

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ПРИРОДНОЇ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ДІЛЯНОК ЛІСОВОГО ФОНДУ НА ОСНОВІ РИЗИКІВ ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ

С.Г. Сидоренко¹, Є.Є. Мельник¹, О.І. Боцула², І.М. Коваль¹,
В.П. Ворон¹, С.В. Сидоренко¹, Р.В. Гуржій³

¹ Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації імені Г.М. Висоцького (м. Харків, Україна)

e-mail: serhii88sido@gmail.com; ORCID: 0000-0002-5972-0067

e-mail: wudckij1985@gmail.com; ORCID: 0000-0002-9821-2751

e-mail: koval_iryua@ukr.net; ORCID: 0000-0001-6328-1418

e-mail: 52corvus@gmail.com

e-mail: svit23sydorenko@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1426-7614

² Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)

e-mail: botsulaiar@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7047-0102

³ Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна)

e-mail: roman.hurzhii@nubip.edu.ua; ORCID: 0000-0003-3777-749X

Здійснено аналіз горимості лісів ДП «Жовтневе ЛГ» та рівнів пожежної небезпеки у розрізі лісництв. Досліджено просторовий розподіл щільності пожеж на території лісового фонду та у 500 метровій буферній зоні довкола лісових урочищ. У публікації описано методику, яка дає можливість удосконалити існуючу методику оцінювання природної пожежної небезпеки ділянок лісового фонду на основі ризик-орієнтованого підходу. За алгоритмом Kernel density з допомогою десктопних GIS (геоінформаційних) систем побудовано мапу ймовірності виникнення пожеж для території підприємства. За результатами роботи алгоритму Kernel Density виявлено основні центри горимості і щільність пожеж, та розподілено територію підприємства на класи за ймовірністю пожеж за наступною класифікацією ймовірності виникнення пожеж. Запропоновано підходи для інтеграції ймовірності виникнення пожеж до шкали природної пожежної небезпеки і здійснено через методику «матриць ризику». Так, поєднання класів природної пожежної небезпеки із класами ймовірності виникнення пожеж дало змогу отримати інтегрований показник БПР (Бал пожежного ризику), який включає як рівень природної пожежної небезпеки, так і ймовірність виникнення пожежі. Для верифікації результатів було здійснено розрахунки фактичної горимості (щільності пожеж та горимості за площею) для кожного класу національної шкали КППН та для класів БПР кожного таксаційного виділу. Отже, удосконалена шкала на основі ризик-орієнтованого підходу (бали пожежного ризику) більш повно відображає ступінь небезпеки у лісі, опираючись не лише на природні особливості ділянки лісового фонду, але й зважаючи на просторове розміщення джерел вогню та частоту виникнення пожеж на кожній ділянці.

Ключові слова: лісові пожежі, пожежні ризики, бал пожежного ризику, охорона лісу від пожеж.

ВСТУП

В Україні для визначення пожежної небезпеки використовують два не пов'язані один із одним показники: клас природної пожежної небезпеки (далі КППН) І.С. Мелехова, уточнений для лісів України [1],

і клас пожежної небезпеки за погодними умовами В.Г. Нестерова [2], з певними удосконаленнями та уточненнями для окремих регіонів України [3; 4]. Горимість лісових насаджень наразі не прив'язана до національної шкали природної пожежної небезпеки. Сучасна національна шкала природної пожежної небезпеки ділянок

© С.Г. Сидоренко, Є.Є. Мельник, О.І. Боцула, І.М. Коваль, В.П. Ворон, С.В. Сидоренко, Р.В. Гуржій, 2023

лісового фонду базується на лісівничій характеристиці (склад, вік, наявність підросту та підліску) кожного таксаційного виділу (або його категорії) та гігروتопу. Також враховується рівень радіоактивного забруднення ділянок лісового фонду [2]. Разом із тим, не враховується горимість кожної ділянки (ймовірності виникнення пожежі). Отже, виникає ситуація, коли на найбільш пожежонебезпечних ділянках I класу КППН пожежі не виникають упродовж десятиліть, і навпаки ділянки вищих класів (III-IV КППН) можуть пошкоджуватися пожежами кожні кілька років, що залежить не лише від природних характеристик ділянок лісового фонду, але і комплексу антропогенних чинників, які досить складно врахувати. Зважаючи на це, доповнення існуючої шкали показниками ймовірності виникнення пожежі дасть можливість істотно покращити ідентифікацію найбільш уразливих і небезпечних ділянок із високими пожежними ризиками. Такі дані є необхідними для раціонального планування профілактичних протипожежних заходів у рамках протипожежного впорядкування лісів.

Метою дослідження є удосконалення шкали природної пожежної небезпеки ділянок лісового фонду України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Останніми роками сектор екології лісу УкрНДІЛГА займається пожежною тематикою, зокрема оцінюванням пожежних ризиків лісів та інших природних ландшафтів [5–7].

Підходи до оцінювання природної пожежної небезпеки істотно відрізняються, більшість країн мають свої національні системи оцінювання пожежної небезпеки або ж пожежних ризиків. Наприклад, у Китаї для розробки стратегій управління пожежами для пожежних підрозділів, а також для ефективного планування та зменшення потенційних пожежних ризиків використовують методи машинного навчання [8]. В Європі, та деяких інших країнах світу для оптимального планування захисту лісу

від пожеж покладаються на концепцію пожежних ризиків, тобто класифікацію ландшафтів, які одночасно мають як найвищу пожежну небезпеку (потенційні наслідки пожежі), так і найвищу ймовірність виникнення пожеж. Урахування обох цих складових забезпечується використанням ризик-орієнтованого підходу [9–11]. Такі чинники визначають необхідність, доцільність та черговість проведення протипожежних заходів, пріоритезацію у створенні протипожежних бар'єрів та догляду за ними, інших заходів із управління горючими матеріалами тощо. Однак при цьому не існує єдиного підходу до оцінювання пожежного ризику або ж пожежної небезпеки, як одного із його компонентів. Наприклад, остання модифікація оцінювання потенційного ризику лісових пожеж у Польщі, яка була виконана у 2018 р. [12].

Під час оцінювання пожежних ризиків враховують комплекси змінних, які умовно можна розподілити на природні, кліматичні й соціально економічні. Інший же підхід базується на оцінюванні ймовірності виникнення пожеж та їх потенційних наслідків [13–16].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювалися у насадженнях найбільш горілого у Харківському ОУЛМГ ДП «Жовтневе ЛГ», де ліси перебувають під значним антропогенним тиском. На першому етапі досліджень використано базу даних лісових пожеж ДП «Жовтневе ЛГ» за період 2001–2021 рр. Отриману базу даних було прив'язано до квартальної сітки ДП «Жовтневе ЛГ» (кількість лісових пожеж у кожному кварталі). Окремо розраховувалися показники горимості (за площею (фактична горимість) та кількістю випадків пожеж (щільність лісових пожеж)) для окремих кварталів, груп класів КППН та території лісництв.

Щільність лісових пожеж ($R_{dens.}$) розраховували за формулою (1) [6; 17]:

$$R_{dens.} = \frac{1000 \sum_{i=1}^n N_i}{n \times F_{for.area}}, \quad (1)$$

де R_{dens} — середньорічна щільність пожеж на 1 000 га площі лісів, кількість випадків/роки/1 000 га; N_i — щорічна кількість лісових пожеж, кількість випадків/роки; n — кількість років за період дослідження (не менше ніж 10 років); $F_{for\ area}$ — загальна площа лісів регіону дослідження, га.

Фактичну горимість лісів за площею ($R_{f.comb}$) розраховували за формулою (2) [6; 17]:

$$R_{f.comb} = \frac{1000 \sum_{i=1}^n F_{burnt.area}}{n \times F_{for.area}}, \quad (2)$$

де $R_{f.comb}$ — середньорічне значення фактичної горимості лісів на 1 000 га, га/роки/1 000 га; $F_{burnt.area}$ — щорічна площа лісових пожеж, га/роки; n — кількість років за період дослідження (не менше ніж 10 років); $F_{for.area}$ — загальна площа лісів регіону дослідження, га.

Для врахування ризиків, пов'язаних із виникненням пожеж поза лісами і поширення їх углиб масивів, проведено розрахунок кількості пожеж у 500 метровому буфері навколо лісових масивів та урочищ досліджуваних лісництв. Буфери та інший картографічний матеріал побудовано за допомогою програмного забезпечення Qgis. Дані щодо кількості пожеж у буферах отримано з використанням даних ДЗЗ (продукт MODIS, завантажені з ресурсу FIRMS). Для відсіювання неякісних та недостовірних даних обрано поріг відсічення 30% confidence. Після цього у Qgis виділено термальні аномалії, які просторово розміщуються у буферах.

Лісові пожежі разом із ландшафтними пожежами, що виникають у буферах використано для аналізу Kernel density, таким чином побудовано мапу ймовірності виникнення пожеж для території ДП «Жовтневе ЛГ». Kernel density розраховувався за допомогою програмного забезпечення Qgis (проміжні розрахунки Mean Center, Spatial Standart Deviation), ключовий параметр Spatial standart distance (h_{opt}) розраховано за формулою (3):

$$h_{opt} = \left[\frac{2}{3n} \right]^{1/4} \sigma, \quad (3)$$

де n — кількість випадків пожеж, шт; σ — просторовий показник стандартного відхилення.

Інтеграція ймовірності виникнення пожеж до шкали природної пожежної небезпеки здійснено через методика побудови матриць ризику [11].

Обрано три модельні лісництва: Васищівське, Бабаївське, Мерефянське.

Досліджувані лісництва мають у складі значну частку хвойних лісів, близький середньозважений КППН (Васищівське — 2,82 Бабаївське — 2,68, Мерефянське — 2,48) (рис. 1 та табл. 1), відрізняються віддаленістю від м. Харкова.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За методикою досліджень побудовано буфери довкола урочищ ДП «Жовтневого ЛГ» (рис. 2) та додано просторову базу даних лісових пожеж та ландшафтних пожеж у 500 метровому буфері (рис. 3).

За результатами роботи алгоритму Kernel Density виявлено основні центри горимості і щільність на території ДП «Жовтневого ЛГ» та розподілено територію підприємства на класи за ймовірністю виникнення пожеж (рис. 4, 5). Так, найбільша кількість пожеж виникає на території лісництв, що знаходяться у безпосередній близькості до м. Харкова. Найбільша ймовірність виникнення пожеж виявлена у Васищівському лісництві, помірні рівні у Бабаївському л-ві та низькі у Мерефянському л-ві.

Зважаючи на різну щільність пожеж у кожному регіоні країни, для легшого масштабування результатів дослідження обрано таку класифікацію ймовірності виникнення пожеж за алгоритмом Kernel Density:

1 — низька (до 10,6 випадків — середнє арифметичне по всій мапі) позначається зеленим кольором;

2 — середня (від 10,7 до 28 — 1,01–1,5 σ) позначається помаранчевим кольором;

3 — висока (понад 28) понад 1,5 σ) червоним кольором.

Інтеграція ймовірності виникнення пожеж до шкали природної пожежної небез-

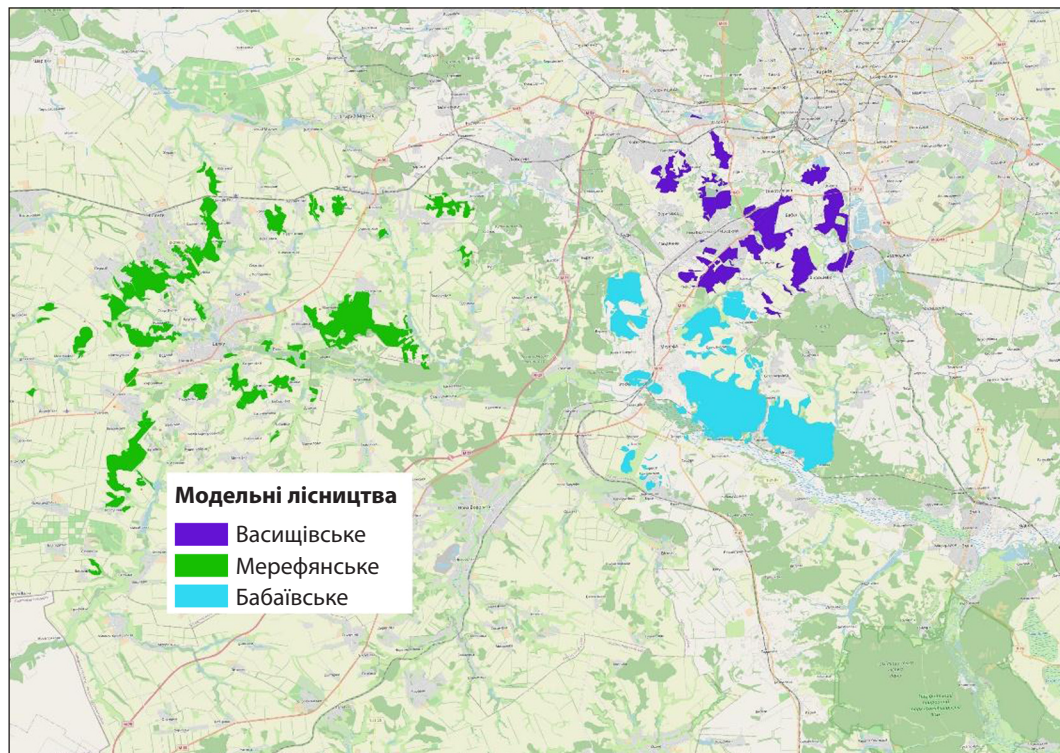


Рис. 1. Розташування Васищівського, Бабаївського та Мерефянського лісництв

Таблиця 1. Розподіл земель ДП «Жовтневе ЛГ» за класами природної пожежної небезпеки, га

Лісництво	Клас природної пожежної небезпеки					Разом	Середній клас КППН
	I	II	III	IV	V		
Бабаївське	118,2	772,5	2172,6	96,0	166,7	3326,0	2,82
Валківське	136,1	681,4	4955,9	91,1	103,5	5968,0	2,89
Васищівське	347,3	1756,6	3080,6	139,4	268,1	5592,0	2,68
Водолазьке	197,4	606,8	1922,1	37,9	44,8	2809,0	2,68
Золочівське	162,6	1670,5	4554,6	254,0	274,3	6916,0	2,82
Люботинське	182,5	90,4	4006,0	71,2	77,9	4428,0	2,94
Мерчанське	125,0	217,1	4832,8	99,1	138,0	5412,0	2,98
Мерефянське	543,9	2529,6	2316,0	242,2	189,3	5821,0	2,48
Рокитянське	280,1	1329,5	1738,8	205,0	96,6	3650,0	2,59
Коломацьке	129,6	178,9	4056,3	72,1	106,1	4543,0	2,96
Усього	2222,7	9833,3	33635,7	1308,0	1465,3	48465,0	2,79

Примітка: КППН – клас природної пожежної небезпеки.

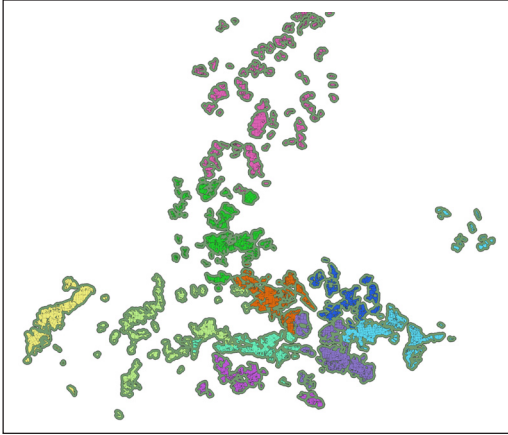


Рис. 2. Створення буферу (буфер 500 м) довкола лісових урочищ для оцінювання ризиків поширення пожеж із відкритих ландшафтів

пеки здійснено через методу матриць ризику. Так, поєднання класів КППН із класами ймовірності виникнення пожеж дає можливість отримати інтегрований показник — бал пожежного ризику (далі БПР) (табл. 2).

Зважаючи на це, насадження, що отримали найнижчий БПР (1–4) є найменш пожежонебезпечними, а насадження з БПР понад 8 (8–15) — найбільш пожежонебезпечними.

Розрахунок середньозважених показників БПР та КППН у лісах модельних лісництв виявив, що найвищий показник БПР є характерним для Васищівського л-ва (8,87), найнижчий він у Мерефянському л-ві (4,62), хоча за середньозваженим класом природної пожежної небезпеки ліси Мерефянського л-ва є найбільш пожежонебезпечними (рис. 6). Тобто ліс-

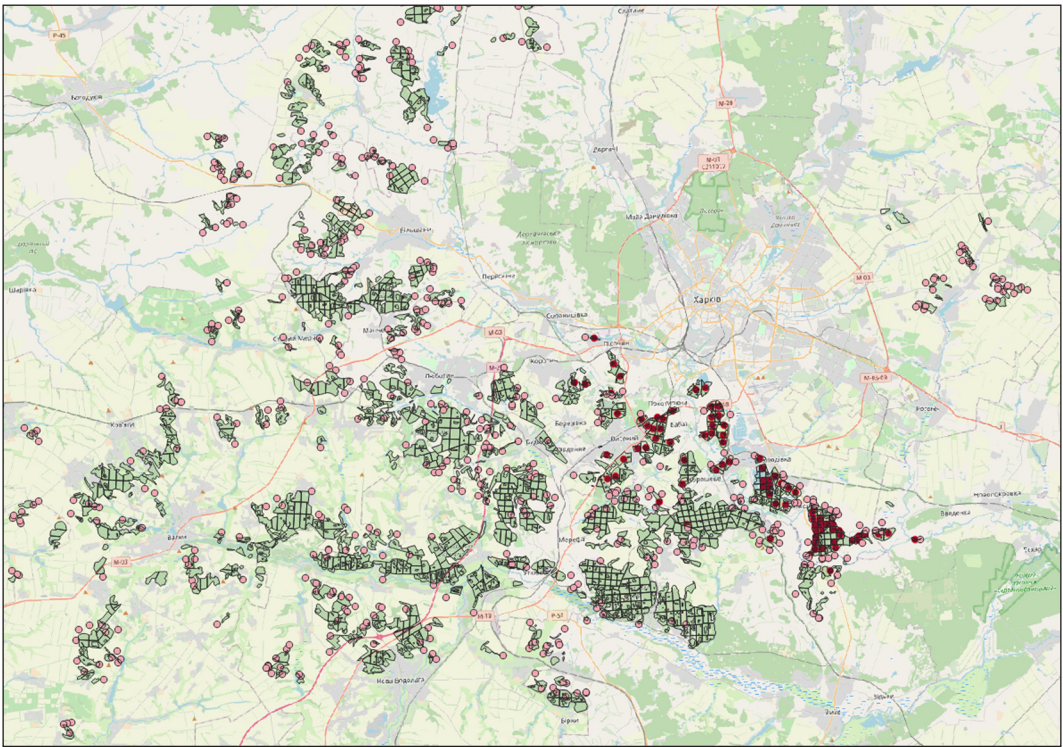


Рис. 3. Пожежі на території ДП «Жовтневе ЛГ»

Примітка: Лісові пожежі (червоний колір) та ландшафтні пожежі (рожевий) у безпосередній близькості до ділянок лісового фонду (буфер 500 м).

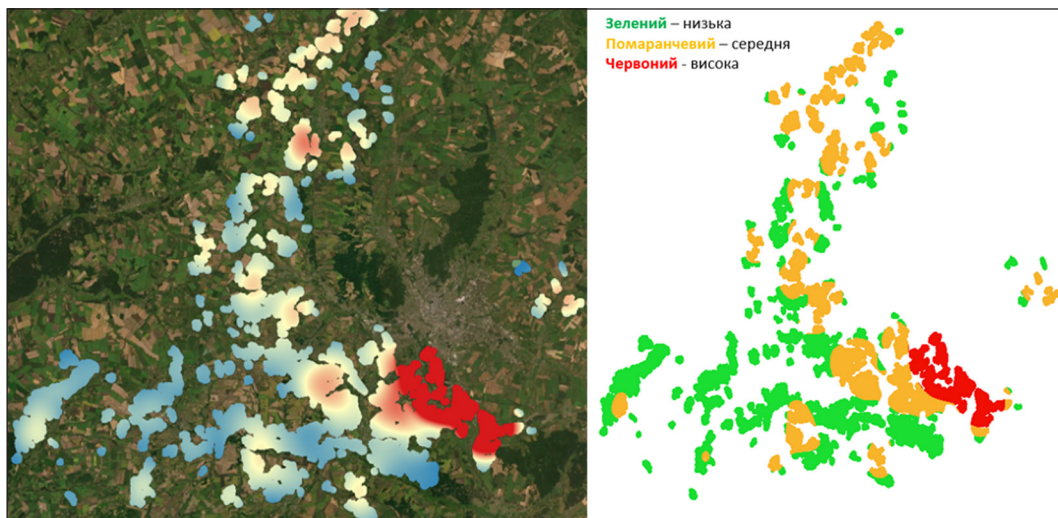


Рис. 4. Мапа ймовірності виникнення пожеж у лісах ДП «Жовтневе ЛГ»

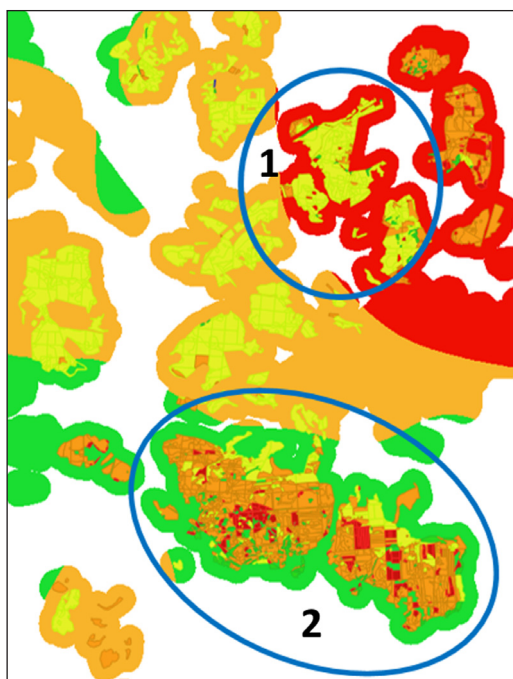


Рис. 5. Просторове розміщення насаджень за класами КППН:

1 – помірні класи природної пожежної небезпеки (III), але висока ймовірність виникнення пожеж;
2 – високі класи природної пожежної небезпеки (I–II класи), але низька ймовірність виникнення пожеж

Таблиця 2. Модифікація шкали КППН на основі матриці ризиків

Матриця пожежної небезпеки		Ймовірність виникнення пожеж		
		низька (1)	середня (2)	висока (3)
Пожежна небезпека ділянок лісового фонду (ПНДФ)	V	1	2	3
	IV	2	4	6
	III	3	6	9
	II	4	8	12
	I	5	10	15

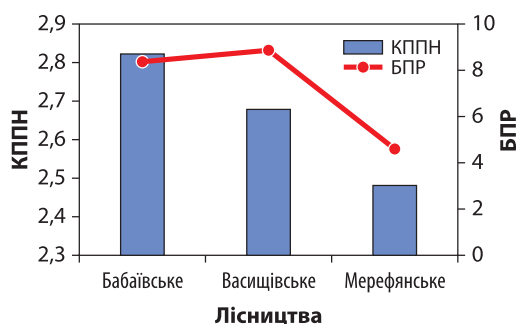


Рис. 6. Середньозважені показники БПР та КППН у модельних лісництвах

Таблиця 3. Горимість ділянок лісового фонду за класами природної пожежної небезпеки

КППН	Площа пожеж, га	Кількість пожеж, випадків	Горимість на 1000 га лісового фонду	
			щільність	площа
I	1,97	67	83,64	2,46
II	26,04	513	83,68	4,25
III	2,20	31	4,00	0,29
IV	0	0	0,00	0,00
V	0	0	0,00	0,00
Усього	30,23	611	41,56	2,06

ництво, ліси якого характеризується незначною кількістю пожеж, за національною шкалою КППН, класифікується як найбільш пожежонебезпечні.

Для верифікації результатів було проведено розрахунки фактичної горимості (щільності пожеж та горимості за площею) для кожного класу національної шкали КППН на території модельних лісництв (табл. 3).

З огляду на це, виявлено значні рівні горимості, які характерні лише для перших двох класів КППН (щільність пожеж 83,64 випадки на 1000 га лісів), горимість лісів, які мають вищі класи КППН практично відсутня, що свідчить про потребу диференціації насаджень саме цих двох класів.

Натомість класифікувавши насадження з присвоєнням балів за БПР виявлено збільшення показників горимості лісів та щільності пожеж у міру збільшення показника БПР. Так, за значеннях БПР 2–3 по-

жежі відсутні, у межах 4–8 – горимість помірна (від 1,25 до 3,7 випадків на 1000 га), понад 9 балів – горимість різко підвищується і досягає піку за значення БПР 13 балів (224,5 випадків на 1000 га) (рис. 7).

За результатами регресійного аналізу виявлено, що варіація показників горимості лісів як за кількістю, так і за площею залежала від балу БПР присвоєних для кожної ділянки лісового фонду. Також встановлено сильне позитивне кореляційне відношення між показниками БПР та горимості, яке свідчить щодо збільшення показників горимості лісів зі підвищенням БПР (див. рис. 7).

Зважаючи на розподіл горимості лісів кожного з класів за БПР (див. табл. 2), доцільно використовувати цю класифікацію ділянок лісового фонду під час проектування протипожежних профілактичних заходів у лісах та розміщення лісових пожежних станцій.

ВИСНОВКИ

Удосконалена шкала природної пожежної небезпеки більш повно відображає ступінь небезпеки у лісі, опираючись не лише на природні особливості ділянки лісового фонду, але й зважаючи на просторове розміщення джерел вогню та частоту виникнення пожеж на кожній ділянці.

Встановлено, що фактичні пожежні ризики на ділянках лісового фонду, які є функцією від ймовірності виникнення пожежі і її потенційних наслідків, неможливо визначити ґрунтуючись на застарілу нормативно-правову базу України, що регулює забез-

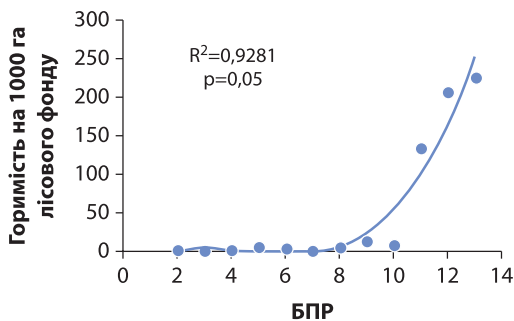


Рис. 7. Підвищення горимості лісів залежно від збільшення значення БПР на ділянках лісового фонду модельних лісництв

печення пожежної безпеки у лісах України. Так, аналіз горимості лісів, враховуючи їх розподіл за КППН, виявив високі показники горимості, лише для перших двох класів КППН (щільність пожеж сягала 83,64 випадки на 1000 га лісів), у той час горимість лісів, які мають вищі класи КППН (III–IV класи) практично відсутня, що свідчить про потребу перегляду цього підходу.

Виявлено, що запропонований алгоритм удосконалення шкали КППН на базі ризик-орієнтованого підходу повною мірою відображає фактичну горимість насадження. Так, встановлено закономірність у збільшенні показників горимості лісів та щільності пожеж у міру підвищення показника БПР. За результатами класифіка-

ції насаджень за БПР відзначені ділянки лісового фонду, що мають низькі пожежні ризики (значення БПР 2–3 — пожежі практично відсутні); помірні ризики — за значення БПР від 4 до 8 (горимість від 1,25 до 3,7 випадків на 1000 га); висока горимість за значення БПР понад 9 балів; надзвичайна горимість — за значення БПР 13 балів (горимість сягає 224,5 випадків на 1000 га).

Запропонована класифікація насаджень може бути використана з метою розробки проєктів протипожежного впорядкування лісів, планування й прийняття управлінських рішень і господарських заходів щодо запобігання виникненню лісових пожеж та боротьби з ними.

ЛІТЕРАТУРА

1. Правила пожежної безпеки в лісах України: наказ від 27.12.2004 р. № 278. *Державне агентство лісових ресурсів України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-05>.
2. Методичні рекомендації щодо зниження небезпеки впливу лісових пожеж на арсенали, бази і склади боєприпасів, що розташовані в лісових масивах: наказ від 25.08.2011 р. № 890. *Міністерство Надзвичайних Ситуацій України*. URL: <http://www.dsns.gov.ua/files/2011/8/26/890.pdf>.
3. Мельник Є.Є. Прогнозування пожежної небезпеки за умовами погоди в лісах зеленої зони міста Харків. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2018. № 132. С. 131–140.
4. Борсук О.А. Комплексна оцінка пожежної небезпеки лісів зони відчуження Чорнобильської АЕС. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер.: Лісівництво та декоративне садівництво*. 2013. № 187 (3). С. 167–176.
5. Сидоренко С.Г. Пожежні режими ландшафтів Лівобережного Лісостепу. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2021. № 139. С. 115–123.
6. Сидоренко С.Г., Сидоренко С.В. Аналіз горимості лісів України як передумова лісопожежного районування. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2020. № 137. С. 91–101.
7. Ворон В.П., Коваль І.М., Сидоренко С.Г. та ін. Пірогенна трансформація сосняків України. Харків, 2021. 286 с.
8. Shao Y., Feng Z., Sun L. et al. Mapping China's Forest Fire Risks with Machine Learning. *Forests*. 2022. Vol. 13. Is. 6. P. 856. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13060856>.
9. Oom J., De Rigo D., Pfeiffer D. et al. Pan-European wildfire risk assessment, EUR 31160 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2022. DOI: <https://doi.org/10.2760/437309>, JRC130136.
10. Szczygieł R., Ubysz B., Kwiatkowski M. and Piwnicki J. Fire danger classification of Poland's forests. Report of the Forest Research Institute, Sękocin Stary. 2008.
11. Forestry Commission. Building wildfire resilience into forest management planning. Practice Guide. Edinburg, 2014. 44 p.
12. Szczygieł R., Kwiatkowski M., Kołakowski B. and Piwnicki J. Potential forest fire risk evaluation in Poland. *Folia Forestalia Polonica, Series A. Forestry*. 2020. Vol. 62. Is. 1. P. 39–45. DOI: <https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0005>
13. Baltaci U. and Yildirim F. Effect of Slope on the Analysis of Forest Fire Risk. *Haceteppe Journal of Biology and Chemistry*. 2020. Vol. 48. Is. 4. P. 373–379. DOI: <https://doi.org/10.15671/hjbc.753080>.
14. Hysa A., Spalevic V., Dudic B. et al. Utilizing the Available Open-Source Remotely Sensed Data in Assessing the Wildfire Ignition and Spread Capacities of Vegetated Surfaces in Romania. *Remote Sens*. 2021. Vol 13. Is. 14. P. 27–37. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13142737>.
15. Dorph A., Marshall E.K., Parkins K.A. and Penman T.D. Modelling ignition probability for human- and lightning-caused wildfires in Victoria, Australia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2022. Vol. 22. Is 10. P. 3487–3499. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-22-3487-2022>.
16. Lan Y., Wang J., Hu W. et al. Spatial pattern prediction of forest wildfire susceptibility in Central Yunnan Province, China based on multivariate data. *Natural Hazards*. 2022. Vol. 116. P. 565–586. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05689-x>.
17. Asenova M. Assessment and mapping of forest fire risk using GIS: a case study of Bulgaria. In: *Proceedings 7th International Conference on Cartography and GIS* (June 18–23, 2018). Sozopol, Bulgaria. Vol. 2. P. 978–986.

REFERENCES

1. Pravyly pozhezhnoi bezpeky v lisakh Ukrainy: nakaz vid 27.12.2004 [Rules of fire safety in the forests of Ukraine: order of 27.12.2004]. *Derzhavne ahent'stvo lisovykh resursiv Ukrainy — State Agency of Forest Resources of Ukraine*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0328-05> [in Ukrainian].
2. Metodichni rekomendatsiyi shchodo znyzhennya nebezpeky vplyvu lisovykh pozhezh na arsenaly, bazy i sklady boyeprypasiv, shcho roztashovani v lisovykh masyvakh: nakaz vid 25.09.2011 [Methodical recommendations for reducing the risk of fires in forest fires on arsenals, bases and warehouses of ammunition located in the forestmassifs: order of 25.09.2011]. *Ministerstvo Nadzvychnykh Sytuatsiy Ukrainy — Ministry of Emergency Situations of Ukraine*. URL: <http://www.dsns.gov.ua/files/2011/8/26/890.pdf> [in Ukrainian].
3. Melnyk, Ye.Ye. (2018). Prohnozuvannya pozhezhnoi nebezpeky za umovamy pohody v lisakh zelenoi zony mista Kharkiv [Forecasting of fire danger byweather conditions in forests of the green belt of Kharkiv city]. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia — Forestry and forest melioration*, 132, 131–140 [in Ukrainian].
4. Borsuk, O.A. (2013). Kompleksna otsinka pozhezhnoyi nebezpeky lisiv zony vidchuzhennya Chornobyl'skoyi AES [Comprehensive assessment of the fire hazard of forests of the Chornobyl NPP exclusion zone]. *Naukovyy visnyk NUBiP Ukrainy. Series: Lisivnytstvo ta dekoratyvne sadivnytstvo — Scientific Herald of NULES of Ukraine. Series: Forestry and Decorative Gardening*, 187, 3, 167–176 [in Ukrainian].
5. Sydorenko, S.H. (2021). Pozhezhni rezhymy landshaftiv Livoberezhnoho Lisostepu [Landscape fire regime patterns in the left-bank forest-steppe]. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia — Forestry and forest melioration*, 139, 115–123 [in Ukrainian].
6. Sydorenko, S.H. & Sydorenko, S.V. (2020). Analiz horymosti lisiv Ukrainy yak peredumova lisopozhezhnoho raionuvannya [Analysis of fire risks in Ukrainian forests as a prerequisite for anational forest fire zoning]. *Lisivnytstvo i ahrolisomelioratsiia — Forestry and forest melioration*, 137, 91–101 [in Ukrainian].
7. Voron, V.P., Koval, I.M., Sydorenko, S.G. et al. (2021). *Pirohenna transformatsiia sosniakiv Ukrainy [The pyrogenic transformation of pine stands in Ukraine] come out*. Kharkiv [in Ukrainian].
8. Shao, Y., Feng, Z., Sun, L. et al. (2022). Mapping China's Forest Fire Risks with Machine Learning. *Forests*, 13, 6, 856. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13060856> [in English].
9. Oom, J., De Rigo, D., Pfeiffer, D. et al. (2022). Pan-European wildfire risk assessment, EUR 31160 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 2022. DOI: <https://doi.org/10.2760/437309>, JRC130136 [in English].
10. Szczygieł, R., Ubysz, B., Kwiatkowski, M. & Piwnicki, J. (2008). Fire danger classification of Poland's forests. Report of the Forest Research Institute, Sękocin Stary [in English].
11. Forestry Commission (2014). Building wildfire resilience into forest management planning. Practice Guide. Edinburg [in English].
12. Szczygieł, R., Kwiatkowski, M., Kołakowski, B. & Piwnicki, J. (2020). Potential forest fire risk evaluation in Poland. *Folia Forestalia Polonica, Series A Forestry*, 62, 1, 39–45 [in English].
13. Baltaci, U. & Yildirim, F. (2020). Effect of Slope on the Analysis of Forest Fire Risk. *Hacetatepe Journal of Biology and Chemistry*, 48, 4, 373–379 [in English].
14. Hysa, A., Spalevic, V., Dudic, B. et al. (2021). Utilizing the Available Open-Source Remotely Sensed Data in Assessing the Wildfire Ignition and Spread Capacities of Vegetated Surfaces in Romania. *Remote Sensing*, 13, 14, 27–37. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13142737> [in English].
15. Dorph, A., Marshall, E.K., Parkins, K.A. & Penman, T.D. (2022). Modelling ignition probability for human- and lightning-caused wildfires in Victoria, Australia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22, 10, 3487–3499. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-22-3487-2022> [in English].
16. Lan, Y., Wang, J., Hu, W. et al. (2022). Spatial pattern prediction of forest wildfire susceptibility in Central Yunnan Province, China based on multivariate data. *Natural Hazards*, 116, 565–586. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05689-x> [in English].
17. Asenova, M. (2018). Assessment and mapping of forest fire risk using GIS: a case study of Bulgaria. *Proceedings, 7th International Conference on Cartography and GIS*. (pp. 978–986). Sozopol, Bulgaria [in English].

Стаття надійшла до редакції журналу 19.02.2023