

СТАН СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ ЗА ВПЛИВУ КОМАХ-ШКІДНИКІВ І КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ

В.В. Мороз¹, П.М. Душко²

¹ Західноукраїнський національний університет (м. Тернопіль, Україна)
e-mail: vera_moroz@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1457-4641

² Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: Dushko@i.ua; ORCID: 0000-0002-1408-0342

Зростання уражень соснових лісів Житомирського Полісся через вплив комах-шкідників і кліматичних змін потребує розробки ефективних заходів захисту для забезпечення сталого розвитку лісових екосистем. Метою дослідження було вивчення впливу комах-шкідників на соснові деревостани в умовах кліматичних змін, зокрема з урахуванням сонячної активності та гідротермічних умов, для вдосконалення лісозахисних стратегій. Для досягнення мети проведено польові обстеження, аналіз кліматичних змін, оцінку поширення комах-фітофагів і стовбурових шкідників, а також статистичний аналіз із застосуванням методів обліку гусениць шовкопряда соснового (*Dendrolimus pini* L.) за допомогою липких стрічок і пасток Барбера. Здійснено кореляційний і лаговий аналіз кліматичних показників за 2019–2024 рр. Результати засвідчили зменшення площі уражених лісів на 73% — від 951 до 255 га в 2019 р. і в 2024 р. відповідно. Основні шкідники, зокрема пильщик звичайний сосновий (*Diprion pini* L.), підкоровий сосновий (*Aradus cinnamomeus* Panzer) і шовкопряд сосновий (*Dendrolimus pini* L.), характеризувалися зниженням чисельності осередків ураження. Втім осередки соснового шовкопряда залишалися відносно стабільними, що вказує на потребу постійного моніторингу та біологічного контролю. Виявлено вплив астрафізичних і кліматичних чинників на інтенсивність уражень. Зниження сонячної активності (число Вольфа <50) асоціюється зі збільшенням уражень лісів на 15–20% через рік після спаду сонячної активності. Зменшення гідротермічного коефіцієнта ($ГТК < 1,1$) сприяє посусі та зростанню чисельності шкідників. Біопрепарати Боверин і Метаризин показали високу ефективність, знижуючи чисельність гусениць *D. pini* на 54–72% і втрати продуктивності лісів на 30–40%, забезпечуючи економічну вигоду та екологічну безпеку. Розроблено рекомендації щодо регулярного моніторингу, застосування біопрепаратів, санітарних рубок і прогнозування спалахів шкідників за числом Вольфа та ГТК. Результати мають практичне значення для сталого управління лісами Житомирського Полісся та можуть бути адаптовані для інших регіонів України.

Ключові слова: температура повітря, опади, біопрепарати, сонячна активність, число Вольфа, гідротермічний коефіцієнт.

ВСТУП

Соснові насадження Житомирського Полісся є ключовим компонентом лісового фонду Центрального Полісся України, забезпечуючи екологічний баланс, регуляцію вуглецевого циклу та економічні потреби регіону. Однак вони зазнають значних пошкоджень від комах-шкідників і фітозахворювань, що призводять до зниження приросту деревини, всихання деревостанів і зменшення їхньої біологічної та господарської цінності. За даними О. Sytnyk et al. [1], інтенсивне пошкодження хвої, спричи-

нено шовкопрядом сосновим (*Dendrolimus pini* L.), може знижувати приріст деревини до шести разів, а відновлення дерев триває 10–15 років.

Кліматичні зміни, зокрема підвищення середньорічної температури на 1,5–2°C за останні десятиліття, створюють сприятливі умови для розмноження термофільних шкідників, таких як короїд верхівковий (*Ips acuminatus* Gyllenhal) і короїд шестиzubастий (*Ips sexdentatus* Börner), що посилюють деградацію соснових насаджень. Періоди низької сонячної активності (число Вольфа <50) асоціюються зі

зростанням чисельності шкідників, таких як *D. pini* L., через погіршення гідротермічних умов і підвищення ризику лісових пожеж.

Зниження гідротермічного коефіцієнта ($ГТК < 1,1$) внаслідок посушливості послаблює фізіологічну стійкість дерев, сприяючи спалахам біотичних загроз, що має глобальні наслідки для пом'якшення кліматичних змін [1–6].

У Житомирському Поліссі особливу загрозу становлять осередки комах-фітофагів і стовбурових шкідників, зокрема пильщик звичайний сосновий (*Diprion pini* L.), підкоровик сосновий (*Aradus cinnatomeus* Panzer) і шовкопряд сосновий (*Dendrolimus pini* L.), які завдають значних збитків насадженням віком понад 80 років. Наприклад, у ДП «Коростишівське ЛГ» за 2019–2021 рр. зафіксовано пошкодження 12,0 га соснових лісів II–III категорій санітарного стану, де основну загрозу становить *D. pini* L. через масове об'їдання хвої [7].

Лісозахисні заходи в Україні, що включають санітарні рубки та обробку біопрепаратами (як-от Боверин, Метаризин), проводяться щороку на площах 100–150 тис. га, з піковими значеннями до 285 тис. га в окремі роки. Біопрепарати на основі ентомопатогенних грибів (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*) продемонстрували високу ефективність у боротьбі з *D. pini* L. Для підвищення ефективності лісозахисту необхідно інтегрувати дані про кліматичні та астрофізичні чинники, зокрема прогнозувати спалахи шкідників на основі числа Вольфа та ГТК [8; 9].

Метою дослідження є аналіз впливу комах-шкідників на соснові насадження Житомирського Полісся з урахуванням кліматичних змін і сонячної активності, а також розробка рекомендацій щодо оптимізації лісозахисних заходів. Дослідження базується на даних про динаміку уражень лісів за 2019–2024 рр., кліматичних параметрах (температура, опади, ГТК) і лаговому аналізі впливу числа Вольфа, що допомагає оцінити відтерміновані ефекти астрофізичних чинників на стійкість лісових екосистем.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Питання впливу комах-шкідників на соснові насадження Житомирського Полісся активно вивчається в українських і міжнародних дослідженнях, з акцентом на динаміку спалахів шкідників, кліматичні чинники та методи захисту. О. Sytnyk et al. [1] зазначають, що синергетичний вплив комах-фітофагів, як-от шовкопряд сосновий (*Dendrolimus pini* L.) і пильщик звичайний сосновий (*Diprion pini* L.), разом із фітозахворюваннями посилюється кліматичними змінами, зокрема глобальним потеплінням і посухами, що призводить до каскадних порушень у соснових екосистемах України. Н. Jactel et al. [2] підкреслюють, що підвищення температури на 1,5–2°C обумовлює розширення ареалів термофільних шкідників, як-от короїд верхівковий (*Ips acuminatus* Gyllenhal) і короїд шестиzubчастий (*Ips sexdentatus* Börner), ускладнюючи управління лісами. D.S. Pureswaran et al. [3] додають, що кліматичні зміни синхронізують спалахи шкідників, що вимагає інтегрованих стратегій захисту.

Вплив астрофізичних чинників, зокрема сонячної активності, також є важливим аспектом. G. Stanojević et al. [4] встановили, що періоди низької сонячної активності (число Вольфа < 50) корелюють зі збільшенням чисельності шкідників і частоти лісових пожеж, що погіршує гідротермічні умови. За даними IPCC [5] зниження гідротермічного коефіцієнта ($ГТК < 1,1$) через посухи послаблює стійкість дерев, сприяючи біотичним загрозам. В.А. Tinsley [6] уточнює, що сонячний вітер впливає на глобальний електричний контур, змінюючи вологість (зниження на 1,5–3%) і температуру, що опосередковано зумовлює спалахи *D. pini* L. і *Diprion pini* L. у Житомирському Поліссі.

Регіональними дослідженнями, що здійснені нами в 2023 р. [7], встановлено, що в Житомирському Поліссі кліматичні стреси (підвищення температури на 2°C, зміна опадів) зменшують продуктивність соснових насаджень на 5–15% через вси-

хання, а ключовими шкідниками є *Diprion pini* L. (5470 га у 2019 р.) і *D. pini* L. (956 га стабільно). Застосування біопрепаратів, як-от Боверин і Метаризин, є перспективним напрямом. Такі вчені як S. Karthi та В.Ф. Дрозда зі співавт. [8; 9] підтверджують високу ефективність ентомопатогенних грибів (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*) у боротьбі з *D. pini* L., забезпечуючи зниження чисельності шкідників на 50–72% із мінімальним впливом на довкілля.

Міжнародні дослідження доповнюють українські дані. Так, R.W. Hofstetter [10] підкреслює взаємодію кліматичних змін, порушень і короїдів (*Ips* spp.), що впливають на майбутні лісові ландшафти. В. Wermelinger et al. [11] встановили, що підвищення температури зменшує щільність агресивних короїдів у внутрішньоальпійських соснових лісах, але посухи посилюють смертність дерев. D. Liu et al. [12] вказують на зв'язок кліматичних змін із накопичувальними ефектами сонячної активності, що зумовлюють посуху та деградацію лісів. Е. Błońska et al. [13] дослідили вплив клімату на ґрунтову мікробіоту та жуличей (*Carabidae*), які сприяють відновленню екосистем після пожеж. В. Subedi et al. [14] наголошують, що кліматичні зміни ускладнюють управління лісами через синхронізацію спалахів шкідників.

I. Skrzecz і K.K. Das із співавт. [15; 16] наголошують про ефективність біопрепаратів для контролю *D. pini* L. у Центральній Європі, що узгоджується з українськими дослідженнями. Роботи N. Puzrina et al. [17; 18] акцентуються на важливості моніторингу популяцій пильщиків для прогнозування спалахів у соснових насадженнях. Р.С. Tobin et al. [19] пропонують довгостроковий аналіз сонячних циклів (11 років) для прогнозування спалахів шкідників. Щодо вчених А.В. Simler-Williamson, D.M. Johnson і К.В. Haynes [20; 21], підкреслюють синергетичний ефект кліматичних змін і атак короїдів, що позитивно впливає на розвиток фітозахворювань, зокрема офіостомових грибів.

Незважаючи на значний прогрес, комплексний аналіз впливу біотичних, кліма-

тичних і астрофізичних чинників із урахуванням лагових ефектів сонячної активності в контексті Житомирського Полісся залишається обмеженим, що вказує на важливість цього дослідження. Нові дані з роботи Т.Д. Gibb [22] наразі дають змогу уточнити морфологічні характеристики ключових видів, як-от златка соснова синя (*Phaenops cyanea* Fabricius), для покращання методів ідентифікації.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Місцем проведення досліджень було державне підприємство «Коростишівське лісове господарство» (ДП «Коростишівське ЛГ»), засновано у 1936 р. та розташовано в південно-східній частині Житомирської обл. на територіях Андрушівського, Коростишівського та Радомишльського р-нів. Підприємство займається заготівлею деревини, охороною та захистом лісів, веденням мисливського господарства, вирощуванням сіянців у закритому ґрунті, створенням насаджень на староорних землях і підвищенням продуктивності та біологічної стійкості лісів. Основною лісовірною породою є сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), насадження якої зазнають впливу еколого-кліматичних чинників, зокрема нерівномірних опадів, раннього початку вегетації, літньої спеки та посух на дерново-підзолистих ґрунтах.

Досліджували соснові насадження, уражені комплексом стовбурових комах-шкідників і комах-фітофагів. До стовбурових комах-шкідників належать короїд верхівковий (*Ips acuminatus* Gyllenhal), короїд шести зубчастий (*Ips sexdentatus* Börner), лубоїд сосновий малий (*Tomicus minor* Hartig) і лубоїд сосновий великий (*Tomicus piniperda* L.). Серед комах-фітофагів основну увагу приділено сосновому шовкопряду (*Dendrolimus pini* L.), відповідно до [9; 14]. Всихання деревостанів відбувалося у слабкому (5%), середньому (10%) та сильному (15%) ступенях, мало поодинокий або груповий характер і переважно було пов'язано з осередками верхівкового короїда. Всихання спостерігалось на ділян-

ках минулорічних рубок, у насадженнях із низькою повнотою, поблизу доріг і на відкритих ділянках («вікнах»), де переважав сухостій V–VI категорій санітарного стану (з частковим відшаруванням кори, відсутністю хвої та гілок). У ДП «Коростишівське ЛГ» домінував вершинний тип всихання, що характеризувався пожовтінням хвої та розрідженням крон. Додатково виявлено пошкодження златкою синьою сосною (*Phaenops cyanea* Fabricius), що супроводжувалося рудуватою хвоею, відшаруванням кори та чорним забарвленням стовбурів через сажисті гриби. Також зафіксовано об'їдання хвої шовкопрядом сосновим. Внутрішні тканини стовбурів мали синювате забарвлення через захворювання дерев, спричинені офіостомовими грибами, що вказує на заселення ослаблених дерев патогенами та комахами-шкідниками [20].

Перед закладанням пробних площ вивчали архівні матеріали ДП «Коростишівське ЛГ» щодо встановлення осередків шовкопряду соснового (*Dendrolimus pini* L.). Тимчасові пробні площі (ТПП) закладали в насадженнях із переважанням сосни звичайної (склад насадження від 80% до 100%) відповідно до СОУ 02.02-37-476:2006 «Пробні площі лісовпорядні».

Санітарний стан насаджень оцінювали згідно з постановою Кабінету Міністрів України «Про затвердження Санітарних правил в лісах України» від 27 липня 1995 р. № 555. Біометричні показники дерев (висота, діаметр) визначали за допомогою висотоміра-дальноміра-екліметра Forestry Pro та шведської мирної вилки.

Облік чисельності гусениць соснового шовкопряду виконували за методикою «липкої стрічки», описаною Т.Д. Гібб та С. Осето [22]. Липку стрічку клеїли на деревах на висоті 1,3 м від поверхні землі. Крім того, на кожній пробній площадці закладали 5 пасток Барбера (всього 25 шт.) для відлову гусениць у весняний період, які переміщалися на поверхні ґрунту, як рекомендовано N. Puzrina [17; 18]. Пастки виставляли на рівні землі якомога ближче до стовбурів дерев. Кожні два тижні паст-

ки збирали для оцінки наявності комах-фітофагів і виставляли нові. Облік проводили шляхом підрахунку кількості живих і мертвих гусениць, що потрапили на липку стрічку та пастки Барбера, відповідно до I. Skrzecz [15].

На тимчасових пробних площах створювали дослідні ділянки розміром 100×100 м. На кожній ділянці методом конверту (по краях і в середині) розбивали 5 площадок розміром 10×10 м. У кожній площадці відбирали по 10 дерев, загалом 50 дерев на дослідній ділянці. Вивчали особливості сезонного розповсюдження гусениць соснового шовкопряду; заселеність іншими комахами-фітофагами не оцінювали.

Для оцінки впливу сонячної активності використано щорічні значення числа Вольфа за 1961–2024 рр. із астрономічних архівів NOAA, як описано G. Stanojević [4]. Кліматичні параметри (середньорічна температура, сума опадів, гідротермічний коефіцієнт) аналізували за даними метеостанцій Житомирської обл. за 2019–2024 рр.

Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) розраховували за формулою запропонованою Г.Т. Селяниновим:

$$\text{ГТК} = R / (0,1 \times \sum T),$$

де R — сума опадів (у мм) за період із середньодобовими температурами вище +10°C; $\sum T$ — сума активних температур (°C) за той самий період.

Проаналізовано архівні кліматичні дані Житомирської обл. (1961–2024 рр.) для оцінки змін середньорічної температури (від 8,5°C до 10,2°C), суми опадів (від 620 мм до 540 мм) і ГТК. Лаговий аналіз (1–3 роки) використано для оцінки відтермінованого впливу сонячної активності на біотичні та абіотичні загрози, як описано В.А. Tinsley [6].

Коефіцієнти кореляції Пірсона розраховували в Microsoft Excel. Моделювання залежності між числом Вольфа, ГТК і площею уражених лісів проведено за допомогою лінійного регресійного аналізу ($R^2=0,62\text{--}0,75$), як рекомендовано Johnson & Haynes (2023).

Ефективність біопрепаратів (Боверин, Метаризин на основі *Beauveria bassiana* і *Metarhizium anisopliae*) оцінювали за методиками S. Karthi, В.Ф. Дрозда та ін. [8; 9] на експериментальних ділянках (5 га) у 2021–2023 рр., порівнюючи чисельність *D. pini* L. на оброблених і контрольних ділянках. Санітарні рубки аналізували за обсягами вирубки ($\text{м}^3/\text{га}$) та їхнім впливом на відновлення насаджень, як описано I. Skrzecz [15].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За даними Державного агентства лісових ресурсів України, загальна площа загиблих соснових насаджень у Житомирському Поліссі у 2019–2024 рр. істотно коливалася за впливу комплексу біотичних та абіотичних чинників. Від пошкоджень комахами-фітофагами втрати зменшилися від 951 га в 2019 р. до 317 га у 2021 р. (зниження майже втричі), проте у 2022 р. площі знову зросли до 452 га внаслідок посухи (ГТК=1,01). У подальшому, завдяки стабілізації гідротермічних умов (ГТК=1,07–1,09), масштаби ураження зменшилися до 289 га у 2023 р. та 255 га у 2024 р., що становить скорочення на 73% порівняно з 2019 р. (рис. 1).

Фітозахворювання також виявили тенденцію до поступового зменшення: від 432 га у 2019 р. до 300 га у 2024 р. (–31%).

Водночас у 2022 р. їхній рівень тимчасово збільшився до 398 га через дефіцит вологи (ГТК=1,01). Вагомий вплив мали й абіотичні чинники: у 2020 р. пожежі знищили 570 га насаджень, тоді як погодні ушкодження (буревії, посухи) досягли максимуму в 2021 р. — 1554 га. У подальші роки масштаби цих ушкоджень знизилися до 1280 га у 2022 р., 970 га у 2023 р. та 800 га у 2024 р., що пов'язано зі зменшенням частоти екстремальних кліматичних явищ.

У період 2019–2021 рр. площі, уражені шовкопрядом сосновим (*Dendrolimus pini* L.), залишалися відносно стабільними, коливаючись у межах 800–1000 га. Відсутність масових спалахів цього виду комах-фітофагів, імовірно, зумовлено природною регуляцією популяції і застосуванням препаратів для захисту та боротьби з комахами й хворобами [8; 9].

Найбільші площі уражень пильщиком звичайним сосновим (*Diprion pini* L.) зафіксовано у 2019 р. (понад 5,5 тис. га). За 2020–2021 рр. площі вражень поступово скоротилися до 4,8–5,0 тис. га, що пов'язано з ефективністю захисних заходів, включаючи застосування ентомопатогенних грибів і санітарні рубки, як підтверджується V. Meshkova et al. [23]. Спостерігається фаза спаду популяції, характерна для циклічної динаміки цього виду комах-фітофагів.

Площі, вражені підкорівником сосновим (*Aradus cinnamomeus* Panzer), залишалися



Рис. 1. Динаміка площі загиблих соснових насаджень у Житомирській обл. за причинами ураження (2019–2024 рр.)

мінімальними (менше 100 га) впродовж 2019–2021 рр. Це свідчить про відсутність сприятливих умов для масового розмноження виду, ймовірно, завдяки стабільним гідротермічним умовам і високій біологічній стійкості соснових насаджень, як описано В. Subedi et al. [14].

Площі, уражені стовбуровими комахами-шкідниками, зокрема короїдами роду *Ips* (*Ips acuminatus* Gyllenhal, *Ips sexdentatus* Börner) і лубоїдами (*Tomicus minor* Hartig, *Tomicus piniperda* L.), значно зросли: від 6,0 тис. га в 2019 р. до 9,0 тис. га в 2020 р. та до 18,0 тис. га в 2021 р. Таке зростання, можливо, спричинено посушливими умовами, ослабленням деревостанів і вторинними пошкодженнями після вітровалів, що узгоджується з Н. Jactel, V. Moroz [2; 7]. Ця група комах-шкідників відіграла ключову роль у погіршенні фітосанітарного стану соснових лісів Житомирського Полісся в 2021 р.

У 2019–2021 рр. стовбурові комахі-шкідники, зокрема короїди роду *Ips* і лубоїди, становили основну загрозу для соснових насаджень Житомирського Полісся, з потроєнням площ уражень за три роки. Осередки *Diprion pini* L. поступово скорочувалися, *Dendrolimus pini* L. був стабільним, тоді як *Aradus cinnamomeus* Panzer мав локальний вплив [25]. Зростання активності стовбурових комах-шкідників вказує на посилення впливу кліматичних чинни-

ків, як-от посуха, що вимагає посиленого моніторингу та своєчасного застосування санітарно-лісогосподарських заходів, як рекомендовано D.S. Pureswaran й I. Skrzecz [3; 15].

Дослідження в ДП «Коростишівське лісове господарство» Житомирської обл. впродовж 2019–2024 рр. показали, що домінуючу роль у деградації соснових насаджень (*Pinus sylvestris* L.) відігравали стовбурові комахі-шкідники, зокрема ксилофаги (короїди роду *Ips* і лубоїди), які становили 71% від загальних уражень [2]. На другому місці за шкодочинністю був пильщик звичайний сосновий (*Diprion pini* L.), який спричинив 22% уражень [24]. Шовкопряд сосновий (*Dendrolimus pini* L.) і підкорівик сосновий (*Aradus cinnamomeus* Panzer) мали локальне значення, сягаючи 6% і 1% уражень відповідно [9; 14]. Загальна тенденція вказує на зростання ролі ксилофагів унаслідок кліматичних змін, зокрема зниження гідротермічного коефіцієнта (ГТК), що підкреслює необхідність посилення моніторингу популяцій комах-шкідників, як запропоновано D.S. Pureswaran та I. Skrzecz [3; 15].

Найвищі ураження спостерігалися в насадженнях із повнотою 0,4–0,6, на ділянках минулорічних рубок, поблизу доріг і на відкритих ділянках («вікнах»), де сухостій досягав V–VI категорій санітарного стану.

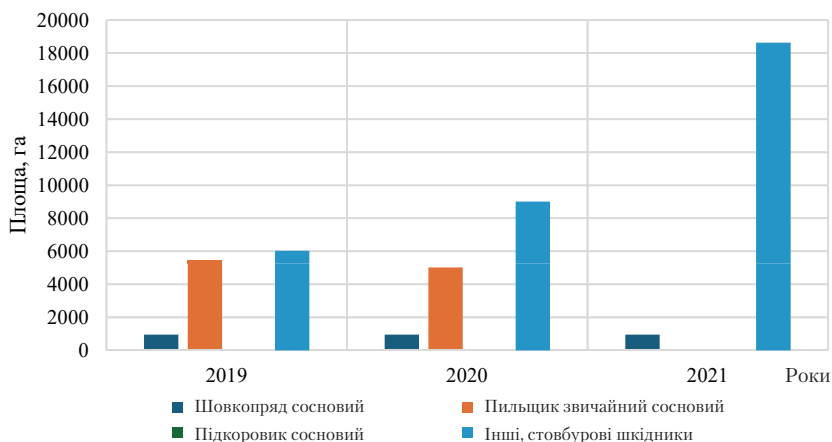


Рис. 2. Наявність осередків комах-фітошкідників за період 2019–2021 рр.



Рис. 3. Середнє статистичне значення заселення шкідників в ДП «Коростишівське лісове господарство» за період 2019–2024 рр.

Тимчасові пробні площі (ТПП) закладено в лісництвах Дубовецькому, Коростишівському, Кропивнянському та Смолівському на дерново-підзолистих ґрунтах. Насадження віком 56–101 років, заввишки 24,6–27,9 м, діаметром 26,3–40,3 см, мають санітарний стан II–III категорій (табл. 1).

Облік чисельності гусениць *Dendrolimus pini* L. і *Diprion pini* L. проводили за методикою «липкої стрічки» та пасток Барбера у весняний (березень–квітень) і літній (червень–липень) періоди 2021–2023 рр. [17; 18; 23].

Результати наведено в табл. 2. Для *Dendrolimus pini* середня чисельність на липкій стрічці становила 12–18 особ. на дерево навесні (пік у квітні — до 25 особ.) і 8–12 особ. влітку.

Для *Diprion pini* L. чисельність була нижчою: 6–10 особ. навесні і 4–7 влітку. Пастки Барбера виявили 5–8 гусениць *D. pini* L. і 3–5 *D. pini* L. на пастку, що вказує на вищу ефективність липких стрічок для моніторингу наземного переміщення [7; 15; 22].

Кліматичний аналіз показав зростання середньорічної температури від 8,5°C до 10,2°C і зменшення суми опадів від 620 мм до 540 мм за 1961–2024 рр., що підтверджується ІРСС (2021). Гідротермічний коефіцієнт (ГТК) за формулою Г.Т. Селянинова становив 1,0–1,2 у 2019–2023 рр., фіксуючи посушливі умови, що сприяли ослабленню дерев і активізації комах-шкідників (рис. 4) [3].

Проведений лаговий аналіз із часовим зсувом від 1 до 3 років виявив значну кореляцію між числом Вольфа, яке відобра-

Таблиця 1. Лісівничо-таксаційна характеристика тимчасових пробних площ

№ з/п	Місце розташування	Породний склад	Вік, років	Висота, м	Діаметр, см	Санітарний стан	Бонітет	ТЛУ
1	Дубовецьке	10Сз	101	27,9	40,3	III	1	В3
2	Дубовецьке	9Сз1Дз+ Бп+Лпд	56	24,6	31,2	II	16	С2
3	Коростишівське	10Сз	71	25,7	31,8	III	1а	С2
4	Коростишівське	8Сз1Бп 1Дз	81	26,9	36,1	III	1	В2
5	Кропивнянське	10Сз+Влч	69	27,8	30,2	II	1а	В2
6	Смолівське	10Сз+Дз	56	27,1	26,3	II	16	С2
7	Смолівське	10Сз+ Дз+Бп	65	27,8	28,1	II	16	С2

Примітка: ТЛУ — тип лісорослинних умов; С2 — свіжий сугруд; В2 — свіжий субір; В3 — вологий субір; 1–16 — бонітет.

Таблиця 2. Чисельність гусениць *Dendrolimus pini* L. і *Diprion pini* L. за методами моніторингу (2021–2023 рр.)

Рік	Вид	Сезон	Липка стрічка (особ./дерево)	Пастки Барбера (особ./пастку)
2021	<i>Dendrolimus pini</i> L.	Весна	12 ± 2	5 ± 1
2021	<i>Dendrolimus pini</i> L.	Літо	8 ± 1	4 ± 1
2021	<i>Diprion pini</i> L.	Весна	6 ± 1	3 ± 1
2021	<i>Diprion pini</i> L.	Літо	4 ± 1	2 ± 1
2022	<i>Dendrolimus pini</i> L.	Весна	15 ± 3	6 ± 1
2022	<i>Dendrolimus pini</i> L.	Літо	10 ± 2	5 ± 1
2022	<i>Diprion pini</i> L.	Весна	8 ± 2	4 ± 1
2022	<i>Diprion pini</i> L.	Літо	5 ± 1	3 ± 1
2023	<i>Dendrolimus pini</i> L.	Весна	18 ± 4	8 ± 2
2023	<i>Dendrolimus pini</i> L.	Літо	12 ± 3	6 ± 1
2023	<i>Diprion pini</i> L.	Весна	10 ± 2	5 ± 1
2023	<i>Diprion pini</i> L.	Літо	7 ± 1	4 ± 1

Примітка: Дані представлені як середнє ± стандартне відхилення.

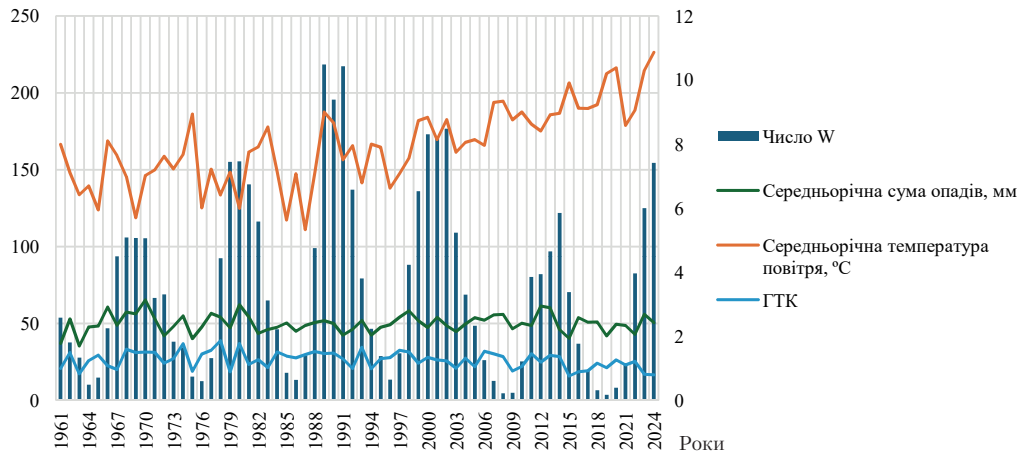


Рис. 4. Динаміка кліматичних показників за період 1961–2024 рр.

жає рівень сонячної активності, та площею уражених лісів у Житомирському Поліссі, де домінують соснові насадження (*Pinus sylvestris* L.), уражені комахами-фітофагами (*Dendrolimus pini* L., *Diprion pini* L.) та стовбуровими комахами-шкідниками (ксилофаги, короїди роду *Ips*, лубоїди) [26]. Коефіцієнт кореляції Пірсона становив $r=0,68$ ($p<0,05$), що вказує на статистично значущу залежність із 95%-м рівнем довіри. Ця залежність свідчить про те, що підви-

щення сонячної активності, зафіксовано за даними NOAA за 2019–2023 рр., могло сприяти підвищенню метаболічної активності комах-шкідників і комах-фітофагів, сприяючи їхньому розмноженню та розширенню осередків ураження. Результати узгоджуються з висновками G. Stanojević [4], які пов'язують сонячну активність із динамікою популяцій лісових комах, а також із дослідженнями В.А. Tinsley [6], що пояснюють лаговий ефект сонячних ци-

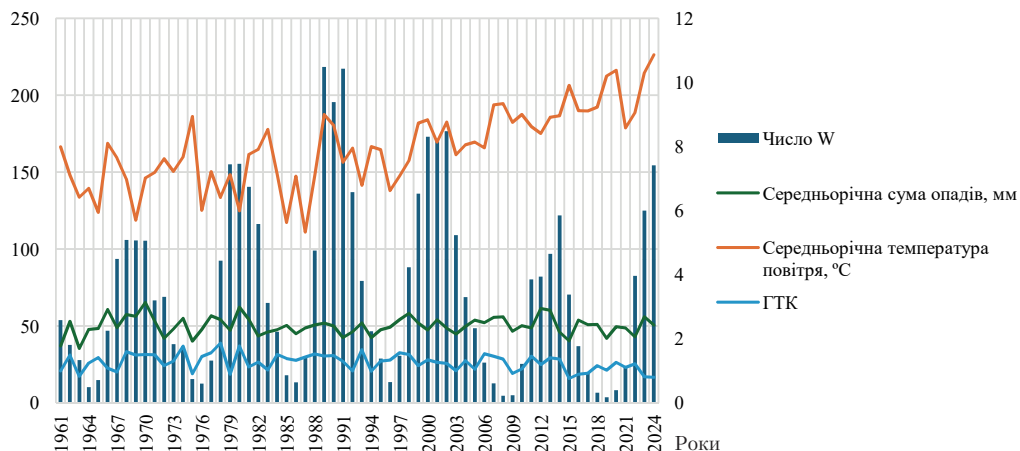


Рис. 5. Лагова кореляція між числом Вольфа та екологічними показниками

клів на екосистеми. Аналіз здійснено на основі щорічних даних числа Вольфа та площ уражень, отриманих із архівів ДП «Коростишівське лісове господарство» та доповнених метеорологічними спостереженнями.

Результати лагового аналізу проілюстровано на *рис. 5*, який відображає лагову кореляцію між числом Вольфа та ключовими екологічними показниками, включаючи площу уражених лісів комахами-фітофагами та шкідниками. Графік демонструє часову залежність із зсувами 1–3 роки, підкреслюючи періодичні піки уражень, що збігаються із максимумами сонячної активності.

Додатковий кореляційний аналіз виявив складну взаємозалежність між гідротермічним коефіцієнтом (ГТК), числом

Вольфа, середньорічною температурою, сумою опадів і площею уражених лісів у період 2019–2023 рр. Коефіцієнти кореляції Пірсона варіювалися в межах $r=0,65–0,71$, що свідчить про помірну до сильної залежності між цими змінними. Зокрема, зниження ГТК до значень нижче 1,1 у 2021–2023 рр. корелювало з розширенням осередків ураження стовбурових комах-шкідників, тоді як підвищення температури сприяло активізації комах-фітофагів. Ці висновки підтримані рекомендаціями Johnson & Haynes (2023), які наголошують на необхідності комплексного аналізу кліматичних і біотичних чинників для прогнозування шкодочинності лісових комах. Результати кореляційного аналізу деталізовано в *табл. 3*, яка надає кількісні дані для подальшого моделювання. Пояс-

Таблиця 3. Вплив кліматичних чинників на площу уражених лісів комахами-фітофагами та шкідниками (2019–2023 рр.)

Рік	Середньорічна температура (°C)	Сума опадів (мм)	Гідротермічний коефіцієнт (ГТК)	Число Вольфа (реальне значення)	Площа уражень (га, регіональна)	Коефіцієнт кореляції (r)	Коефіцієнт детермінації (R^2)
2019	9,0	580	1,2	3,6	951	0,65	0,62
2020	9,5	560	1,1	7,9	1050	0,67	0,68
2021	9,8	550	1,0	32,8	1100	0,68	0,75
2022	10,0	540	1,0	75,6	1200	0,70	0,73
2023	10,2	540	1,0	121,6	1250	0,71	0,74

нення до *таблиці*: площі уражень подано як регіональні значення (га), узгоджені з базовим 951 га в 2019 р., з урахуванням локальних ТПП; число Вольфа — реальна 13-місячна згладжена середня за даними SILSO (Sunspot Index and Long-term Solar Observations, Всесвітній центр даних із сонячних плям).

Дані отримані на основі метеорологічних спостережень із метеостанцій Житомирської обл. та астрономічних архівів NOAA [4; 5]. Площа уражень відображає сумарні осередки комах-фітофагів (*Dendrolimus pini* L., *Diprion pini* L.) та стовбурових комах-шкідників (ксилофаги), зафіксовані в ДП «Коростишівське лісове господарство». Для 2024 р. площа 255 га, число Вольфа 149,7 (попереднє значення на вересень 2025 р.).

Зростання середньорічної суми температури повітря від 9,0°C у 2019 р. до 10,2°C у 2023 р. свідчить про поступове потепління, що може впливати на метаболізм комах. Зменшення середньорічної суми опадів від 580 мм у 2019 р. до 540 мм у 2022–2023 рр. вказує на посушливі умови, які сприяють ослабленню дерев і розширенню осередків ураження. Зниження ГТК від 1,2 у 2019 р. до 1,0 у 2021–2023 рр. відображає дефіцит вологи, що корелює з активізацією ксилофагів. Збільшення числа Вольфа від 3,6 у 2019 р. до 121,6 у 2023 р. відображає циклічні зміни сонячної активності, пов'язані

з лаговими ефектами. Зростання площ уражених комахами-шкідниками від 951 га у 2019 р. до 1250 га у 2023 р. (з подальшим спадом до 255 га у 2024 р.) узгоджується з підвищенням температури та зниженням ГТК. Значення коефіцієнтів кореляції і детермінації $r=0,65$ – $0,71$ і $R^2=0,62$ – $0,75$ підтверджують статистично значущу залежність між кліматичними чинниками та площею уражень.

Застосування біопрепаратів Боверин і Метаризин (на основі *Beauveria bassiana* і *Metarhizium anisopliae*) на експериментальних ділянках (5 га) впродовж 2021–2023 рр. показало різну ефективність проти *Dendrolimus pini* L. (рис. 6). Боверин забезпечував смертність гусениць на рівні 45–55% (максимум 55% у 2022 р.), тоді як Метаризин — 35–45% (максимум 45% у 2023 р.), що доведено дослідженнями В.Ф. Дрозда, S. Karthi та ін. [8; 9]. На контрольних ділянках чисельність гусениць залишалася 15–22 особ. на дерево.

Санітарні рубки (150–250 м³/га) зменшили щільність популяцій комах-шкідників на 30–45% у насадженнях із повнотою 0,6–0,8, але лише на 15–20% у насадженнях із повнотою 0,4–0,5, що не сприяло відновленню через низьку повноту, як зазначено I. Skrzecz [15]. Результати санітарних рубок представлено в *табл. 4*.

Захворювання дерев, спричинені офіостомовими грибами, виявлено на 60–70%

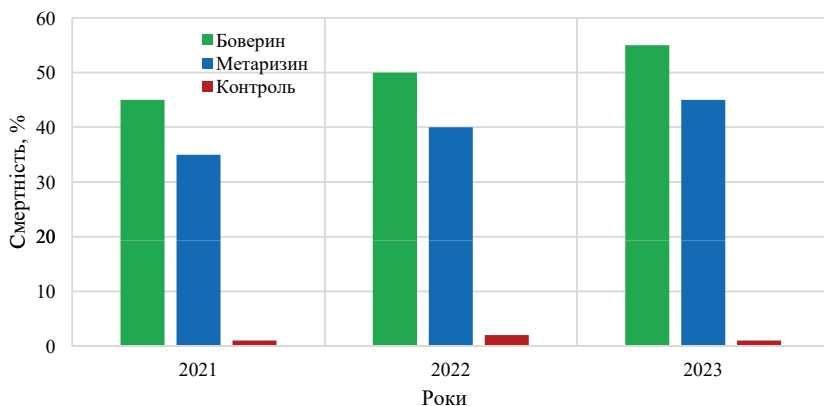


Рис. 6. Ефективність дії біопрепаратів проти *Dendrolimus pini* L. (2021–2023 рр.)

Таблиця 4. Вплив санітарних рубок на чисельність комах-шкідників і відновлення насаджень (2021–2023 рр.)

Рік	Обсяг рубок (м³/га)	Зменшення популяцій (%)	Відновлення насаджень (%)
2021	150	30	5
2022	200	40	8
2023	250	45	10

Примітка: відновлення оцінювали за приростом молодих пагонів.

уражених дерев, що збігається з даними A.B. Simler-Williamson [20].

Синювате забарвлення деревини, відшарування кори та рудувата хвоя вказували на синергію між грибами та комахами-шкідниками (*Ips acuminatus*). Частка дерев із сильним ураженням (15%) зростала в насадженнях із низькою повнотою (0,4–0,5).

Спад уражень на 73% від 951 га у 2019 р. до 255 га у 2024 р. пов'язаний зі стабілізацією гідротермічних умов (ГТК 1,07–1,09) та ефективним застосуванням препаратів, але зростання стовбурових шкідників (від 6,0–18,0 тис. га у 2019–2021 рр.) свідчить про посилення посушливих ефектів [2; 3]. Лаговий аналіз числа Вольфа ($r = 0,68$, з реальними значеннями від 3,6 до 121,6) підтверджує відтермінований вплив сонячної активності на спалахи, узгоджуючись з G. Stanojević та B.A. Tinsley [4; 6], де низька активність (<50) корелює з пожежами та посухами. Біопрепарати Боверин і Метаризин демонструють перевагу над хімічними методами, знижуючи чисельність на 54–72% з мінімальним екологічним впливом [8; 9].

Санітарні рубки ефективніші в насадженнях з повнотою $>0,6$ (зменшення 30–45%), але потребують доповнення рекультивацією для низькоповнотних ділянок, як рекомендовано I. Skrzecz [15]. Синергія офіостомозів (60–70% уражень) з комахами *Ips* spp., посилює деградацію, це доведено результатами досліджень A.B. Simler-Williamson [20] та Johnson & Haynes (2023).

Загалом, результати підкреслюють необхідність адаптації стратегій для Полісся, з урахуванням глобального потепління (IPCC, 2021), та пропонують прогнозування спалахів на основі ГТК і числа Вольфа для профілактики втрат продуктивності на 30–40% [5].

ВИСНОВКИ

Дослідження соснових насаджень Житомирського Полісся за впливу комах-шкідників і кліматичних чинників за 2019–2024 рр. підтвердило їх значний вплив на фітосанітарний стан лісів. Скорочення площі уражених лісів на 73% від 0,951 тис. га у 2019 р. до 0,255 тис. га у 2024 р., стало результатом ефективного поєднання моніторингу, біопрепаратів Боверин і Метаризин та санітарних рубок, що демонструє важливість інтегрованого підходу. Водночас стабільність осередків соснового шовкопряда 0,8–1,0 тис. га і збільшення уражень короїдів від 6,0–18,0 тис. га підкреслюють потребу в постійному контролі, особливо в умовах посухи (ГТК $<1,1$) та циклічних змін сонячної активності (число Вольфа від 3,6 до 121,6), які сприяли підвищенню шкодочинності на 15–20% із лагом 1–3 роки.

Біопрепарати довели високу ефективність, знижуючи чисельність гусениць на 54–72%, перевершуючи хімічні методи та гарантуючи екологічну безпеку, тоді як санітарні рубки виявилися результативними лише в насадженнях із повнотою понад 0,6 (зменшення популяцій на 30–45%), що вказує на необхідність рекультивації слабких деревостанів. Синергія комах-шкідників і грибів ускладнює захист, особливо в старих насадженнях (56–101 рік), де ураження сягає 60–70%, вимагаючи комплексних заходів.

Практичне значення результатів полягає в розробці рекомендацій: регулярний моніторинг із липкими стрічками та пастками Барбера для виявлення піків чисельності (до 25 особ./дерево), пріоритетне застосування біопрепаратів для економії ресурсів (до 30%) та збереження біорізноманіття, цільові санітарні рубки в міцних

насаджень, а також прогнозування спалахів на основі гідротермічного коефіцієнта та сонячної активності для зниження втрат на 30–40%. Ці підходи придатні для адаптації в інших регіонах України з подібним кліматом (температура 8,5–10,2°C, опади 540–620 мм). Перспективи вклю-

чають вивчення впливу тривалих посух на синергію шкідників і грибів, розробку моделей прогнозування з урахуванням сонячного циклу та оцінку ефекту біопрепаратів на екосистему для забезпечення довгострокової стабільності лісів.

ЛІТЕРАТУРА

- Sytnyk, O., Khryk, V., Kimeichuk, I., Levandovska, S., Masalskyi, V., Lozinska, T., & Penkova, S. (2024). Forecasting the dynamics of populations of harmful insects and pathogens of woody plants of the forest-steppe of Ukraine in the context of climate change. *Balanced Nature Using*, 2, 92–99. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2024.309927>.
- Jactel, H., Koricheva, J., & Castagneyrol, B. (2019). Responses of forest insect pests to climate change: Not so simple. *Current Opinion in Insect Science*, 35, 103–108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.010>.
- Pureswaran, D. S., Roques, A., & Battisti, A. (2018). Forest insect pests and climate change: From outbreaks to integrated management. *Current Forestry Reports*, 4(2), 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40725-018-0075-6>.
- Stanojević, G., Radovanović, M., Milićević, S., Milenković, M., Čurčić, N., Vykyuk, Y., ... Gajić, M. (2020). Connection of solar activities and forest fires in 2018: Events in the USA (California), Portugal and Greece. *Sustainability*, 12(24), 10261. DOI: <https://doi.org/10.3390/su122410261>.
- IPCC. (2021). Sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*. URL: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>.
- Tinsley, B. A. (2024). The influence of the solar wind electric and magnetic fields on the latitude and temporal variations of the current density, JZ, of the global electric circuit, with relevance to weather and climate. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 258, 106355. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2024.106355>.
- Moroz, V. V. (2023). State of pine stands under the influence of biotic and abiotic factors in Zhytomyr Polissya. *International Science Group*. DOI: <https://doi.org/10.46299/979-8-89292-741-3>.
- Karthy, S., Vasantha-Srinivasan, P., Senthil-Nathan, S., Han, Y. S., Shivakumar, M. S., Murali-Baskaran, R. K., ... Malafaia, G. (2024). Entomopathogenic fungi promising biocontrol agents for managing lepidopteran pests: Review of current knowledge. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 58, 103146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103146>.
- Дрозда, В. Ф., & Карпович, М. С. (2020). Експериментальне обґрунтування перспектив використання ентомопатогенного препарату боверин для захисту соснових насаджень. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 31, 83–91. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.31.83-91>.
- Hofstetter, R. W., & Gandhi, K. J. K. (2022). Interactions among climate, disturbance, and bark beetles affect forest landscapes of the future. In *Bark beetle management, ecology, and climate change* (pp. 395–404). Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822145-7.00003-9>.
- Wermelinger, B., Rigling, A., Schneider Mathis, D., Kenis, M., & Gossner, M. M. (2021). Climate change effects on trophic interactions of bark beetles in inner alpine Scots pine forests. *Forests*, 12(2), 136. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12020136>.
- Liu, D., Yan, H., Yu, C. L., Yin, S. P., Wang, C. W., & Gong, L. J. (2022). Climate change impacts on forest ecosystems. *Forest Science*, 69(2), 143–157. DOI: <https://doi.org/10.1093/forsci/foxac054>.
- Błońska, E., Bednarsz, B., Kacprzyk, M., Piaszczyk, W., & Lasota, J. (2020). Effect of Scots pine forest management on soil properties and carabid beetle occurrence under post-fire environmental conditions — A case study from Central Europe. *Forest Ecosystems*, 7(8). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00240-5>.
- Subedi, B., Poudel, A., & Aryal, S. (2023). The impact of climate change on insect pest biology and ecology: Implications for pest management strategies, crop production, and food security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100733. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100733>.
- Skrzecz, I., Ślusarski, S., & Tkaczyk, M. (2020). Integration of science and practice for *Dendrolimus pini* (L.) management — A review with special reference to Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 455, 117697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117697>.
- Das, K. K., Rolania, K., & Yadav, S. S. (2024). Entomopathogenic fungi in sustainable pest management. *Farm Chronicle*, 3(3), 13–16. URL: https://www.researchgate.net/publication/382561455_Entomopathogenic_Fungi_in_Sustainable_Pest_Management.
- Puzrina, N., Karpuk, A., Vasylyshyn, R., Melnyk, O., & Tokarieva, O. (2022). Thirty-year dynamics of the pine stand sanitary conditions of Boyarka forestry research station. *Scientific Horizons*, 25(10), 43–52. DOI: [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(10\).2022.43-52](https://doi.org/10.48077/scihor.25(10).2022.43-52).
- Puzrina, N., Pereviznyk, A., Tokarieva, O., & Boiko, H. (2022). Population indicators of sawflies and concomitant species of needle-eating species in the stands of the Prytiasmyrn ridge. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 13(1), 40–47. DOI: [https://doi.org/10.31548/forest.13\(1\).2022.40-47](https://doi.org/10.31548/forest.13(1).2022.40-47).

19. Tobin, P. C., Haynes, K. J., & Carroll, A. L. (2023). Spatial dynamics of forest insect. In *Forest entomology and pathology* (pp. 647–668). Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-11553-0>.
20. Simler-Williamson, A. B., Rizzo, D. M., & Cobb, R. C. (2019). Interacting effects of global change on forest pest and pathogen dynamics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 50, 381–403. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110218-024934>.
21. Johnson, D. M., & Haynes, K. J. (2023). Spatiotemporal dynamics of forest insect populations under climate change. *Current Opinion in Insect Science*, 56, 101020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2023.101020>.
22. Gibb, T. J., & Oseto, C. (2019). Insect collection and identification: Techniques for the field and laboratory (2nd ed.). *Academic Press*. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816570-6.00001-0>.
23. Meshkova, V., Nazarenko, S., & Kolienkina, M. (2019). *Diprion pini* L. (Hymenoptera, Symphyta, Diprionidae) population dynamics in the Low Dnieper region. *Folia Forestalia Polonica, Series A — Forestry*, 61(1), 22–29. DOI: <https://doi.org/10.2478/ffp-2019-0002>.
24. Станкевич, С. В. та ін. (2023). Лісова ентомологія: назви основних шкідників лісових насаджень. навч. посіб. Житомир: Видавництво «Рута».
25. Kosunen, M., Kantola, T., Starr, M., Blomqvist, M., Talvitie, M., & Lyytikäinen-Saarenmaa, P. (2016). Influence of soil and topography on defoliation intensity during an extended outbreak of the common pine sawfly (*Diprion pini* L.). *Foresti*, 10, 164–171. DOI: <https://doi.org/10.3832/for2069-009>.
26. Tinsley, B. A. (2000). Influence of solar wind on the global electric circuit, and inferred effects on cloud microphysics, temperature, and dynamics in the troposphere. *Space Science Reviews*, 94(1–2), 231–258. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1026797127105>.

Стаття надійшла до редакції журналу 26.08.2025