

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ, ШКІДНИКИ ТА ХВОРОБИ ЛІСУ ЯК ЧИННИКИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЛІСІВ

CLIMATE CHANGE, PESTS AND FOREST DISEASES AS FACTORS INCREASING THE FIRE RISK IN FORESTS

Андрій Кузик, доктор сільськогосподарських наук, професор, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: 0000-0003-0118-9493

<https://doi.org/10.32447/bcet.2025.20>

Анотація. Пожежна небезпека лісів залежить від природних біотичних та абіотичних чинників, зокрема породного складу насаджень, їх просторової структури, віку, типів лісорослинних умов, а також погоди та клімату. Пожежну небезпеку в Україні поділяють на природну та за умовами погоди. Відповідно до такого поділу лісові пожежі одночасно залежать від погоди, зокрема температури та відносної вологості повітря, а також від типів лісових насаджень, їх віку та лісорослинних умов.

Процеси глобального потепління, спричинені антропогенною діяльністю, призводять до підвищення середньої температури, тривалої посухи, зміни кліматичних поясів. Дефіцит вологи спричиняє зростання небезпеки займання навіть від малопотужного джерела та виникнення лісових пожеж.

Зміна клімату внаслідок глобального потепління впливає і на лісову флору та фауну. Потепління у майбутньому або призведе до адаптації рослин і тварин, або процесів заміщення новими видами, пристосованими до більш теплих умов. Це буде супроводжуватися зменшенням життєздатності рослин, хворобами, ураженнями шкідниками та загибеллю рослин. Шкідники та хвороби лісу погіршують життєвість рослин, що виявляється у зменшенні забезпечення вологою та всиханню. Уражені ліси стають більш пожежонебезпечними. Шкідників поділяють на дефоліантів та стовбурових комах. Представники кожного з типів по-різному ушкоджують дерева. Дефоліанти спричиняють ушкодження, всихання та опадання листя чи хвої, що окрім ослаблення дерева збільшує запас наземного горючого матеріалу. Стовбурові комахи, зазвичай розкладають фрагменти загиблих дерев. Проте вони можуть завдавати шкоди і ослабленим хворобами, а також і життєздатним рослинам. При цьому різним видам завдають уражень різні шкідники.

Ушкодження та загибель лісових насаджень впливає на зміни клімату, оскільки зменшується поглинання вуглекислого газу та регулювальна функція лісів. Лісові пожежі також призводять до таких наслідків, а також спричиняють викиди шкідливих продуктів горіння в атмосферу, загибель та міграцію тварин, знищення мікроорганізмів і грибів внаслідок високих температур.

Таким чином на збільшення рівня пожежної небезпеки в лісах в сучасних умовах одночасно та взаємопов'язано впливають два чинники – зміна клімату та ураження шкідниками і хворобами.

З урахуванням аналізу та з метою зменшення рівня пожежної небезпеки в лісах в умовах зміни клімату та ураження шкідниками і хворобами необхідно застосовувати комплексний підхід, який полягає у сповільненні кліматичних змін на глобальному рівні, плануванні та проведенні лісівничих заходів, зокрема заміщенні деревних порід більш пристосованими до змін клімату, а також боротьбу з хворобами та шкідниками лісу.

Ключові слова: зміни клімату, лісові насадження, пожежна небезпека лісів, лісові пожежі, лісовий горючий матеріал, шкідники, дефоліанти, стовбурові комахи, життєвість, життєздатність.

Abstract. Forest fire hazard depends on natural biotic and abiotic factors, including tree species composition, spatial structure, age, forest growing conditions, as well as weather and climate. Fire hazard in Ukraine is divided into natural and weather-related. According to this division, forest fires depend simultaneously on the weather, in particular temperature and relative humidity, as well as on the types of forest stands, their age, and forest growing conditions.

Global warming processes caused by human activity lead to higher average temperatures, prolonged droughts, and changes in climate zones. Moisture deficiency increases the risk of ignition even from low-power sources and the occurrence of forest fires.

Climate change due to global warming also affects forest flora and fauna. Warming in the future will either lead to the adaptation of plants and animals or to their replacement by new species adapted to warmer conditions. This will be accompanied by a decrease in plant viability, diseases, pest damage, and plant death. Forest pests and diseases reduce plant vitality, resulting in reduced moisture supply and drying out. Affected forests become more prone to fire. Pests are divided into defoliants and stem insects. Representatives of each type damage trees in different ways. Defoliants cause damage, drying out, and falling of leaves or needles, which, in addition to weakening the tree, increases the supply of combustible material on the ground. Bark beetles usually decompose fragments of dead trees. However, they can also damage trees weakened by disease, as well as viable plants. Different pests cause damage to different species.

Damage and death of forest stands affects climate change by reducing carbon dioxide absorption and the regulatory function of forests. Forest fires also lead to such consequences, as well as causing emissions of harmful combustion products into the atmosphere, the death and migration of animals, and the destruction of microorganisms and fungi due to high temperatures.

Thus, two factors simultaneously and interdependently influence the increase in the level of fire hazard in forests in modern conditions: climate change and damage by pests and diseases.

Taking into account the analysis and in order to reduce the level of fire hazard in forests in the context of climate change and pest and disease damage, it is necessary to apply a comprehensive approach, which consists of slowing down climate change at the global level, planning and implementing forestry measures. In particular, this involves replacing tree species with those that are more adapted to climate change, as well as combating forest diseases and pests.

Keywords: climate change, forest plantations, forest fire risk, forest fires, forest combustible material, pests, defoliants, trunk insects, vitality, viability.

1. ВСТУП

Пожежа у лісах є небезпечним явищем, яке призводить до забруднення довкілля, ушкодження та знищення флори і фауни. У лісових насадженнях небезпека виникнення пожеж залежить від природних та антропогенних чинників. Природні чинники є біотичними та абіотичними. До них належать порідний склад лісонасаджень, їх просторове розміщення, вік, типи лісорослинних умов, а також погодні та кліматичні умови.

В Україні пожежну небезпеку класифікують за двома аспектами — природним та погодним. Ймовірність виникнення лісових пожеж зумовлюється сукупним впливом кліматичних умов, зокрема температури та вологості повітря, а також характеристиками самих насаджень: їхнім віком, складом і умовами зростання.

Глобальне потепління, спричинене людською діяльністю, провокує підвищення середньорічної температури, виникнення тривалих посух та зміни кліматичних зон. Брак вологи значно підвищує ризик займання лісів навіть від незначного джерела вогню – незагашеного сірника, недопалка цигарки іскор з вихлопних труб двигунів та ін.

Значної шкоди лісам завдають воєнні дії, які призводять до механічних ушкоджень рослин, лісових пожеж та хімічних і біологічних забруднень територій.

Зміни клімату також впливають на флору і фауну лісів: у перспективі це може призвести або до адаптації існуючих видів, або до їх витіснення новими, краще пристосованими до тепліших умов. Одночасно погіршується життєздатність рослин: вони стають вразливішими до хвороб, шкідників і всихання.

Лісові шкідники поділяються на дефоліаторів і стовбурових комах. Перші пошкоджують листя та хвою, спричиняючи їх передчасне опадання, що не лише послаблює дерево, а й збільшує кількість сухої біомаси, здатної легко займатися. Стовбурові комахи переважно розкладають мертву деревину, але також можуть шкодити ослабленим, а окремі види і здоровим деревам. При цьому різні види шкідників уражають різні рослини.

Пошкодження та загибель лісів мають зворотний вплив на клімат: знижується здатність лісів поглинати вуглекислий газ і регулювати мікроклімат, що за ушкоджень на значних територіях призведе до глобальних змін клімату. Лісові пожежі спричиняють викиди шкідливих речовин в атмосферу, загибель або міграцію тварин, знищення мікроорганізмів і грибів, що відбувається під впливом високих температур. Території лісів, уражені пожежами, є більш пожежонебезпечними та потребують відновлень.

Для зменшення ризику лісових пожеж в умовах змін клімату та збільшення біологічного навантаження необхідне комплексне вирішення проблеми. Воно включає як глобальні зусилля щодо уповільнення змін клімату, так і локальні лісогосподарські заходи: заміну вразливих деревних порід на більш стійкі до нових кліматичних умов, а також ефективну боротьбу з хворобами та шкідниками.

Отже, зростання пожежної небезпеки в лісах зумовлюється комплексною дією двох взаємопов'язаних факторів — кліматичних змін і поширенням шкідників і хвороб. Тому дослідження таких процесів формування високого рівня пожежної небезпеки, їх взаємозв'язку та впливу на глобальні процеси, а також шляхи вирішення цієї проблеми є актуальними і є метою цієї праці.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для досліджень застосовувалися методи аналізу різних джерел, які стосуються проблеми змін клімату, лісових пожеж, видів та стану лісових насаджень, їх уражень хворобами та шкідниками. Аналіз числових даних проводили статистичними методами.

3. РЕЗУЛЬТАТИ

3.1. Пожежна небезпека лісів в Україні та її оцінювання

Природна пожежна небезпека лісів в Україні визначається шкалою, побудованою на основі породного складу деревостанів і типів лісорослинних умов⁶²⁹. Найбільш небезпечними та оцінюються I класом природної пожежної небезпеки насадження хвойних порід до 40 років, які мають значну густоту, низько розташовані гілки над рівнем поверхні землі. Проте до цього класу небезпеки відносять також загиблі і ушкоджені насадження, для яких характерне всихання, внаслідок чого відбувається зменшення вологості хвої та деревини і полегшується займання. До зменшення вмісту вологи лісових горючих матеріалів призводить також і тривала посуха, жарка погода, яка в останні роки триває все частіше та пов'язана із зміною клімату.

⁶²⁹ Про затвердження Порядку організації охорони і захисту лісів. Постанова Кабінету Міністрів України від 20 травня 2022 р. № 612. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/612-2022-%D0%BF>

Іншим важливим показником пожежної небезпеки лісів є пожежна небезпека за умовами погоди, яка базується на обчисленні комплексного показника пожежної небезпеки за умовами погоди та встановленні відповідно до отриманого значення класу пожежної небезпеки за умовами погоди. Розрахунок комплексного показника та визначення класу пожежної небезпеки за умовами погоди здійснює Український гідрометеорологічний центр.

За кордоном для визначення небезпеки за умовами погоди використовують канадський Погодний індекс лісових пожеж (Fire Weather Index – FWI). Цей показник може бути удосконалений та адаптований до регіональних умов. Проведені дослідження із застосуванням даних радіаційного впливу та прогнозу за період 1850-2100 років, аналізом чутливості та пропозиціями удосконалення⁶³⁰. Оскільки у країнах ЄС застосовують цей індекс, зокрема у Європейській системі інформування про лісові пожежі (EFFIS)⁶³¹, то з урахуванням майбутнього членства України у співтоваристві доцільним є використання цього показника і для нашої країни.

3.2. Кліматичні зміни і лісові пожежі

Глобальна зміна клімату має значний вплив на геосфери: атмосферу, гідросферу та кругообіг води, кріосферу та біосферу⁶³². Наслідки цих змін відображаються різних сферах діяльності людини, потребують адаптації та послаблення негативного впливу⁶³³. В аграрному виробництві⁶³⁴, лісовому господарстві⁶³⁵ та інших дотичних галузях, пов'язаних з рослинами, кліматичні зміни відчуються найбільш гостро.

Кліматичні зміни призводять до погодних аномалій, які сприяють виникненню лісових пожеж. У 21 столітті за довготривалими прогнозами очікується більш суворі пожежонебезпечна погода, що спричинятиме зростання кількості займань та площ пожеж, а також тривалішого пожежонебезпечного періоду⁶³⁶. За таких умов та настання V класу пожежної небезпеки за умовами погоди пожежі можуть виникати у лісах, що належать до всіх п'яти класів природної пожежної небезпеки. Зміни клімату спричиняють зростання числа лісових пожеж у Середземномор'ї, що призводить до порушення гідрологічного режиму, порушення поверхневого стоку та виникнення повеней⁶³⁷.

У США, зокрема у Каліфорнії відзначається збільшення тривалості пожежонебезпечного сезону, а внаслідок екстремального пожежного навантаження після гасіння попередніх пожеж збільшують ризики виникнення нових екстремальних пожеж⁶³⁸.

⁶³⁰ Quilcaille, Y., Batibenz, F., Ribeiro, A. F., Padrón, R. S., & Seneviratne, S. I. (2022). Fire weather index data under historical and SSP projections in CMIP6 from 1850 to 2100. *Earth System Science Data Discussions*, 2022, 1-31.

⁶³¹ European Forest Fire Information System (EFFIS). URL: <https://effis.emergency.copernicus.eu/>

⁶³² Cook, K. H. (2013). *Climate dynamics*. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA

⁶³³ Abbass, K., Qasim, M.Z., Song, H. et al. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environ Sci Pollut Res* 29, 42539–42559 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>

⁶³⁴ Balabukh, V., Tarariko, O., Iliencko, T., & Velychko, V. (2021). Influence of changes in air temperature on crop productivity formation in Ukraine at the turn of XX–XXI centuries (1981–2010). *Agricultural Science and Practice*, 8(3), 71–87. <https://doi.org/10.15407/agrisp8.03.071>

⁶³⁵ Vacek, Z., Vacek, S., & Cukor, J. (2023). European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. *Journal of Environmental Management*, 332, 117353.

⁶³⁶ Flannigan, M.D., Amiro, B.D., Logan, K.A. et al. Forest Fires and Climate Change in the 21ST Century. *Mitig Adapt Strat Glob Change* 11, 847–859 (2006). <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9020-7>

⁶³⁷ Versini, P.A., Velasco, M., Cabello, A. et al. Hydrological impact of forest fires and climate change in a Mediterranean basin. *Nat Hazards* 66, 609–628 (2013). <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0503-z>

⁶³⁸ Cisneros, R., Schweizer, D., (Lee) Tarnay, L., Navarro, K., Veloz, D., Procter, C.T. (2018). Climate Change, Forest Fires, and Health in California. In: Akhtar, R., Palagiano, C. (eds) *Climate Change and Air Pollution*. Springer Climate. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61346-8_8

У Канаді площа територій, які постраждали від лісових пожеж, збільшилася за останні чотири десятиліття, одночасно з підвищенням температури в літній сезон, що матиме істотні наслідки для наземних викидів вуглекислого газу та для лісових екосистем⁶³⁹.

В Індонезії періодично виникають сильні лісові пожежі у посушливий сезон. Їх причиною є вирубування лісів для формування площ під аграрні культури. У природному стані вологі ліси цих регіонів не горять легко, але масштабні вирубки висушили та деградували великі площі лісів, тим самим збільшуючи їх вразливість до пожеж. Вирубування лісів і пожежі спричиняють негативний вплив на клімат⁶⁴⁰.

В Австралії у найспекотніший за всю історію спостережень 2019 рік внаслідок надзвичайно сухого горючого матеріалу виникла значна кількість лісових пожеж, охопивши великі площі. Цьому сприяло поєднання мінливості клімату та довгострокових кліматичних тенденцій, яке спричинило кліматичні екстремуми, що спостерігалися у 2019 році, а сукупний вплив двох або більше режимів мінливості клімату в їхніх фазах, що сприяють виникненню пожеж, історично збільшував ймовірність виникнення великих лісових пожеж на південному сході Австралії⁶⁴¹.

Вплив кліматичних змін на виникнення лісових пожеж спостерігається і на інших територіях Землі, вкритих лісовою рослинністю. Саме кліматичні зміни, а не антропогенна діяльність, є основними чинниками впливу на глобальну пожежну активність в широкому просторово-часовому масштабі, зокрема стан горючих матеріалів та кількість опадів. Проте на регіональному масштабі, причини виникнення лісових пожеж є більш різноманітними, і в деяких регіонах діяльність людини може бути основним фактором. Враховуючи тісний зв'язок між пожежами та кліматом, очікується, що зміна клімату внаслідок збільшення викидів парникових газів змінить просторовий розподіл пожежної активності. Деякі дослідження вказують на збільшення тривалості пожежонебезпечного сезону та потенціалу виникнення лісових пожеж, а також на поступовий перехід до глобального пожежонебезпечного стану, у якому домінує температура⁶⁴².

Лісові пожежі формують зворотний зв'язок зі зміною клімату, зумовлений їхнім впливом на депонування вуглецю. Вони також впливають на концентрацію відбивних та поглинаючих аерозолів в атмосфері та змінюють альбедо поверхні через зміни рослинного покриву. Було підраховано, що зворотні зв'язки між кліматом і вуглецевим циклом, пов'язані з пожежами, спричиняють збільшення концентрації CO₂ в атмосфері на 6 ppm на кожен градус глобального потепління середньорічної температури поверхні, і цей позитивний зворотний зв'язок лише частково компенсується негативним зворотним зв'язком, пов'язаним зі збільшенням альбедо поверхні та зниженням температури зі зменшенням лісового покриву⁶⁴³.

Пов'язані з пожежною безпекою лісів і кліматопо, які характеризуються такими показниками, як сума додатних середньомісячних температур за рік, термовологісним показником та показником континентальності (різниця між найбільшою та найменшою середньомісячними температурами протягом року). Встановлено кореляційні зв'язки між цими показниками та питомою кількістю

⁶³⁹ Gillett, N. P., Weaver, A. J., Zwiers, F. W., & Flannigan, M. D. (2004). Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. *Geophysical Research Letters*, 31(18), L18211, doi:10.1029/2004GL020876

⁶⁴⁰ Alisjahbana, A. S., & Busch, J. M. (2017). Forestry, Forest Fires, and Climate Change in Indonesia. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 53(2), 111–136. <https://doi.org/10.1080/00074918.2017.1365404>

⁶⁴¹ Abram, N.J., Henley, B.J., Sen Gupta, A. et al. Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia. *Commun Earth Environ* 2, 8 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00065-8>

⁶⁴² Senande-Rivera, M., Insua-Costa, D. & Miguez-Macho, G. Spatial and temporal expansion of global wildland fire activity in response to climate change. *Nat Commun* 13, 1208 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28835-2>.

⁶⁴³ Jones, M. W., Abatzoglou, J. T., Veraverbeke, S., Andela, N., Lasslop, G., Forkel, M., ... & Le Quéré, C. (2022). Global and regional trends and drivers of fire under climate change. *Reviews of Geophysics*, 60(3), e2020RG000726.

пожеж (кількість пожеж, поділена на площу земель лісового фонду) для п'яти областей України, а також регресійні залежності, за якими можна прогнозувати питому кількість пожеж⁶⁴⁴.

Внаслідок кліматичних змін, аномальних температур та посухи створюються сприятливі умови для ксерофілізації лісового середовища. Дослідження метеорологічних показників у серпні 2007 року, коли виникли масштабні лісові пожежі в Херсонській області, виявили збільшення різниці між температурою повітря та температурою точки роси, що характеризує висушування підстилки та опаду, а також швидкості зміни температури та відносної вологості повітря. Ці зміни показників швидше, ніж комплексний показник пожежної небезпеки, інформували про настання екстремальних пожежонебезпечних умов⁶⁴⁵.

Для оцінювання впливу кліматичних змін в Україні проаналізуємо залежність статистичних даних про лісові пожежі від кліматичних показників. Таким кліматичним показником є середня річна температура яка має тенденцію до зростання (рис. 1)⁶⁴⁶.

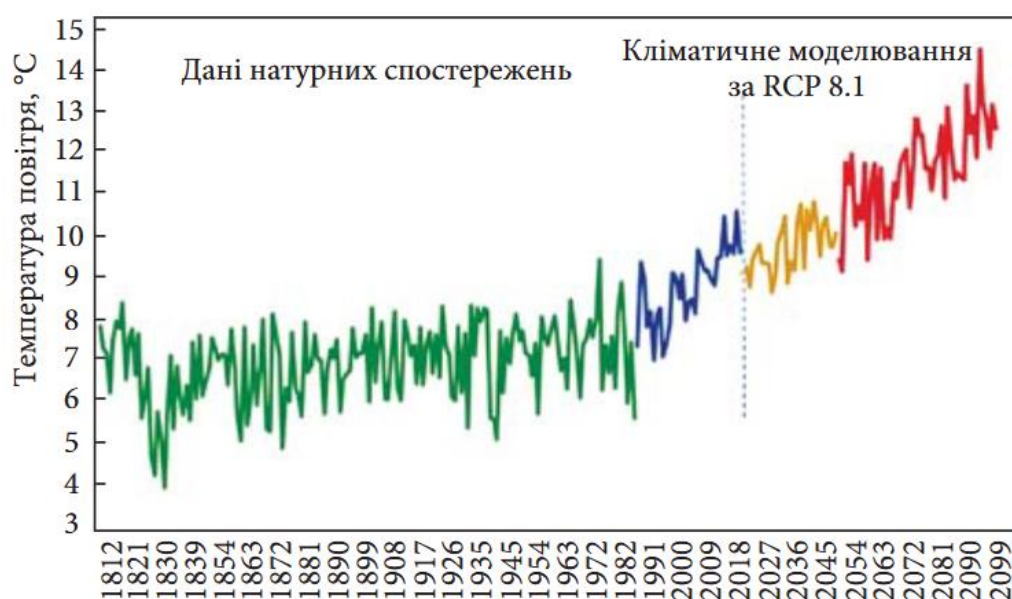


Рисунок 1. Динаміка зміни температури приземного шару повітря у м. Київ¹⁶

Статистика лісових пожеж в Україні з 2017 по 2022 роки за даними Державного агентства лісових ресурсів України⁶⁴⁷ зображена на рис. 2 та 3. Разом з кількостями зафіксованих пожеж та їх площами наведено значення середньої річної температури за даними Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України⁶⁴⁸.

⁶⁴⁴ Кузик А.Д. (2019). Еколого-лісівничі основи пожежної безпеки лісів Малого Полісся : монографія. Львів: Сполом. 493 с.

⁶⁴⁵ Кузик, А. Д., & Кучерявий, В. П. (2009). Вплив метеорологічних чинників на ксерофілізацію лісового середовища та виникнення пожеж. Лісівництво та агролісомеліорація, 116, 238-244. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/38345104.pdf>

⁶⁴⁶ Осадчий, В. І. (2021). Кліматична програма України як основа цілісної екологічної політики держави в умовах зміни клімату. Вісник Національної академії наук України, (6), 81–84. <https://doi.org/10.15407/vsn2021.06.081>

⁶⁴⁷ Охорона лісів від пожеж. Державне агентство лісових ресурсів України. Офіційний сайт. URL: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisove-gospodarstvo/ohorona-i-zahist-lisiv/ohorona-lisiv-vid-pozhezh>

⁶⁴⁸ Кліматичні дані по Україні. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського ДСНС України. Офіційний сайт. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/uk/diialnist/klimatologichna/klimatychni-danni-po-ukraini>

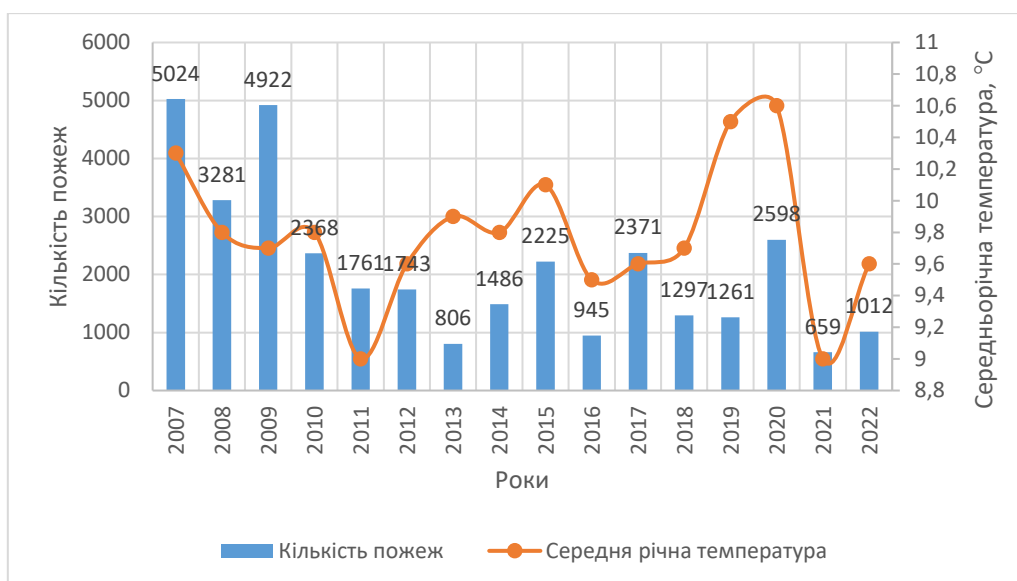


Рисунок 2. Кількість лісових пожеж та середня річна температура в Україні з 2007 по 2022 роки

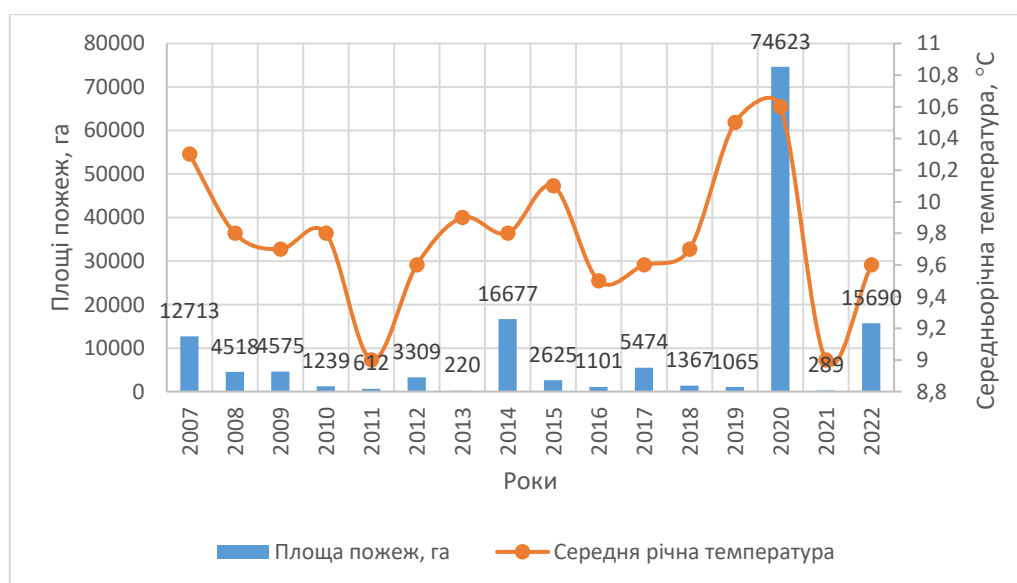


Рисунок 3. Площі лісових пожеж та середня річна температура в Україні з 2007 по 2022 роки

Як видно з рисунків, температурні зміни більше впливають на площі пожеж, оскільки із збільшенням температур погіршується вологозабезпечення, горючий матеріал швидко висушується, а вогонь поширюється швидше і таку пожежу складніше ліквідувати. Кількості пожеж залежать від антропогенного чинника, а тому середня річна температура менше пов'язана із цим показником. Коефіцієнт кореляції між кількостями пожеж та середніми річними температурами становить 0,34 і є помірним, а між площами пожеж та середніми річними температурами є більшим та дорівнює 0,54 і характеризується як середній зв'язок. Дещо меншим, проте також середнім є коефіцієнт кореляції між середніми площами пожеж та середніми річними температурами і становить 0,50. Перевірка на значущість коефіцієнтів кореляції за t-критерієм Стюдента з рівнем значимості 0,05 та 14 ступенями свободи показала, що значущими є кореляційні зв'язки між площами пожеж і середніми річними температурами та між середніми площами пожеж і середніми річними температурами.

Окремо розглянемо дані про лісові пожежі під час повномасштабної війни, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Кількості та площі лісових пожеж в Україні у 2022-2024 роках
(за даними Державного агентства лісових ресурсів України)

Роки	2022	2023	2024
Кількість пожеж	1012	593	1994
Площа пожеж, га	15690	906,8	24000

Проте залежність пожеж від кліматичних показників за цей період складно аналізувати, оскільки безпекова ситуація не дає змоги проводити дослідження та обліковувати пожежі, які виникають на тимчасово окупованих територіях.

Тому проблема лісових пожеж та їх залежність від кліматичних змін є актуальною не лише в Україні, але й в інших країнах.

3.3. Зміни клімату та їх вплив на лісове середовище

Негативний вплив зміни клімату виявляється не лише у збільшенні тривалості пожежонебезпечного періоду та ризиків виникнення лісових пожеж. Зростання температур та зменшення кількості опадів призводять до порушення екологічних умов у лісових фітоценозах. Це призводить до порушень життєвості рослин. В таких умовах більшість видів рослин не можуть природним чином змінити свій географічний ареал досить швидко, щоб встигати за темпами зміни клімату, до якого вони можуть не мати змоги адаптуватися. Також захист та біобезпека рослин, що включають усі стратегії оцінки та управління ризиками, які виникають через інфекційні захворювання, карантинних регульованих шкідників, інвазивні чужорідні види та живі модифіковані організми в природних та керованих екосистемах, також зазнають негативного впливу зміни клімату⁶⁴⁹.

Лісові екосистеми поділяються на три основні групи з урахуванням кліматичних умов, розташування (рівнинні, гірські) та навіть геологічного субстрату: бореальні хвойні ліси, ліси помірної зони та тропічні ліси. Зміна клімату по-різному впливає на кожен тип лісової екосистеми. Як свідчать дослідження, вона інтенсивніше впливає на помірні ліси в регіонах із середземноморським кліматом, які розташовані на кількох континентах, із значним впливом підвищення температури влітку та зменшення кількості опадів взимку⁶⁵⁰.

В Україні кількість днів з максимальними температурами понад 35°C та 40°C за останні роки зросла майже вдвічі, що негативно відобразилося на насадженнях сосни звичайної, які зазнавали водного стресу, ураження шкідниками та загальної деградації. Це підтверджено дендрологічними дослідженнями, під час яких вимірювалися радіальні прирости за допомогою кернів. Встановлено, що ріст сосни звичайної залежить від вологості в ґрунті та опадів, проте високі температури негативно впливають на цей процес навіть за достатньої кількості вологи⁶⁵¹.

⁶⁴⁹ Secretariat, I. P. P. C., Gullino, M. L., Albajes, R., Al-Jboory, I., Angelotti, F., Chakraborty, S., ... & Stephenson, T. (2021). Scientific review of the impact of climate change on plant pests. FAO on behalf of the IPPC Secretariat. URL: <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/149380/2/Full%20reportcb4769en.pdf>

⁶⁵⁰ Nunes, L. J. R., Meireles, C. I. R., Gomes, C. J. P., & Ribeiro, N. M. C. A. (2022). The Impact of Climate Change on Forest Development: A Sustainable Approach to Management Models Applied to Mediterranean-Type Climate Regions. *Plants*, 11(1), 69. <https://doi.org/10.3390/plants11010069>

⁶⁵¹ Romanenko, V. (2021). Impact of climate change on scots pine plantations: State, problems, challenges. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 12(3), 87-94. <https://doi.org/10.31548/forest2021.03.008>

Зміни клімату призводять до змін кліматичних поясів, що зумовлює поступову зміну рослинного та тваринного складу територій. Це спричиняє появу не характерних для цієї території тварин і шкідників⁶⁵². Зміна клімату впливає на комах-шкідників по різному. Існують вагомі докази того, що деякі нещодавні спалахи короїдів та дефоліантів зазнають впливу зміни клімату та мають великий вплив на екосистеми, а також на угруповання лісових комах. Короїди, наприклад, можуть спричиняти загибель дерев після сильної посухи, пов'язаної з теплими температурами, завдяки позитивному зворотному зв'язку для їхніх популяцій від наявності сприйнятливих господарів та сприятливих температур, що посилюється в просторових та часових масштабах. Прогнози спалахів комах свідчать про зміни в просторово-часових моделях поширення дефоліаторів та короїдів. Поїдання листя дерев пов'язане з ростом насаджень та розповсюдженням бруньок. Дослідження⁶⁵³ параметрів розвитку трьох дефоліаторів та їхніх уподобань щодо п'яти рослин-господарів за температур від 16 до 31 °C виявили, що зі збільшенням температури час розвитку скорочувався, а швидкість виживання та пристосованість зростали. Також відбулася зміна уподобань у харчуванні рослин-господарів, що призвело до збільшення травовідності певними рослинами та потенційної зміни лісових угруповань. Іншим видом шкідників є короїди та деревні пильщики. Їх поширенню у північні широти сприяють м'які зими⁶⁵⁴. Розширення міжнародних торговельних відносин сприяє швидкому поширенню численних комах та патогенів у нові регіони. Багато з таких інвазій завдають значної шкоди лісам, економічних збитків та втрати екосистемних властивостей дерев. Зміна клімату вже сьогодні впливає на географічний розподіл дерев-господарів та пов'язаних з ними комах і патогенів, з очікуваним збільшенням впливу як місцевих, так і інвазійних шкідників. Хоча зміна клімату принесе користь багатьом лісовим кохам, зміни теплових умов можуть порушити еволюційні ознаки життєвого циклу та спричинити фенологічні невідповідності. Загрози, які становлять для лісових екосистем інвазивні шкідники та зміни клімату, є серйозними та потребують вирішення⁶⁵⁵.

Ризик зараження шкідниками прогнозується бути більш виразним наприкінці 21 століття за існуючих тенденцій до зміни температури, оскільки прогнозується підвищення глобальної температури на 1, 2 та 3°C на початку, всередині та наприкінці нинішнього століття. Це призведе до зростання як абіотичних, так і біотичних чинників, які призводять до підвищення небезпеки виникнення лісових пожеж⁶⁵⁶.

Для оцінювання загроз негативного впливу кліматичних змін на лісове середовище проаналізуємо дані про площі всихання лісів в Україні⁶⁵⁷, наведені на рис. 4 разом з середньою річною температурою за період 2013-2022 років. Як видно з рисунка, з 2013 по 2018 рік площа всихання зростає, а у наступні роки має тенденцію до зниження. Кореляційний зв'язок обидвох показників практично відсутній (коефіцієнт кореляції становить -0,13). Проте оцінити реальний

⁶⁵² Pureswaran, D.S., Roques, A. & Battisti, A. Forest Insects and Climate Change. *Curr Forestry Rep* 4, 35–50 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40725-018-0075-6>

⁶⁵³ Jing, J., Xia, L. & Li, K. Development of defoliating insects and their preferences for host plants under varying temperatures in a subtropical evergreen forest in eastern China. *Front. Earth Sci.* 11, 321–331 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11707-016-0582-3>

⁶⁵⁴ Ungerer, M.J.; Ayres, M.P.; Lombardero, M.J. 1999. Climate and the northern distribution limits of *Dendroctonus frontalis* Zimmerman (Coleoptera: Scolytidae). *Journal of Biogeography* 26:1133-1145

⁶⁵⁵ T.D. Ramsfield, B.J. Bentz, M. Faccio, H. Jactel, E.G. Brockerhoff, Forest health in a changing world: effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 89, Issue 3, July 2016, Pages 245–252, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw018>

⁶⁵⁶ Gullino, M. L., Albajes, R., Al-Jboory, I., Angelotti, F., Chakraborty, S., Garrett, K. A., ... & Stephenson, T. (2022). Climate Change and Pathways Used by Pests as Challenges to Plant Health in Agriculture and Forestry Sustainability 2022, 14(19), 12421; <https://doi.org/10.3390/su141912421>

⁶⁵⁷ Захист лісів від шкідників та хвороб. Державне агентство лісових ресурсів України. Офіційний сайт. URL: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisove-gospodarstvo/ohorona-i-zahist-lisiv/zahist-lisiv-vid-shkidnikiv-ta-hvorob>

вплив кліматичних змін є складно, оскільки ведуться санітарні рубки у висихаючих насадженнях, які впливають на такий показник як площа всихання.

Дослідження в глобальному масштабі цієї проблеми не виявили чіткого зв'язку між особливостями ушкодження лісів комахами-шкідниками та впливом інших чинників. Проте прогнозується, що вплив спалахів комах-шкідників зростатиме з посиленням глобальних змін. Треба водночас враховувати, що пристосованість та поширення видів комах сильно залежать від клімату. Крім того, спалахи комах-шкідників можуть взаємодіяти із забрудненням та змінами у землекористуванні, а інвазії видів комах зростають в результаті глобальної торгівлі. Розуміння потенціалу взаємодій між комахами-шкідниками та іншими порушеннями у лісовому середовищі, а також поява нових взаємовпливів є основними викликами в дослідженнях динаміки лісів⁶⁵⁸.



Рисунок 4 – Динаміка всихання лісів України та середня річна температура за даними Державного агентства лісових ресурсів України

4. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Кліматичні зміни, які спостерігаються та виникають внаслідок антропогенної діяльності, призводять до підвищення середньої річної температури повітря, кількості днів з високою температурою повітря влітку та зменшення кількості опадів. Кліматичні зміни погіршують екологічні умови лісових рослин, зокрема зменшує запас води, що призводить до їх всихання, появи хвороб і шкідників. Одночасно рослини та їх рештки у формі опаду та підстилки стають більш пожежонебезпечними, а за наявності джерел займання виникають лісові пожежі.

Лісові пожежі спричиняють загибель або ураження лісових насаджень, які внаслідок цього стають більш вразливими до хвороб і шкідників. Це призводить до того, що у лісах після пожеж небезпека їх повторного виникнення зростає, а ослаблені рослини ще більше ослаблюються або гинуть. У таких лісах проводять санітарні рубки. Це призводить до зменшення поглинання вуглекислого газу та депонування вуглецю і, як наслідок, посилення кліматичних змін.

Лісові пожежі спричиняють викиди продуктів горіння в атмосферу, зокрема парникових газів, зокрема CO₂ та окиси азоту. Внаслідок високотемпературного висушування в умовах пожежі в

⁶⁵⁸ Canelles, Q., Aquilué, N., James, P.M.A. et al. Global review on interactions between insect pests and other forest disturbances. *Landscape Ecol* 36, 945–972 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01209-7>

атмосферу потрапляє і водяна пара. Значний вплив на процеси в атмосфері мають викиди димі та сажі, оскільки аерозольні частки спричиняють появу хмар. Існує припущення, що відповідний ефект аерозолію втричі сильніший, ніж прямий кліматичний ефект, пов'язаний із взаємодією частинок і сонячного випромінювання, під час якого воно ослаблюється та спричиняє потепління клімату⁶⁵⁹. Окрім цього, внаслідок горіння виділяється значна кількість теплоти, яка поширюється в навколишньому середовищі та призводить до зростання температури повітря.

Зростання пожежної небезпеки в Україні внаслідок кліматичних змін підтверджують кореляційні зв'язки між статистичними даними про пожежі та середніми річними температурами.

В Україні у зв'язку з підвищенням середньої річної температури повітря та іншими кліматичними змінами описані проблеми стосуються насамперед соснових лісів, оскільки в умовах зростання температури сосна звичайна опиниться в несприятливих умовах. Для нормального розвитку пилку сосни потрібна температура 5-18°C, у більшості випадків комфортна температура не перевищує 25°C, але існують випадки, коли сосна витримує на скелях температуру понад 40°C. Тому увага до таких лісів щодо догляду, охорони від шкідників і пожеж має бути посиленою в умовах кліматичних змін.

Процеси у навколишньому середовищі, пов'язані з кліматичними змінами, хворобами та шкідниками лісу і лісовими пожежами можна зобразити у вигляді схеми (рис. 5).

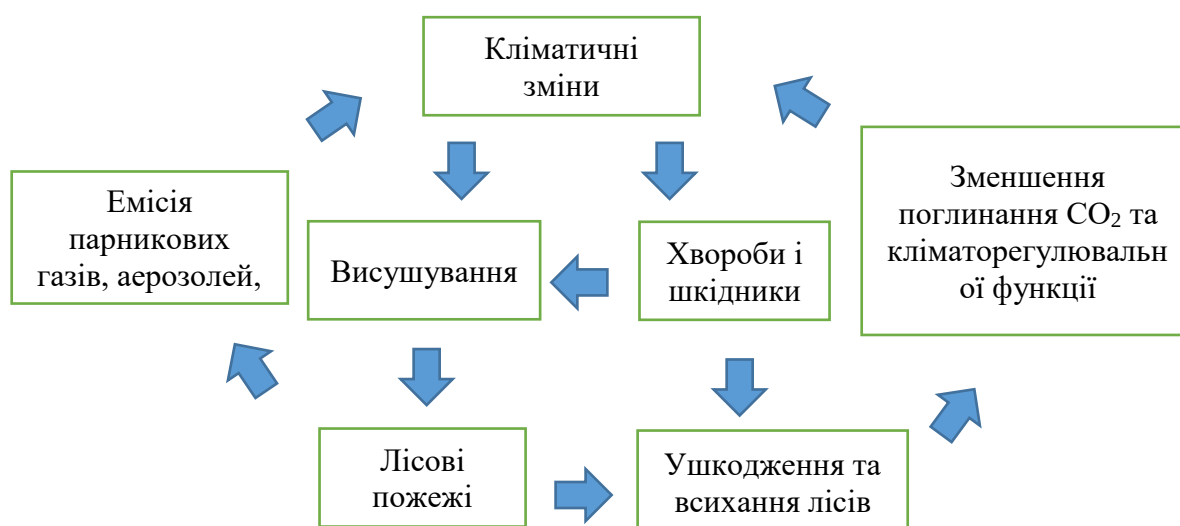


Рисунок 5. Схема взаємозв'язків між кліматичними змінами, лісовими пожежами, хворобами та шкідниками

Як видно з рисунку, кліматичні зміни призводять до негативного впливу на лісове середовище, появу хвороб, шкідників та виникнення лісових пожеж. Ці процеси посилюють негативний вплив на клімат. І лише відповідні лісівничі заходи, спрямовані на врахування кліматичних змін для вибору порід дерев, боротьбу зі шкідниками і хворобами та лісовими пожежами зможуть зупинити чи сповільнити негативний вплив на зміну клімату та незворотні процеси в довкіллі.

⁶⁵⁹ Нестеренко О.В., Клевцова Л.Г., Чернишенко Г.О. (2019). Вплив степових та лісових пожеж на навколишнє середовище в Україні. Науковий вісник будівництва, 95(1), 240-245. <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2019-95-1-240-24>

5. ВИСНОВКИ

На основі аналізу проблеми, лісу, лісових пожеж та змін клімату встановлено:

1. Зміни клімату спричиняють зміну екологічних умов для лісових рослин, які зумовлюють висихання та ураження хворобами і шкідниками. На відміну від тварин, рослини не можуть швидко мігрувати, а різні шкідники швидко поширюються та вражають ліси, ослаблені внаслідок кліматичних змін.

2. Ослаблення лісів внаслідок недостатнього зволоження, хвороб та шкідників підвищує пожежну небезпеку лісового середовища внаслідок ксерофілізації горючих матеріалів. Такі ліси можуть легко займатися, а пожежа буде швидко поширюватися.

3. Горіння лісів спричиняє викиди в атмосферу парникових газів та аерозолей, що посилює кліматичні зміни, що може спричинити незворотні процеси у навколишньому середовищі.

4. Для України встановлено кореляційні зв'язки між кількостями та площами пожеж і середньою річною температурою. Між підвищенням середньої річної температури та усиханням лісів не виявлено взаємозв'язку, проте такий вплив існує, як показують численні дослідження. Для детальніших аналізів потрібні дані, які враховують санітарні рубки в таких лісах.