



С. Г. СИДОРЕНКО, С. В. СИДОРЕНКО
АНАЛІЗ ГОРИМОСТІ ЛІСІВ УКРАЇНИ ЯК ПЕРЕДУМОВА
ЛІСОПОЖЕЖНОГО РАЙОНУВАННЯ

Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

В останні десятиліття у світі все частіше виникають особливо великі лісові пожежі, які завдають значних екологічних, соціальних та економічних збитків. Одним із способів зменшити ризик виникнення таких пожеж є ефективне забезпечення науково обґрунтованих обсягів заходів щодо протипожежної профілактики, яке має ґрунтуватися на оцінюванні пожежних ризиків та виявленні найуразливіших територій. У роботі оцінено щільність та горимість лісів України у регіональному аспекті. Визначено просторові та часові особливості лісових і ландшафтних пожеж, режимів пожеж і зв'язок цих показників із низкою соціально-економічних, кліматичних і природних чинників. Запропоновано розширення створеної колекції тематичних шарів, сумісних із GIS системами, які побудовані з використанням основних топографічних, кліматичних, природних і соціально-економічних змінних, що впливають на пожежну небезпеку на рівні лісів і природних ландшафтів. Отримані дані буде використано для розбудови лісопожежного районування України.

Ключові слова: щільність лісових пожеж, пожежні ризики, соснові ліси, пожежна небезпека.

Вступ. В останні десятиліття в країнах Європи все частіше виникають особливо великі лісові пожежі (Alberdi et al. 2015, de Rigo et al. 2016, 2017). Упродовж 2020 р. виникла низка великих лісових пожеж на Поліссі та Сході України, які завдали катастрофічних екологічних, соціальних та економічних збитків. Пожежонебезпечний період 2020 р. навіть за попереднім оцінюванням є найтяжчим за всю історію незалежної України. Такі прояви зміни клімату, як тривала відсутність опадів, їхній просторовий і часовий перерозподіл, підвищення середніх температур повітря, неминуче призведуть до підвищення рівнів пожежної небезпеки в лісах України. Повторювання років із аномально теплими безсніжними зимами сприятиме трансформації пожежних режимів на території України, загострюватиме пожежні ризики не лише у ранньовесняний період (березень – квітень), але й у зимовий (лютий). Іншим фактором, що підвищуватиме пожежні ризики, є прояви аномальних погодних умов (аномально тривалі посухи, значне підвищення швидкості вітру впродовж пожежонебезпечного періоду тощо) (de Rigo et al. 2017). Такі прояви зміни клімату матимуть значний вплив на пожежні ризики в лісах України. Для ефективної організації протипожежної профілактики та успішної боротьби з лісовими пожежами необхідним є розділення території лісового фонду на однорідні частини за комплексом природно-кліматичних, соціальних та економічних факторів. Такі фактори визначають необхідність проведення однакових видів та обсягів протипожежних заходів із аналогічними витратами сил і коштів на їхню реалізацію (Usenia et al. 2017). Розробка забезпечить раціональний розподіл ресурсів, сил і засобів пожежогасіння, зважаючи на фактичні ризики виникнення й поширення пожеж для кожного регіону країни.

Метою дослідження є оцінювання щільності та горимості лісів у регіональному аспекті, визначення основних природних і соціально-економічних чинників, що впливають на підвищення пожежної небезпеки в лісах України.

Матеріали й методи. Для оцінювання рівнів пожежних ризиків у різних регіонах України використано офіційні статистичні дані щодо кількості випадків лісових пожеж і пройденої вогнем площі (Public report 2020). Визначено показники щільності лісових пожеж ($R_{dens.}$) та горимості за площею ($R_{f.comb}$) (Asenova 2018). Пожежні ризики в кожному з регіонів визначено як добуток двох основних показників, які характеризують горимість лісів: щільності лісових пожеж і горимості за площею. Зважаючи на отримані дані, регіони України класифіковано на три рівня за пожежними ризиками: низький, середній, високий.

Щільність лісових пожеж ($R_{dens.}$) розраховували за формулою (1):

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

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):

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

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.

Пожежні ризики ($R_{f.risk}$) у кожному з регіонів визначено як добуток двох основних показників, які характеризують горимість лісів: щільності лісових пожеж та горимості за площею (3):

$$R_{f.risk} = R_{f.comb} \times R_{dens.} \quad (3)$$

де $R_{f.comb}$ – середньорічне значення фактичної горимості лісів на 1 000 га, га / роки / 1 000 га;

$R_{dens.}$ – середньорічна щільність пожеж на 1 000 га площі лісів, к-сть випадків / роки / 1 000 га.

Кліматичні дані взято з «Кліматичного кадастру України» (Climatic Cadastre of Ukraine 2006), для розрахунків використано середні багаторічні дані з метеостанцій у регіонах України (кліматична норма 1961–1990 рр.) та обраховано середні значення за метеостанціями кожного з регіонів.

Для оцінювання щільності ландшафтних пожеж використано дані про термальні аномалії, які зафіксовано сенсорами MODIS упродовж 2006–2019 рр. MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (спектрорадіометр помірно роздільної здатності)) – це сенсор, який розміщено на борту супутників Terra та Aqua, запущених NASA. Дані отримано відповідно до алгоритму MODIS MOD14/MYD14 Fire and Thermal Anomalies (Giglio et al. 2018).

Дані щодо населення у регіонах узято з офіційного сайту Державної служби статистики України (State Statistics Service 2020).

Для оцінювання поточного стану трав'яної рослинності та виявлення ознак усихання та відмирання травостоїв упродовж пожежонебезпечного періоду використано вегетаційний індекс (normalized difference vegetation index – $NDVI$). В основу розрахунків індексу покладено застосування нормалізованої різниці між мінімумом і максимумом відбиття у певному спектрі. $NDVI$ обчислено за такою формулою(4) (Tarpley et al.1984):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (4)$$

де RED та NIR – значення відповідних пікселей на зображеннях, отриманих у видимій (червоній) та ближній інфрачервоній ділянках спектра.

Відповідно до цієї формули, щільність рослинності (*NDVI*) у певній точці зображення дорівнює різниці інтенсивностей відбитого світла в червоному та інфрачервоному діапазонах, поділеній на їхню суму (Tarpley et al. 1984). Для побудови тематичних шарів із усередненими растровими даними за десятирічний період для кожного місяця використано дані продуктів (Didan 2015).

Аналіз лісового фонду проведено з використанням повидільної бази даних «Лісовий фонд України» ВО «Укрдержліспроєкт» за 2011 р.

Для просторового аналізу та побудови мап використано програмне забезпечення QGIS. Для статистичного аналізу використано пакет програм Statistica 10 від StatSoft.

Результати та обговорення. Для розрахунку горимості й щільності лісових пожеж необхідною умовою є визначення режимів пожеж та їхнього просторового розподілу в попередні роки.

Упродовж пожежонебезпечного періоду 2020 р. (рис. 1) лісовий сектор зіткнувся з безпрецедентними за площею лісовими пожежами. Такі пожежі виникли на тлі кліматичних аномалій, які є проявами глобальної зміни клімату. Подібні тенденції відзначено і в інших країнах, тобто збільшується частота виникнення особливо великих лісових пожеж (*mega fires*). Прогнозовано частіше повторення аналогічних аномальних умов, що сприяють появі таких пожеж. Тому відповідні служби мають бути готовими до боротьби з такими пожежами.

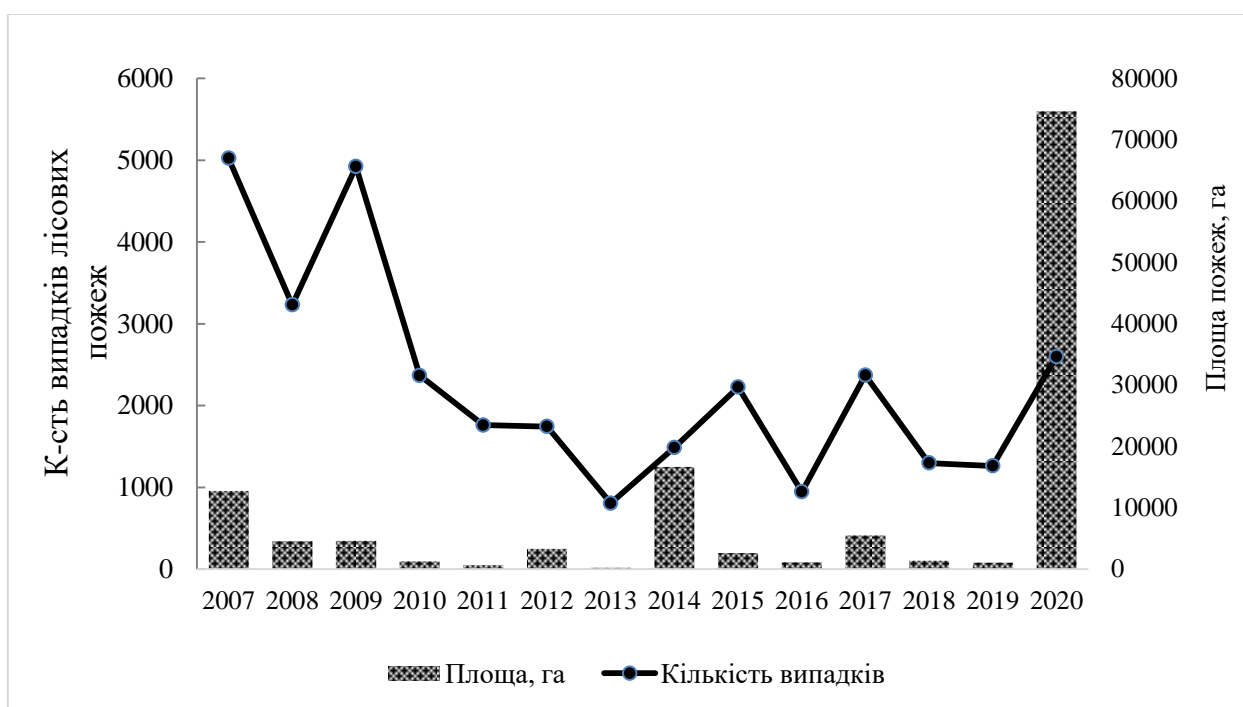


Рис. 1 – Розподіл лісових пожеж за кількістю та площею в Україні за період 2007–2019 рр. (у лісах держпідприємств, діяльність яких координує ДАЛРУ)

Для оцінювання пожежних ризиків обраховано горимість лісів України в регіональному аспекті та визначено основні фактори, які впливають на підвищення пожежної небезпеки лісів. Виявлено, що щільність лісових пожеж збільшується з північного заходу до південного сходу (рис. 2, *a*). Отже, найвищий ризик виникнення лісових пожеж традиційно залишається в Херсонській (10,6 випадку на 1 000 га), Луганській (4,5 випадку на 1 000 га), Дніпропетровській (2,3 випадку на 1 000 га) та Запорізькій (1,6 випадку на 1 000 га) областях. Також значну щільність пожеж виявлено в Київській області (1,8 випадку на 1 000 га), що пояснюється великою щільністю населення в регіоні.

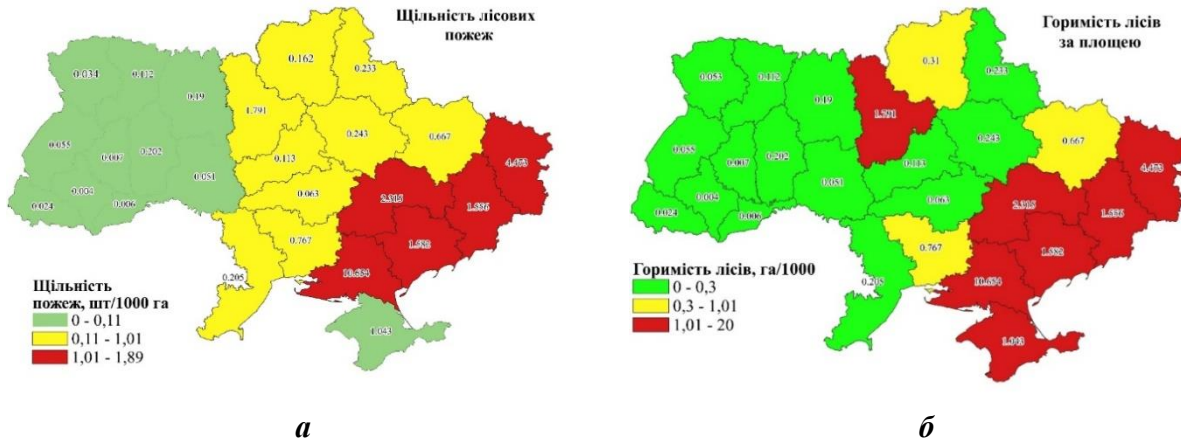


Рис. 2 –Щільність лісових пожеж (а) і горимість лісів (б) в Україні за адміністративними областями (за період 2007–2019 рр.)

Аналіз виявив тенденцію до підвищення рівня горимості лісів від Заходу до Південного Сходу, за винятком порівняно високої горимості лісів півночі України: Київської (1,8 га на 1 000 га) та Чернігівської (0,31 га на 1 000 га) областей (рис. 2, б). Це свідчить про підвищення пожежних ризиків і виникнення великих за площею пожеж саме на Поліссі, де значна частка площі вкрита сосновими лісами. Зважаючи на зміну клімату, саме цей регіон прогнозовано стане одним із найуразливіших до лісових пожеж, особливо в посушливі роки. У чистих соснових лісах цього регіону неминуче збільшиться ризик виникнення верхових пожеж. В Україні особливу небезпеку становитиме підвищення пожежної небезпеки ділянок лісового фонду, які традиційно вважали порівняно безпечними. Насамперед це стосується соснових лісів усіх груп віку, що ростуть у вологих і сирих гігротопах, зважаючи на значні запаси лісових горючих матеріалів (ЛГМ), що акумулюються за таких умов.

Під час тривалих посух значна частка ЛГМ як із групи живих, так і відмерлих набувають пірологічної стиглості й перетворюються на провідники горіння. Торф'яники, які зазвичай є надто вологими для виникнення пожеж, прогнозовано становитимуть все більшу загрозу, на що варто звернути особливу увагу, враховуючи складність гасіння торф'яних пожеж. Отже, ризик виникнення лісових пожеж на Поліссі з часом підвищуватиметься.

Зважаючи, що основними індикаторами пожежних ризиків є щорічна площа пройдених лісовими пожежами лісів і кількість пожеж, запропоновано використання комплексного показника пожежних ризиків у кожному регіоні (рис. 3). Так, визначено найбільш пожежоне-



Рис. 3 – Лісопожежні ризики в регіонах України (за період 2007–2019 рр.)

безпечні, уразливі регіони. Ця інформація є базою для подальшого аналізу кліматичних, соціально-економічних і природних чинників, які підвищують ризики виникнення пожеж. Такі дослідження забезпечать надалі розроблення лісопожежного районування на базі створених попередньо тематичних шарів за чинниками, що мають прямий чи опосередкований вплив на підвищення пожежних ризиків.

Відсутність кореляційних зв'язків між попередньо розрахованими показниками пожежних ризиків, горимістю лісів і щільністю пожеж, з одного боку, й усередненими класами природної пожежної небезпеки (за статистикою ОУЛМГ) , з другого, свідчить про неможливість використання цього показника (усередненого класу природної пожежної небезпеки) як основного індикатора пожежної небезпеки лісів на рівні регіонів.

Щільність і горимість лісів збільшується в регіонах зі значною часткою чистих сосняків (рис. 4).

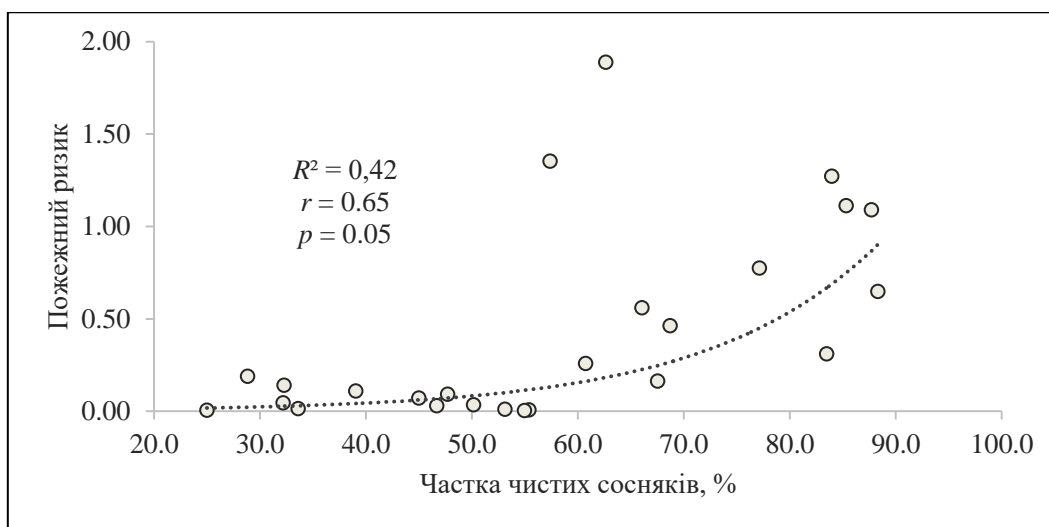


Рис. 4 –Підвищення пожежних ризиків у чистих сосняках (за результатами аналізу повидільної бази даних «Лісовий фонд України» ВО «Укрдержліспроєкт» за 2011 р.)

Підвищення пожежостійкості лісів має забезпечуватися регулюванням складу деревостанів. Наявність у складі сосняків одиниці листяних порід знижує ризик виникнення пожежі на 10–15 %, а 2–3 одиниць – на 30–50 %. За результатами аналізу повидільної бази даних «Лісовий фонд України» ВО «Укрдержліспроєкт» стосовно лісів обласних управлінь лісового та мисливського господарства виявлено, що найбільша площа соснових лісів зосереджена на Поліссі в Житомирській (388,1 тис. га) та Рівненській (381,9 тис. га) областях. Значні площі соснових лісів мають також Волинська, Київська та Чернігівська області (248,7; 219,2 та 215,3 тис. га відповідно). Значна частка соснових лісів є чистими за складом без участі листяних, що значно підвищує їхню пожежну небезпеку та ризик виникнення верхових пожеж (табл. 1).

Основними чинниками, які сприяють підвищенню пожежної небезпеки, є кліматичні умови. Зокрема, найвідчутніший вплив мають температура, кількість опадів, відносна вологість повітря та швидкість вітру. Ці показники є основними елементами пожежної погоди, від яких залежить готовність лісових горючих матеріалів до займання, а також швидкість розвитку та поширення лісових пожеж. Відносно сучасної кліматичної норми оцінено вплив цих показників на горимість лісів у регіональному аспекті.

Таблиця 1

Частка соснових лісів у лісовому фонді ОУЛМГ та їхній розподіл за складом

Область	Участь сосни у складі насадження, %						Соснові ліси		Загалом лісів, тис га
	50≤	60	70	80	90	100	Частка,%	Площа, тис га	
Чернігівська	5,7	4,6	8,6	13,5	13,8	53,8	60,6	215,3	355,5
Київська	5,3	4,8	7	12,3	12,6	58,0	61,7	219,2	355,1
Житомирська	11,2	7,7	10,9	15,8	15,4	39,0	58,8	388,1	660,3
Рівненська	9,9	7,0	9,7	14,4	13,9	45,0	65,4	381,9	584,2
Волинська	8,1	6,1	8,3	13,6	13,7	50,2	56,9	248,7	436,8
Сумська	4,7	3,9	6,6	10,7	13,4	60,7	39,4	100,8	255,6
Львівська	10,6	6,9	9,0	13,0	13,7	46,7	21,8	93,3	428,2
Харківська	1,3	1,4	1,9	4,0	3,0	88,3	32,9	92,8	282,3
Черкаська	4,5	4,0	5,2	8,5	9,0	68,7	28,7	73,4	255,4
Луганська	1,4	1,8	2,1	3,6	3,3	87,7	32,1	73,2	228,2
Полтавська	2,2	1,9	2,8	5,3	4,4	83,5	35,7	56,1	157,3
Херсонська	2,7	5,8	6,9	11,9	10,1	62,6	62,8	48,5	77,3
Хмельницька	6,3	5,8	8,4	14,9	16,8	47,7	26,8	44,9	167,4
АР Крим	14,6	8,3	6,7	8,3	7,2	55,0	18,4	41,9	227,7
Донецька	2,6	2,1	2,8	4,6	2,6	85,3	21,4	19,8	92,5
Дніпропетровська	3,2	1,5	2,4	4,3	4,7	84,0	24,6	16,2	65,7
Тернопільська	8,6	6	8,1	11,2	10,7	55,4	10,5	15,1	143,6
Миколаївська	1,4	3,3	4,6	8,0	5,5	77,1	29,2	10,9	37,4
Івано-Франківська	14,2	7,5	8,9	8,8	7,5	53,1	2,3	9,9	425,8
Вінницька	13,4	10,8	13,9	16,5	13,2	32,2	5	9,9	199,7
Одеська	17,1	19,9	14,6	10,6	5,5	32,3	8,7	7,8	90,2
Кіровоградська	26,2	12,9	11,9	12,5	7,7	28,8	6,8	7,0	103,5
Запорізька	6,3	6,6	8,2	12,7	8,9	57,4	11,8	4,0	34,0
Чернівецька	16,7	17,6	15,3	15,3	10,2	25,0	0,6	0,9	157,3
Закарпатська	20,3	10	8,6	22,1	5,3	33,6	0,2	0,8	461,2
Разом	7,6	5,7	8,0	12,4	12,3	53,9	34,7	2 180,4	6 282,2

Визначено, що зі збільшенням рівня опадів (середня багаторічна норма) упродовж пожежонебезпечного періоду зменшуються горимість лісів ($r = -0,84$; $p = 0,05$) (рис. 5) і щільність пожеж. Для цих розрахунків використано середні багаторічні дані з метеостанцій у регіонах України (кліматична норма за 1960–1991 рр. (Climatic Cadastre of Ukraine 2006)) та обраховано середні значення за метеостанціями кожного з регіонів.

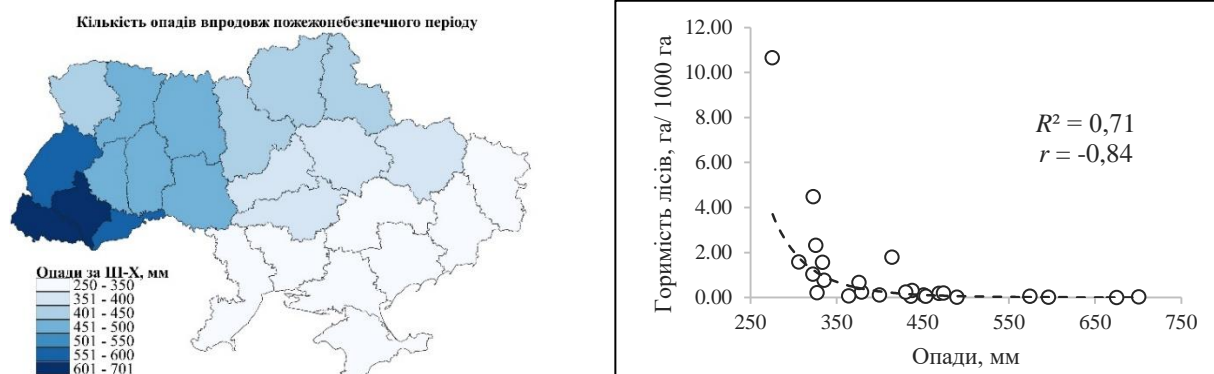


Рис. 5 – Залежність горимості лісів (дані горимості лісів за період 2007–2019 рр.) від кількості опадів впродовж пожежонебезпечного періоду

Виявлено, що в міру збільшення температури повітря впродовж пожежонебезпечного періоду збільшується горимість лісів ($r = 0,77$; $p = 0,05$) (рис. 6). Це виразно визначено в південно-східних регіонах України, для яких характерною є значна частка соснових лісів (Херсонська, Луганська та Донецька області).

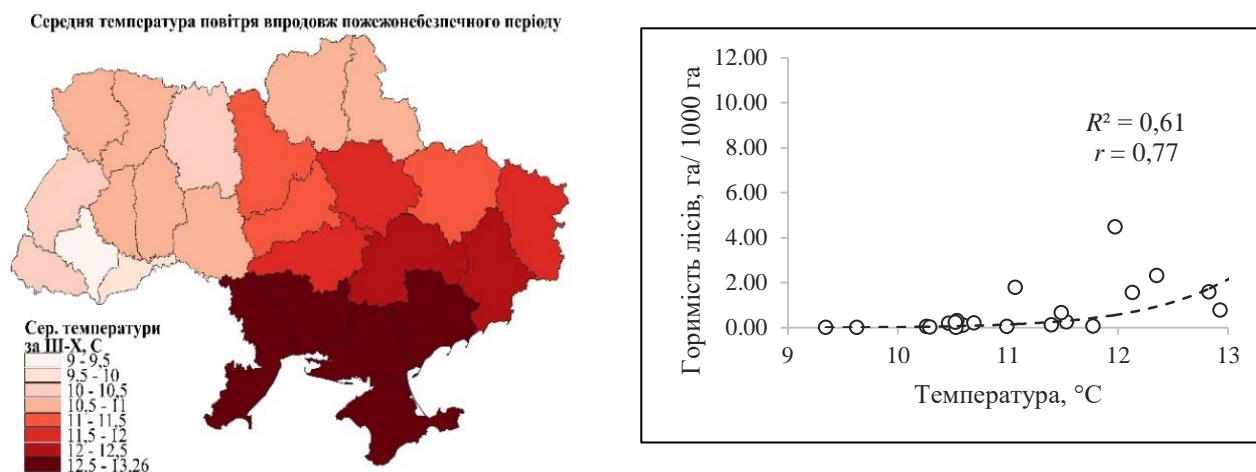


Рис. 6 – Залежність горимості лісів (дані горимості лісів за період 2007–2019 рр.) від середньої температури повітря впродовж пожежонебезпечного періоду

За статистичними даними з вини населення виникає 85–98 % випадків пожеж. На 10-кілометрову зону навколо міст і селищ припадають більшість лісових пожеж. Отже, у густонаселених регіонах країни є більшими ризики виникнення ландшафтних пожеж, зокрема лісових. За офіційними статистичними даними найбільш густонаселеними областями України є Донецька, Львівська, Чернівецька та Дніпропетровська області.

Проведено узгодження показника щільності населення з показниками лісистості та отримано показник щільності населення на кожні 1 000 га лісу (рис. 7), який має тісніші зв'язки ($r = 0,71$; $p = 0,05$) зі щільністю лісових пожеж і може бути використаний як один із додаткових критеріїв оцінювання пожежних ризиків.

Із урахуванням подальшого посилення урбанізаційних процесів особливу увагу потрібно приділити профілактичним протипожежним заходам у лісах зелених зон і в рекреаційно-оздоровчих лісах, які за умови зміни клімату перебуватимуть під значним впливом несприятливих погодних умов, рекреаційним, техногенним і пірогенним тиском.

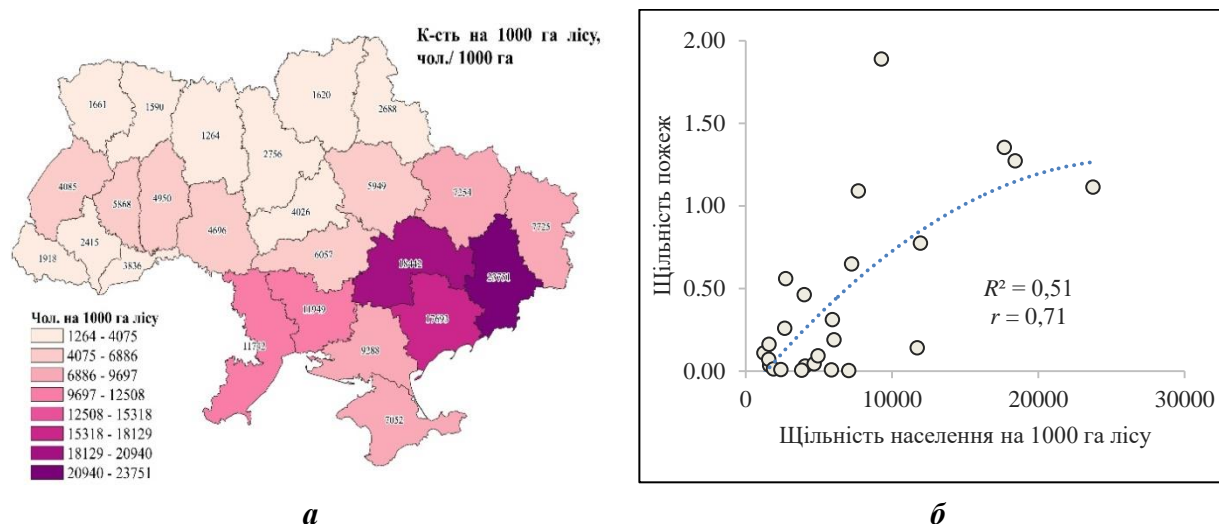


Рис. 7 – Розподіл щільності населення на 1 000 га лісового фонду (а) та залежність щільності пожеж від щільності населення (б)

Також як можливі індикатори соціально-економічної складової пожежних ризиків було протестовано такі змінні, як кількість і щільність сільського населення, щільність автомобільних шляхів, щільність залізничних колій. Виявлено, що як достовірний індикатор пожежної небезпеки можливо використовувати лише щільність залізничних колій км/км² ($r = 0,55$, $p = 0,05$), тоді як кількість і щільність сільського населення необхідно враховувати в контексті додаткового забезпечення захисту населених пунктів, що межують із лісовими ділянками. Поблизу таких населених пунктів потрібно забезпечити додаткові протипожежні профілактичні заходи.

Важливість забезпечення інформаційної підтримки щодо локалізації центрів горіння та моделювання їхньої трансформації й переміщення під дією природних і соціально-економічних чинників дасть змогу ефективніше реагувати на можливі загрози та раціонально планувати протипожежні заходи. Використання ландшафтного підходу для оцінювання ризиків, пов'язаних із природними пожежами, забезпечить лісовому господарству ці переваги. Зважаючи на те, що пожежі часто виникають поза межами лісів, швидко поширюючись на території лісових масивів та трансформуючись із низових в особливо великі верхові пожежі, саме розуміння та глибокий аналіз пожежних режимів конкретних територій є першим кроком для розбудови ефективної стратегії управління природними пожежами за умов клімату, що змінюється.

Виявлено, що часовий розподіл лісових пожеж та інших ландшафтних пожеж на прикладі Лівобережного Лісостепу суттєво різняться (рис. 8). Для лісових пожеж визначено два піки горимості: травень і серпень-вересень, хоча значна кількість пожеж трапляється впродовж усього пожежонебезпечного періоду. Натомість для пожеж у відкритих ландшафтах ці піки є більш виразними (березень-квітень і серпень-вересень). Причиною є відмінності у типах, кількісних та якісних характеристиках рослинних горючих матеріалів. Весняний пік у ландшафтах із переважанням травостоїв розпочинається з кінця лютого, коли сходять сніговий покрив. У цей період відмерла торішня трава, яка є легкозаймистим горючим матеріалом, швидко висихає й набуває пірологічної стиглості. Пожежна небезпека ландшафтів зберігається до кінця квітня – початку травня, доки виростає достатній обсяг нової трави із значним вмістом вологи, що відіграє роль бар'єра для поширення та виникнення пожеж. Таким чином, від середини травня до середини липня у ландшафтах відзначено найнижчий рівень пожежної небезпеки. У міру проходження фенологічних фаз надґрунтового покриву висихає, і пожежна небезпека знову зростає, починаючи із середини липня. Отже, наведена інформація дає можливість готувати наявні сили та засоби, зважаючи на часовий розподіл пожеж.

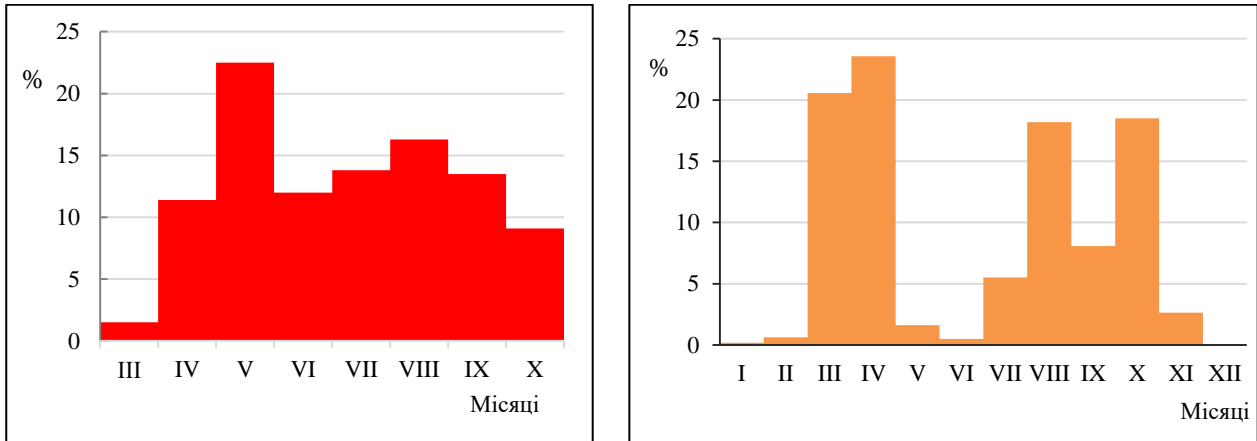


Рис. 8 – Розподіл кількості випадків лісових пожеж за місяцями (ліворуч) і ландшафтних пожеж за даними MODIS (2006–2019) (праворуч)

На період від другої декади травня до третьої декади червня виникає лише 0,5–1,6 % від усіх пожеж, що пов'язане з розвитком надгрунтового покриву та найбільшим умістом води в ньому у цей період. Таким чином, виникнення пожеж на ділянках, де основним провідником горіння є трав'яна рослинність, зводиться нанівець, оскільки в цей період вміст води в рослинах надгрунтового покриву може сягати 300 %, що є значною перешкодою для виникнення та поширення пожеж. Проаналізувавши зміни індексів вегетації впродовж пожежонебезпечного сезону, підтверджено найвищі значення індексів *NDVI* саме впродовж червня (рис. 9).

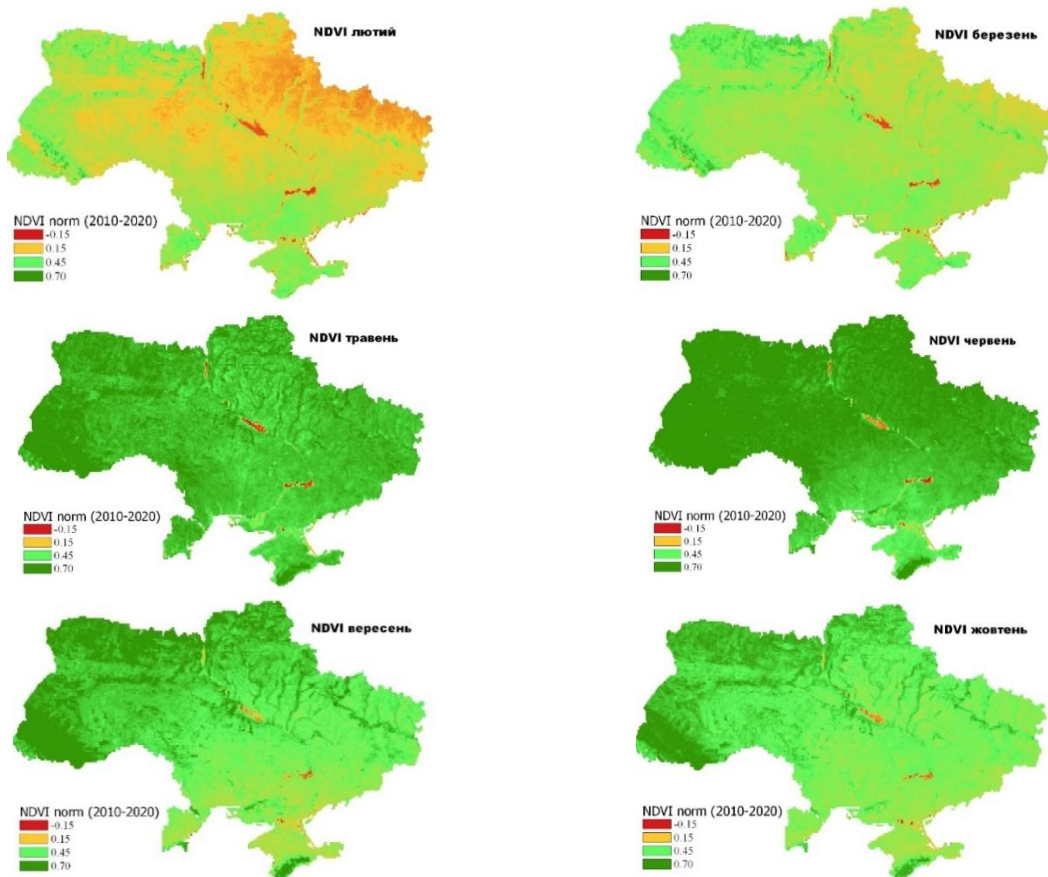


Рис. 9 – Обраховані середні багаторічні показники індексів вегетації (*NDVI*) за місяцями (норми – усереднені дані за кожен із місяців упродовж 2007–2019 рр.)

Виявлено природні й соціально-економічні індикатори, що впливають на підвищення пожежних ризиків, створено тематичні шари (растрові й векторні мапи) за щомісячними індексами вегетації та низку інших тематичних шарів (топографічних, біофізичних, кліматичних, природних), які надалі будуть використані для комплексного оверлейного аналізу та розбудови на їхній основі лісопожежного районування України.

Висновки. Визначено найбільш пожежонебезпечні регіони, до яких належать Херсонська, Луганська, Київська, Донецька, Запорізька та Дніпропетровська області. Ця інформація забезпечує базу для подальшого аналізу кліматичних, соціально-економічних і природних чинників, які підвищують ризик виникнення пожеж.

Виявлено, що усереднені класи природної пожежної небезпеки не є достовірним індикатором для визначення пожежних ризиків; такі підходи до оцінювання природної пожежної небезпеки мають бути переглянуті та науково обґрунтовані.

Визначено, що основними чинниками, які мають найбільший вплив на підвищення пожежної небезпеки, є: щільність населення, частка соснових лісів, норма за кількістю опадів упродовж пожежонебезпечного сезону, норма за середніми температурами впродовж пожежонебезпечного періоду.

Ця робота є основою, яка забезпечить надалі розроблення лісопожежного районування на базі створених попередньо тематичних шарів (растрових і векторних датасетів) за чинниками, що мають прямий чи опосередкований вплив на підвищення пожежних ризиків.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Alberdi Asensio, I., Baycheva-Merger, T., Bouvet, A., Bozzano, M., Caudullo, G., Cienciala, E., Corona, P., Domínguez Torres, G., Houston-Durrant, T., Edwards, D., Estreguil, C., Ferreti, M., Fischer, U., Freudenschuss, A., Gasparini, P., Godinho Ferreira, P., Hansen, K., Hiederer, R., Inhaizer, H., Jellesmark Thorsen, B., Jonsson, R., Kastenholz, E., Kleinschmit von Lengefeld, A., Köhl, M., Korhonen, K., Koskela, J., Krumm, F., Lanz, A., Lasserre, B., Levet, A.-L., Li, Y., Lier, M., Mallarach Carrera, J. M., Marchetti, M., Martínez de Arano, I., Michel, A., Moffat, A., Nabuurs, G.-J., Oldenburger, J., Parviainen, J., Pettenella, D., Prokofieva, I., Quadt, V., Rametsteiner, E., Rinaldi, F., Sanders, T., San-Miguel-Ayanz, J., Schuck, A., Seidling, W., Solberg, B., Sotirov, M., Ståhl, G., Tomé, M., Toth, G., van Brusselen, J., Verkerk, H., Vítková, L., Weiss, G., Wildburger, C., Winkel, G., Zasada, M., Zingg, A. 2015. State of Europe's forests 2015. [Electronic resource]. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (FOREST EUROPE). Madrid, Spain. Available at: <https://foresteurope.org/state-europes-forests-2015-report/> (accessed 23.11.2020).

Asenova, M. 2018. Assessment and mapping of forest fire risk using GIS: a case study of Bulgaria. In: Bandrova, T., Konečný, M. (Eds). Proceedings, 7th International Conference on Cartography and GIS, 18–23 June 2018, Sozopol, Bulgaria. Vol. 2, P. 978–986.

Climatic Cadastre of Ukraine. 2006. [Electronic resource]. [Kosovets, O. O., Kulbida, M. M., Heyko, L. A., et al.]. 80 min/700 MB. Kyiv, State Meteorological Agency, Derzhavna hidrometsluzhba, Ukrainian Hydrometeorological Institute, Central Geophysical Observatory. (CD-ROM); 12 cm. System requirements: Pentium-266 ; 32Mb RAM ; CD-ROM Windows 98/2000/NT/XP. (in Ukrainian).

De Rigo, D., Bosco, C., San-Miguel-Ayanz, J., Houston Durrant, T., Barredo, J. I., Strona, G., Caudullo, G., Di Leo, M., Boca, R. 2016. Forest resources in Europe: an integrated perspective on ecosystem services, disturbances and threats. [Electronic resource]. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.). European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, p. e015b50+. Available at: <https://w3id.org/mtv/FISE-Comm/v01/> (accessed 23.11.2020).

De Rigo, D., Libertà, G., Houston Durrant, T., Artés Vivancos, T., San-Miguel-Ayanz, J. 2017. Forest fire danger extremes in Europe under climate change: variability and uncertainty. EUR 28926 EN, JRC108974. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 71 p. DOI: 10.2760/13180.

Didan, K. 2015. MOD13C2 MODIS/Terra Vegetation Indices Monthly L3 Global 0.05Deg CMG V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13C2.006>.

Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D. P., Humber, M. L., Justice, C. O. 2018. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. [Electronic resource]. Remote Sensing of Environment, 217: 72–85. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425718303705> (accessed 23.11.2020).

Public report of the State Forest Resources Agency of Ukraine 2019]. 2020. [Electronic resource]. Available at: <http://komekolog.rada.gov.ua/uploads/documents/35328.pdf> (accessed 14.12.2020) (in Ukrainian).

State Statistics Service of Ukraine. M. V. Ptukha Institute of Demography and Social Research of the National Academy of Sciences of Ukraine. Demographics. 2020. [Electronic resource]. Available at:

http://database.ukrcensus.gov.ua/Mult/Database/Population/databasetree_no_uk.asp (accessed 23.11.2020) (in Ukrainian).

Tarpley, J. D., Schneider, S. R., Money, R. L. 1984. Global vegetation indices from the NOAA-7 meteorological satellite. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23: 491–494.

Usenia, V. V., Hordei, N. V., Katkova, E. N. 2017. Improving the forest fire zoning of the territory of Belarus. *Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, Nature Management and Renewable Resources Processing*, 2 (198): 115–121 (in Russian).

Sydorenko S. H., Sydorenko S. V.

ANALYSIS OF FIRE RISKS IN UKRAINIAN FORESTS AS A PREREQUISITE FOR A NATIONAL FOREST-FIRE ZONING

Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

In recent decades, particularly large forest fires have become more frequent in the world which causes unprecedented environmental, social and economic damage. One of the ways to reduce the risks of such fires is to provide scientifically reasonable amount of work on fire prevention, based on assessing fire risks and specifying the most vulnerable areas. The study estimates fire density of Ukrainian forests in a regional aspect. Spatial and temporal features of forest and landscape fires, fire regimes and the relationship of these indicators with a number of social, economic, climatic and natural factors have been determined. It is proposed to expand the created collection of thematic layers compatible with GIS systems built using the main topographic, climatic, natural and socio-economic variables which account for an increase of fire risk at the level of forests and natural landscapes. The findings will be used in the development of forest-fire zoning of Ukraine.

К e y w o r d s : forest fires density, fire risks, pine forests, fire hazard.

E-mail: serhii88sido@gmail.com

Одержано редколегією: 26.11.2020