником у цьому процесі. Продовжуючи цю тематику, Л.А. Райчук та ін. [19] обґрунтували необхідність відновлення лісових екосистем як основи сталого розвитку агроландшафтів Українського Полісся. D. Vyshnevskiy [16] проаналізував угруповання мишоподібних гризунів на ділянках з різним ступенем пірогенного пошкодження у Чорнобильській зоні, виявивши, що у більш вологих умовах після пожеж можлива швидка сукцесія та навіть зростання видової різноманітності.

Окремої уваги заслуговують дослідження впливу російсько-української війни на пожежну ситуацію. V. Karamushka et al. [5] зазначили, що військові дії у заповідних територіях Полісся створюють додаткові вогнища займання та ускладнюють гасіння пожеж. S. Boychenko et al. [1] виявили, що у 2022–2023 рр., незважаючи на менш сухі кліматичні умови, різко збільшилася кількість пожеж через бойові дії (обстріли, мінування, падіння безпілотників) у Київському, Чернігівському та Новгород-Сіверському Поліссі. L. Raichuk et al. [9] проаналізували масштаби шкоди, завданої лісовими пожежами внаслідок воєнних дій, та обґрунтували необхідність розробки комплексних програм післявоєнного відновлення лісів.

Таким чином, аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про комплексний характер проблеми лісових пожеж на Поліссі, де взаємодіють кліматичні, екологічні, антропогенні та, починаючи з 2022 р., військові чинники. Водночас, незважаючи на значну кількість досліджень окремих аспектів проблеми, бракує комплексних регіональних робіт, що поєднували б аналіз динаміки пожеж, їх екологічних наслідків та ефективності профілактичних заходів для конкретного регіону. Особливо

це стосується Житомирської обл., де зосереджена найбільша площа соснових лісів Українського Полісся та де військові дії значно загострили пожежну ситуацію.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилися на території двох лісгосподарських підприємств північно-східної частини Житомирської обл.: філії «Олевське лісове господарство» (до реорганізації 2024 р.у) та Бехівське лісництво філії «Коростенське лісомисливське господарство» ДП «Ліси України». Об'єкти розташовані в зоні Українського Полісся, характеризуються помірно-континентальним кліматом з середньорічною температурою $+8,8^{\circ}\text{C}$ та кількістю опадів 550–650 мм. Переважають соснові насадження на бідних піщаних ґрунтах, що визначає підвищену горимість лісів.

Для аналізу динаміки лісових пожеж використовувалися дані Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Державного агентства лісових ресурсів України та звітність лісгосподарських підприємств за період 2015–2024 рр. Аналізувалися показники — кількість пожеж, площа пройдена вогнем, економічні збитки, причини виникнення пожеж.

Визначення класів природної пожежної небезпеки проводилося відповідно до шкали Курбатського (1970) з урахуванням типу лісорослинних умов, складу деревостану та повноти. Для кожного лісництва розраховувався середній клас пожежної небезпеки за формулою:

$$K_{\text{сеп}} = \sum \frac{S_i \times K_i}{S_{\text{зар}}}, \quad (1)$$

де $K_{\text{сеп}}$ — середній клас пожежної небезпеки; S_i — площа ділянок i -го класу, га; K_i — клас пожежної небезпеки (1–V); $S_{\text{зар}}$ — загальна площа лісництва, га.

Відбір ґрунтових зразків здійснювався згідно з ДСТУ 4287:2004 [20] у Бехівському лісництві на ділянках, пройдених пожежами у 2022 та 2023 рр., а також на фонових ділянках. Було викопано 30 ґрунтових розрізів (по 10 на кожному типі ділянок),

з яких відібрано 87 зразків по генетичним горизонтам у серпні 2023 р.

pH водної витяжки визначали потенціометричним методом на іонетрі «Експерт-01» згідно з ДСТУ ISO 10390:2007 [21] (співвідношення ґрунт : вода 1 : 2,5). Вміст органічного вуглецю досліджували титриметричним методом за Тюриним (1951) [22]. Для кожного показника проводили 3–5 паралельних визначень.

Для прогнозування ймовірності виникнення лісових пожеж застосовувалася статистична модель на основі теореми Байєса (Bayes, 1763). Площа Бехівського лісництва (120 кварталів) розглядалася як сукупність гіпотез, де кожна відповідає можливості виникнення пожежі в конкретному кварталі. Апостеріорна ймовірність розраховувалася за формулою:

$$P(H_i/K) = \frac{P(K/H_i) \times P(H_i)}{\sum_{i=1}^n P(K/H_i) \times P(H_i)}, \quad (2)$$

де $P(H_i/K)$ – апостеріорна ймовірність виникнення пожежі в i -му кварталі за умови настання події K (певного комплексу ознак); $P(K/H_i)$ – умовна ймовірність спостереження комплексу ознак K (вікова група, клас пожежної небезпеки, тип лісу, наявність доріг тощо) за умови, що реалізується гіпотеза H_i ; $P(H_i)$ – апіорна ймовірність виникнення пожежі в i -му кварталі (до врахування комплексу ознак K); K – подія, що характеризується певним комплексом ознак k_1, k_2, \dots, k_n ; n – загальна кількість можливих гіпотез (кварталів лісництва).

Статистична обробка даних проводилася з використанням Microsoft Excel 2019 та Statistica 10.0. Розраховувалися описові

статистики (середнє арифметичне, стандартне відхилення), здійснювався кореляційний аналіз. Достовірність відмінностей між середніми значеннями оцінювалася за t -критерієм Стьюдента за рівнів значущості $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз лісових пожеж у північно-східній частині Житомирської обл. за період 2015–2024 рр. показав різке погіршення пожежної ситуації, особливо після початку повномасштабного вторгнення у 2022 р. (табл. 1, рис. 1). Якщо у 2021 р. площа лісових пожеж в Україні становила 0,3 тис. га, то у 2022 р. вона зросла до 15,7 тис. га (у 54 рази), а в 2023 р. досягла 51 тис. га (у 170 разів порівняно з 2021 р.). За даними Державного агентства лісових ресурсів України, у 45% випадків основною причиною пожеж стали військові дії: обстріли, мінування територій та падіння безпілотників.

У Бехівському лісництві філії «Коростенське лісомисливське господарство» ДП «Ліси України» за 2022–2023 рр. зафіксовано 15 лісових пожеж загальною площею 15,13 га (див. табл. 1). При цьому спостерігалася парадоксальна тенденція: у 2023 р. кількість пожеж зросла вдвічі (від 5 до 10), але загальна площа, пройдена вогнем, зменшилася утричі (від 12,1 до 3,03 га). Ця закономірність свідчить про підвищення ефективності системи раннього виявлення та оперативного реагування на пожежі, незважаючи на складні умови воєнного часу [23]. Середня площа однієї пожежі зменшилася від 2,42 га у 2022 р. до 0,30 га у 2023 р., що вказує на успішну локалізацію займань на ранніх стадіях розвитку.

Таблиця 1. Динаміка лісових пожеж в Україні та Бехівському лісництві за 2021–2023 рр.

Рік	Україна кількість пожеж, од.	Україна площа, тис. га	Бехівське ліс- ництво кількість пожеж, од.	Бехівське лісництво площа, га	Середня площа 1 пожежі, га
2021	660	0,3	–	–	–
2022	1012	15,7	5	12,1	2,42
2023	1278	51,0	10	3,03	0,30
Зростання 2023/2021, разів	1,9	170	–	–	–

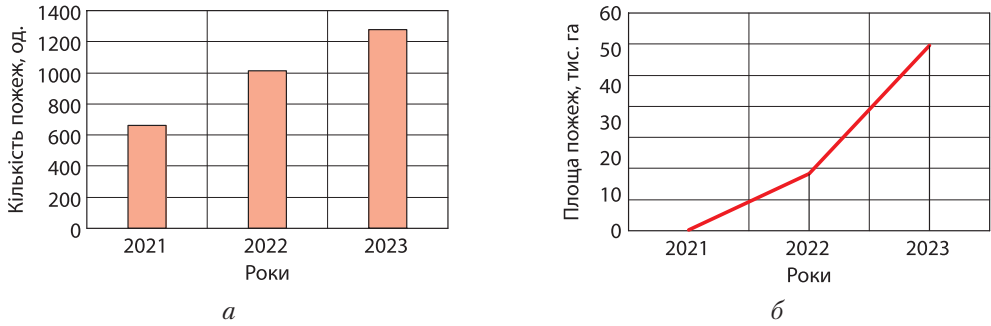


Рис. 1. Динаміка лісових пожеж в Україні у 2021–2023 рр.:
a – кількість пожеж; *б* – площа пожеж

Порівняльний аналіз класів природної пожежної небезпеки лісів. Розрахунок середніх класів природної пожежної небезпеки для трьох лісництв філії «Олевське лісове господарство» виявив істотні відмінності у структурі пожежної небезпеки (табл. 2, рис. 2). Для Журжевицького лісництва середній клас становив 2,60, для Кам'янського – 2,79, для Покровського – 2,15. Найнижчий показник у Покровському лісництві пояснюється найбільшою часткою насаджень I класу небезпеки (2963,1 га, або 41,3% площі), що може здаватися парадоксальним. Однак аналіз показує, що ці насадження представлені переважно молодняками на свіжих піщаних ґрунтах з добре розвиненим трав'яним покривом, що знижує загальний ризик.

Кам'янське лісництво характеризується найвищим середнім класом небезпеки (2,79) через значну площу насаджень III класу (3156,5 га, або 39,1%). Це листяно-хвойні насадження на свіжих суглинкових ґрунтах із помірним накопиченням підстилки. Журжевицьке лісництво займає проміжне положення (2,60) з відносно рів-

номірним розподілом площ між класами I–III (див. рис. 2).

Важливою закономірністю є те, що насадження V класу небезпеки (листяні на вологих ділянках) становлять лише 3–5% площі всіх досліджуваних лісництв (див. табл. 2), що підтверджує домінування пожежонебезпечних соснових типів лісу на Поліссі. Ця особливість узгоджується з даними Kirkland et al. (2023) про підвищену вразливість хвойних монокультур на бідних піщаних ґрунтах до пожеж.

Пірогенна трансформація ґрунтового покриву. Дослідження впливу лісових пожеж на властивості ґрунтів на основі аналізу 87 зразків з 30 ґрунтових розрізів виявило статистично достовірні (t -критерій, $p < 0,05$) зміни як рівня кислотності, так і вмісту органічного вуглецю (табл. 3). На ділянках, пройдених пожежею в 2022 р., спостерігалось підвищення рН водної витяжки до 7,35–7,55 порівняно з фоновими значеннями 6,5–7,0 (різниця статистично достовірна, $p = 0,003$) [23]. Це підлуження верхнього горизонту ґрунту зумовлене надходженням золи, багатой на лужні катіони

Таблиця 2. Розподіл площ за класами природної пожежної небезпеки в лісництвах філії «Олевське лісове господарство»

Лісництво	I клас, га	II клас, га	III клас, га	IV клас, га	V клас, га	Разом, га	Середній клас
Журжевицьке	1571,3	1859,5	2279,7	649,4	216,8	6576,7	2,60
Кам'янське	1731,3	1724,4	3156,5	1329,8	119,7	8061,7	2,79
Покровське	2963,1	1260,3	1908,5	928,1	109,0	7169,0	2,15
Разом	6265,7	4844,2	7344,7	2907,3	445,5	21807,4	2,51

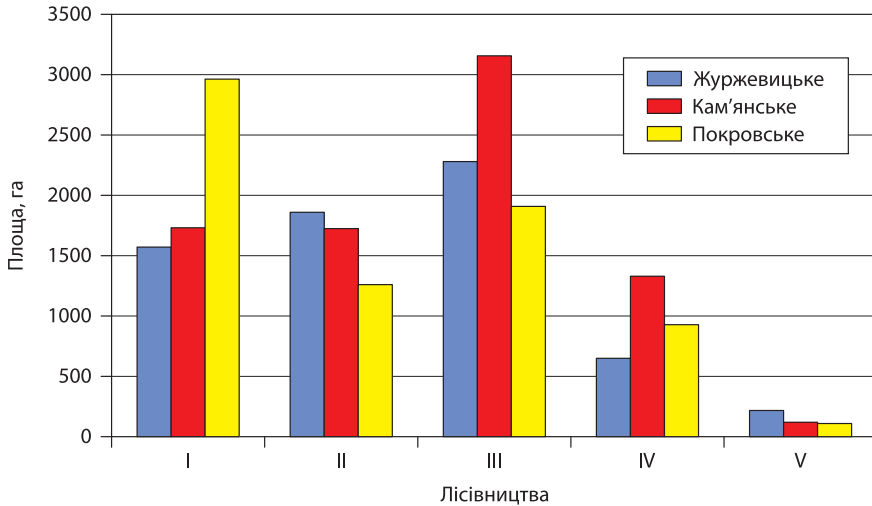


Рис. 2. Розподіл площ за класами природної пожежної небезпеки

(K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), що узгоджується з результатами Voron et al. (2020).

Вміст органічного вуглецю на пірогенних ділянках виявився статистично достовірно нижчим (t -критерій, $p=0,008$), ніж на фонових: 0,33–0,46% проти 0,55–0,62% на контролі (див. табл. 3). Зниження становило 15–40% залежно від інтенсивності пожежі та елементу мікрорельєфу. На мікропідвищеннях, де пожежі були інтенсивнішими, втрати органічного вуглецю сягали 40%, тоді як у мікропониженнях із вищою вологістю – лише 15–20%.

Цікавою закономірністю є те, що на ділянках дворічної давності (пожежі 2022 р.) вміст органічного вуглецю залишався зниженим (0,42–0,46%), що свідчить про тривалий період відновлення гумусового

горизонту. За даними Voron et al. (2020), повне відновлення показників рН до фонових значень відбувається лише через 1,5–2 роки після пожежі, тоді як відновлення вмісту органічної речовини може тривати 5–10 років.

Просторова варіабельність показників на різних елементах мікрорельєфу (мікропідвищення та мікропониження) вказує на неоднорідність пірогенного впливу навіть у межах однієї ділянки (див. табл. 3). На мікропідвищеннях з швидшим прогріванням та нижчою вологістю пожежі були інтенсивнішими, що призводило до більш істотних змін властивостей ґрунту.

Застосування теореми Байєса для 120 кварталів Бехівського лісництва дозволило виділити три категорії ризику виник-

Таблиця 3. Вплив лісових пожеж на властивості ґрунтів у Бехівському лісництві

Тип ділянки	Мікрорельєф	рН водної витяжки	Органічний вуглець, %	Зміна від фону, %
Фонова (контроль)	Мікропідвищення	6,8	0,58	—
	Мікропониження	6,5	0,62	—
Пожежа 2022 р.	Мікропідвищення	7,55	0,42	-28
	Мікропониження	7,35	0,46	-26
Пожежа 2023 р.	Мікропідвищення	7,35	0,38	-34
	Мікропониження	7,55	0,33	-47



Рис. 3. Розподіл кварталів Бехівського лісництва за категоріями пожежного ризику

нення пожеж: високий ($P > 0,015$), середній ($P = 0,008 - 0,015$) та низький ($P < 0,008$) (табл. 4, рис. 3). До зони високого ризику увійшли 23 квартали (19,2% площі), переважно представлені сосновими молодняками I–II класів пожежної небезпеки поблизу автомобільних доріг. Середній ризик характерний для 58 кварталів (48,3%) з переважанням насаджень II–III класів. Низький ризик притаманний 39 кварталам (32,5%), де домінують листяні та мішані насадження IV–V класів на вологих ділянках.

Важливою закономірністю є те, що близькість до доріг та населених пунктів збільшує ймовірність виникнення пожежі у 2,5–3,2 рази, що узгоджується з результатами польського дослідження Kolanek et al. (2021). Кwartали, розташовані у межах 500 м від доріг, характеризувалися

апостеріорною ймовірністю пожежі 0,018–0,024, тоді як віддалені квартали — лише 0,006–0,009.

Історія попередніх пожеж також виявилася значущим предиктором: квартали, де пожежі траплялися упродовж останніх 10 років, мали у 1,8 раза вищу ймовірність повторного займання. Це може пояснюватися як особливостями типу лісорослинних умов (сухі бори на піщаних ґрунтах), так і соціальними чинниками (близькість до місць відпочинку, традиційні маршрути руху населення).

Модель Байєса показала високу прогностичну здатність, а саме 87% пожеж 2023 р. відбулися саме у кварталах високого та середнього ризику (див. рис. 3). Це підтверджує доцільність використання байєсівського підходу для оптимізації розміщення профілактичних заходів та пожежної інфраструктури, як це було продемонстровано Renkas et al. (2022) для природних екосистем.

Порівняльний аналіз двох досліджуваних підприємств мав як спільні закономірності, так і регіональні відмінності. Спільною рисою є домінування соснових насаджень II–III класів пожежної небезпеки (див. табл. 2), що створює високий базовий рівень ризику. Однак ефективність профілактичних заходів істотно відрізняється, так у Бехівському лісництві вдалося зменшити середню площу пожежі від 2,42 до 0,30 га (див. табл. 1), тоді як в Олевському лісовому господарстві цей показник залишався на рівні 1,5–2,0 га.

Таблиця 4. Розподіл кварталів Бехівського лісництва за категоріями пожежного ризику (модель Байєса)

Категорія ризику	Діапазон ймовірності P	Кількість кварталів	Частка від загальної площі, %	Переважаючі характеристики
Високий	$> 0,015$	23	19,2	Соснові молодняки, близькість доріг
Середній	0,008–0,015	58	48,3	Насадження II–III класів небезпеки
Низький	$< 0,008$	39	32,5	Листяні насадження на вологих ділянках
Разом	—	120	100,0	—

Ключовим чинником, що визначає пожежну ситуацію з 2022 р., є військові дії (див. *рис. 1*). Їхній вплив є нерівномірним: найбільше постраждали лісництва, розташовані ближче до зони активних бойових дій або на шляхах руху військової техніки.

Важливою є взаємодія між кліматичними та антропогенними чинниками. За даними Boychenko et al. (2025), потепління на 0,6–0,68°C за декаду та зниження опадів на 3–7% створюють сприятливі умови для пожеж. У поєднанні з військовими діями (45% причин) та традиційною антропогенною активністю (35% – випалювання трави, підпали) формується синергічний ефект, що пояснює різке зростання як кількості, так і площі пожеж у 2022–2023 рр. (див. *табл. 1*, див. *рис. 1*).

ВИСНОВКИ

У результаті комплексного дослідження лісових пожеж у північно-східній частині Житомирської обл. встановлено регіональні особливості їх динаміки, з'ясовано екологічні наслідки для ґрунтового покриву та охарактеризовано ефективність прогнозування пожежних ризиків.

1. Виявлено критичне погіршення пожежної ситуації у період 2022–2023 рр., коли площа пожеж в Україні зросла від 0,3 тис. га (2021 р.) до 51 тис. га (2023 р.), що у 170 разів перевищує довоєнний рівень. Встановлено, що у 45% випадків основною причиною стали військові дії. Водночас, у Бехівському лісництві зростання кількості пожеж удвічі супроводжувалося зменшенням їх площі втричі (від 2,42 до 0,30 га),

що свідчить про підвищення ефективності раннього виявлення та оперативного реагування.

2. Визначено істотні відмінності у структурі пожежної небезпеки лісництв філії «Олевське лісове господарство»: середній клас варіює від 2,15 (Покровське) до 2,79 (Кам'янське). Встановлено, що насадження V класу небезпеки становлять лише 3–5% площі, тоді як домінують соснові насадження II–III класів (понад 60%), що створює високий базовий рівень пожежного ризику.

3. На основі аналізу 87 зразків з 30 ґрунтових розрізів встановлено статистично достовірні ($p < 0,01$) зміни властивостей ґрунтів: підвищення рН від 6,5–7,0 до 7,35–7,55 та зниження вмісту органічного вуглецю на 15–40%. З'ясовано, що на ділянках дворічної давності вміст органічного вуглецю залишався зниженим, що вказує на тривалий період відновлення (5–10 років).

4. Застосування моделі Байєса для 120 кварталів Бехівського лісництва дозволило виділити три категорії ризику: високий (19,2%), середній (48,3%) та низький (32,5%). Встановлено, що близькість до доріг збільшує ймовірність пожежі у 2,5–3,2 раза. Модель показала високу прогнозувальну здатність: 87% пожеж 2023 р. відбулися у кварталах високого та середнього ризику.

5. Виявлено синергічний ефект взаємодії кліматичних (потепління 0,6–0,68°C за декаду), військових (45% причин) та антропогенних (35% – випалювання трави) чинників, що пояснює різке зростання площі пожеж у 2022–2023 рр.

ЛІТЕРАТУРА

- Boychenko, S., Kuchma, T., Karamushka, V., Maidanovych, N., & Kozak, O. (2025). Wildfires and climate change in the Ukrainian Polissia during 2001–2023. *Sustainability*, 17(5), 2223. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17052223>.
- Nykytiuk, Y., & Podolian, O. (2025). Ecological determinants of the spatiotemporal dynamics of wildfires in the Polissia and forest-steppe zones of Ukraine. *Agrology*, 8(3), 140–152. DOI: <https://doi.org/10.32819/202518>.
- Kirkland, M., Atkinson, P., Pearce-Higgins, J., De Jong, M., Dowling, T., Grummo, D., ... Ashton-Butt, A. (2023). Landscape fires disproportionately affect high conservation value temperate peatlands, meadows, and deciduous forests, but only under low moisture conditions. *The Science of the Total Environment*, 884, 163849. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163849>.
- Karamushka, V., Boychenko, S., & Nazarova, O. (2022). Climate impact drivers provoke fires in protected areas of Polissia. In *16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580238>. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2022580238>.

5. Karamushka, V., Kuchma, T., Boychenko, S., & Nazarova, O. (2023). Climate change and fires in the Ukrainian Polissia region. In *17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520235>. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.2023520235>.
6. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. (2024). *Статистика надзвичайних ситуацій в Україні за 2015–2023 роки*. <https://www.dsns.gov.ua/>
7. Зібцев, С. В., Сошенський, О. М., Миронюк, В. В., & Гуменюк, В. В. (2019). Моніторинг ландшафтних пожеж Транскордонної Рамсарської території «Ольмани—Переброди» за даними дистанційного зондування Землі. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 134, 88–95. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.134.2019.88>. URL: <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/article/view/214>.
8. Сидоренко, С. Г., & Сидоренко, С. В. (2020). Аналіз горимості лісів України як передумова лісопожежного районування. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 137, 91–101. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.137.2020.91>. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/fil/Додає/view/ByFileId/1223488>.
9. Raichuk, L., Shvydenko, I., & Kuchma, T. (2024). Climatic risks and forest ecosystems: The interaction between deforestation and climate change. *Balanced Nature Using*, 2, 18–26. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2024.309922>.
10. Державне агентство лісових ресурсів України. (2024). *Охорона лісів від пожеж 2025 рік*. URL: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisovogospodarstvo/ohorona-i-zahist-lisiv/ohorona-lisiv-vid-pozhezh>.
11. Didenko, P., Ustylenko, V., & Bakay, B. Y. (2019). Forest fires in the Polissia and their impact on the environment. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 45, 136–141. DOI: <https://doi.org/10.36930/42194518>.
12. Renkas, A., Popovych, V., & Rudenko, D. (2022). Optimization of fire station locations to increase the efficiency of firefighting in natural ecosystems. *Environmental Research, Engineering and Management*, 78(1), 89–101. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.erem.78.1.25581>.
13. Kolanek, A., Szymanowski, M., & Raczyk, A. (2021). Human activity affects forest fires: The impact of anthropogenic factors on the density of forest fires in Poland. *Forests*, 12(6), 728. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12060728>.
14. Бумар, Г., Германчук, В., & Бельська, О. (2021). Багаторічний моніторинг пожеж в Поліському природному заповіднику та їх наслідки. *Вісник Біосферного заповідника «Асканія-Нова»*, (22), 10–16. DOI: <https://doi.org/10.53904/1682-2374/2020-22/2>. URL: <http://visti.askania-nova.kherson.ua/index.php/journal/article/view/4>.
15. Ворон, В. П., Мельник, Є. Є, Іванчіва, Є. В, Тимочук, І. В., & Ткач, О. М. (2019). Зміни в ґрунті соснових насаджень після пожежі. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 135, 130–139. DOI: <https://doi.org/10.33220/1026-3365.135.2019.130>. URL: <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/article/view/240?articlesBySameAuthorPage=2>.
16. Vyshnevskiy, D. (2024). Muroid rodent communities in areas with varying degrees of fire damage: The Chernobyl polygons. *Theriolgia Ukrainica*, 27, 112–118. DOI: <https://doi.org/10.53452/tu2712>.
17. Soshenskiy, O., Myroniuk, V., Zibtsev, S., Gume-niuk, V., de Miguel Diez, F., & Vasylyshyn, R. (2024). Mapping Wildland-urban interfaces to support wild-fire management over fire-prone forest outskirts of the Zhytomyr region. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 15(2), 23–40. DOI: <https://doi.org/10.31548/forest/2.2024.23>.
18. Kratiuk, O., Aharova, M., & Romaniuk, R. (2024). The impact of forest fires on pine plantations in the branch «Korostyshiv Forestry». *Grafil of Science*, 38, 150–156. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.12.04.2024.026>. URL: <https://www.neliti.com/publications/635525/the-impact-of-forest-fires-on-pine-plantations-in-the-branch-korostyshiv-forestr>.
19. Райчук, Л. А., Швиденко, І. К., & Чоботько, Г. М. (2025). Відновлення лісових екосистем як основа збалансованого розвитку агроландшафтів Українського Полісся. *Агроекологічний журнал*, 1, 24–31. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2025.327085>. URL: <https://journalagroeco.org.ua/article/view/327085>.
20. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. (2005). [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України. URL: http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc--page?id_doc.
21. ДСТУ ISO 10381-2:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Ч.2. Настанови щодо методів відбирання проб (ISO 10381-2:2002, IDT). (2006). [Чинний від 2006-04-01]. Київ: Держспоживстандарт України. URL: http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc--page?id_doc=58855.
22. *Методичні вказівки для проведення лабораторних занять з дисципліни «Ґрунтознавство»* (2022). Умань: Уманський національний університет садівництва. URL: <https://biology.udau.edu.ua/assets/files/molodshij--bakalavr/metodichki/metodichni-vkazivki-gruntoznavstvo.pdf>.
23. Moroz, V. (2024). Analysis and forecasting of the scale and impact of forest fires on ecosystems of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 15(3), 43–60. DOI: <https://doi.org/10.31548/forest/3.2024.43>.

Дата першого надходження рукопису до редакції: 04.12.2025
 Дата прийняття статті до друку після рецензування: 11.01.2026
 Дата публікації: 27.02.2026