

ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ПОПУЛЯЦІЙ ШКІДЛИВИХ КОМАХ І ЗБУДНИКІВ ХВОРОБ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

О.С. Ситник

кандидат сільськогосподарських наук, асистент
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)
e-mail: s.sasha.htc@gmail.com;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2637-1849>

В.М. Хрик

доктор педагогічних наук, доцент
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)
e-mail: hvm2020@ukr.net;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1912-3476>

І.В. Кімейчук

магістр-дослідник лісового господарства, асистент
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)
e-mail: ivan.kimeichuk@btsau.edu.ua;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9100-1206>

С.М. Левандовська

кандидат біологічних наук, доцент
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)
e-mail: svtmzel@gmail.com;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8485-6134>

В.П. Масальський

кандидат біологічних наук, доцент
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)
e-mail: vlad.masalskiy71@gmail.com;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8642-7782>

Т.П. Лозінська

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)
e-mail: lozinskata@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7119-0759>

С.В. Пенькова

доктор філософії в галузі агрономії, асистент
Білоцерківський національний аграрний університет (м. Біла Церква, Україна)
e-mail: svitlana1986r@ukr.net;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6256-3122>

Зміна кліматичних умов — одна з найактуальніших проблем людства. Виникнення осередків всохлих дерев у різних частинах земної кулі вказує на глобальність процесів, що пов'язано з планетарними циклами та кліматичними змінами. Імовірно, це має зв'язок із різними діями, зокрема тенденцією до потепління, зміною режиму опадів, підвищенням рівня моря та змінами в струминних течіях. Для досягнення мети статті методами емпіричного та аналітичного дослідження ми проаналізували сучасні наукові публікації. Виявили, що прогнозоване розповсюдження комах-шкідників, паразитів і збудників хвороб серед видів деревних рослин спричиняє дедалі більшу занепокоєність фахівців. Усихання лісів є проблемою як для Європи, так і для України, де площа всихання соснових насаджень охопила регіон Лісостепу й поширилася на інші природні зони. У роботі висвітлили актуальне питання аналізу чинників ослаблення та погіршення санітарного стану деревних рослин Лісостепу України. Дослідники прогнозують суттєві кліматичні зміни найближчим часом. Через таку зміну комахи-шкідники та

інші збудники хвороб можуть завдати ще більшої шкоди деревним рослинам. Зміна клімату, а саме збільшення викидів вуглекислого газу й потепління, часті посухи й температурні зміни, впливають на популяцію шкідників. До поширених хвороб деревних рослин Лісостепу України належать хвороби, які спричиняють комахи, гриби та бактерії. Так, у лісах найбільш поширене ураження кореневою губкою (*Fomes annosus* Fr., *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.). Значної шкоди рослинам також завдають нематоди, віруси. У публікації розглянуто вплив зміни клімату (температури, вологості тощо) на біологію та екологію комах-шкідників і досліджено потенційне використання сучасних технологій моніторингу шкідників та інструментів прогнозування. Отже, прогнозовані зміни клімату здатні спричинити потепління, зміну кількості, якісних і часових характеристик опадів. У такій спосіб глобальні зміни клімату впливають на наявність води в ґрунті, потоки атмосферної водяної пари та гідрологічні процеси. Багато шкідників чутливі до змін опадів і температури, що призводить до зміни їх популяцій.

Ключові слова: санітарний стан, кліматичні умови, коренева губка, патоген, відносна вологість повітря, потенційне випаровування, глобальне потепління.

ВСТУП

Нині людство зіткнулося із новою глобальною проблемою — зміною клімату. Дослідники клімату NASA (США) визначили, що за останні десять років температура зросла на 0,12°C, а за ціле століття планета стала теплішою на 0,8°C. Підраховали, що за останні 25 років середня температура поверхні Землі збільшилася приблизно на 0,74°C. Зміна кліматичних умов відбувається і на території України. Так, середньорічна температура повітря в Україні за останні 100 років зросла на 0,8–1,0°C у зоні Полісся та Лісостепу і приблизно на 0,5°C у зоні Степу [1; 2].

Клімат — один із провідних чинників, що зумовлює поширення різних видів збудників хвороб деревних рослин. Упродовж останніх десятиліть занепокоєння щодо потенційних наслідків тривалих змін клімату для поширення шкідників деревних рослин сприяло появі великої кількості наукових досліджень. Особливий інтерес у контексті змін клімату становлять дослідження впливу регіональних кліматичних змін на динаміку чисельності шкідників. Для цього проводять моніторинг опадів за допомогою дистанційного зондування Лісостепу України [2; 3].

Інтенсифікація сільськогосподарської діяльності, яка не супроводжується природоохоронними заходами, призводить до порушення природного середовища [2].

Зміна клімату створює загрозу для українських лісів. Такі чинники, як потепління, часті посухи та повені, зміна концентрації вуглекислого газу (CO₂) в атмосфері та інші зміни, пов'язані з кліматом, продовжують впливати на ріст деревних рослин Лісостепу України [2; 4]. Крім того, абіотичні чинники впливають на біологію шкідників, продуктивність, динаміку популяції тощо. Збільшення популяції шкідників і часті спалахи внаслідок погодних умов можуть спричинити розвиток збудників хвороб деревних рослин.

Робота присвячена аналізу наявних та очікуваних впливів змін клімату, а саме підвищення концентрацій CO₂ і температури, частоти посух, на біологію та екологію комах-шкідників і збудників хвороб деревних рослин. Крім того, у статті наведені сучасні технології моніторингу шкідників та інструменти прогнозування для створення модифікованих інтегрованих стратегій боротьби зі шкідниками.

Об'єкт дослідження — динаміка популяцій шкідливих комах і збудників хвороб деревних рослин на території Лісостепу України.

Предмет дослідження — методи і способи аналізу кліматичних умов Лісостепу України та їх вплив на популяційний склад шкідливих комах і збудників хвороб деревних рослин.

Мета дослідження — оцінити вплив зміни клімату та спрогнозувати динаміку популяцій шкідливих комах і збудників хвороб деревних рослин Лісостепу України.

Для досягнення мети дослідження поставили наступні завдання: визначити зміни кліматичних умов Лісостепу України; проаналізувати популяційний склад шкідливих комах і збудників хвороб деревних рослин Лісостепу України; встановити вплив зміни клімату на динаміку популяцій шкідливих комах і збудників хвороб деревних рослин Лісостепу України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Нині більшість екологів вважають, що популяційна динаміка залежить від різноманітності зовнішнього середовища, а остання — від мозаїчності та екологічних коливань. Для пояснення причин циклічних коливань чисельності пропонують декілька теоретичних концепцій: метеорологічна, випадкових коливань чисельності, взаємодії популяцій (хижак — жертва, паразит — хазяїн) та концепція трофічних рівнів. Сутність міжсистемного методу полягає в тому, що за поведінкою однієї системи в момент прогнозування (сонячної активності та її різких

змін) прогнозують подальшу поведінку іншої системи (динаміки популяцій).

Сучасні дослідження [1–3] присвячені вивченню кліматичних чинників та визначенню прогнозу їх змін.

Вивченню впливу змін клімату на шкідливих комах і збудників хвороб деревних рослин присвячені роботи [4–10].

У працях [6; 8; 11; 12] доведено, що значна частина хвороб і пошкоджень лісу пов'язана з біотичними чинниками. Тож залишається актуальним прогнозування динаміки популяцій шкідливих комах і збудників хвороб деревних рослин Лісостепу України.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вирішення поставленої мети провели аналіз сучасних наукових досліджень і публікацій щодо впливу кліматичних умов на динаміку популяцій шкідливих комах і збудників хвороб деревних рослин Лісостепу України. Для цього застосували методи емпіричного та аналітичного досліджень. Проаналізували основні чинники кліматичних змін, що зумовлюють зміни популяційного складу шкідників і фітозахворювань, та визначили їх прогноз.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Упродовж останніх століть ліси помірного поясу Північної півкулі зіткнулися із серйозними загрозами. Спочатку вони були пов'язані з людським життям, а саме зі збільшенням площ землекористування, що призвело до неконтрольованого вирубування лісів. Однак, починаючи з другої половини ХХ століття, зміна клімату спричинила масштабніші загрози. Вони зумовлені більшими посухами, прискоренням природних збурень і забрудненням повітря, ґрунту та води. Найбільша загроза виникла для лісів Лісостепу України, де посушливість клімату є основним чинником, який обмежує поширення, ріст і стійкість лісів.

Масштаби та гострота природних порушень у лісах України зростає і внаслідок хвороб деревних рослин. До поширених належать хвороби, які спричиняють гриби та бактерії. Так, у лісах Європи найбільш поширене ураження кореневою губкою (*Fomes annosus* Fr., *Heterobasidion annosum*). Гриб уражає деревні види (ялиця, клен, модрина, яблуня, сосна, ялина, тополя, груша, дуб, секвоя і тсуга) та найчастіше зустрічається на голонасінних. Крім того, вагомий вплив мають пошкодження комахами, ссавцями та ін.

Варто відмітити тенденцію до стрімкого зростання вірусних інфекцій у біоценозах

України. Виявили нові патогени, які раніше не зустрічали на територіях Лісостепу України [3; 13].

Сучасні наукові дослідження зосереджені на визначенні наслідків зміни клімату, зокрема підвищенні температури, концентрації CO₂, повенях, посухах і суворіших погодних умовах. Зміна клімату та погодні аномалії впливають на комах-шкідників і прямо чи опосередковано на деревні рослини [5–7].

Установили, що зміна кліматичних умов безпосередньо впливає на розмноження, розвиток, виживання та розповсюдження шкідників, а також опосередковано впливає на взаємодію між видами комах та їх хижаків, конкурентів і мутуалістів, а також на взаємодію з їх середовищем існування. Комахи, які є пойкилотермними, піддаються значному впливу змін температури. Температура впливає на поведінку, поширення, розвиток і розмноження комах. Коливання температури суттєво впливає на фізіологію комах. З'ясували, що за кожне підвищення температури на 10°C удвічі збільшується швидкість метаболізму комах [6].

Діяльність людини, зокрема використання палива та індустріалізація, значною мірою спричинила глобальне потепління останнього століття. Кліматичні моделі передбачають, що впродовж ХХІ століття температура Землі підвищиться на 1,4–5,8°C [1].

Усі прогнози зміни температури до середини ХХІ століття (2031–2050 рр. порівняно з 1991–2010 рр.) показують потепління впродовж року. У середньому на всій території України підвищення температури становитиме 1,2–1,5°C, від 0,7°C навесні до 1,9°C взимку. Максимальний рівень потепління очікують у грудні (+2,2±0,4°C по всій країні) і трохи менше в січні (+1,7±0,5°C). Найменші зміни очікують навесні.

Упродовж 2011–2030 рр. очікують як збільшення, так і зменшення кількості опадів порівняно з 1991–2010 рр. До кінця нашого століття зберігається тенденція збільшення кількості опадів у холодний період (особливо взимку) і збільшення посухи в теплий період (особливо влітку). Крім того, для більшої частини країни зменшення опадів очікують у серпні (найбільше скорочення в східному регіоні — 18%). Загалом прогнозують, що найближчим часом для всієї України (крім західних областей) кількість опадів зменшиться, і впродовж століття ця тенденція посилюватиметься. Динаміку температури й опадів визначає зміна таких важливих показників, як відносна вологість повітря і потенційне випаровування. Такі прогнози, значні зміни температури та опадів, безумовно, вплинуть на біорізноманіття шкідників.

Швидкість прогнозованих змін є несприятливою для стану деревних рослин Лісостепу України. Майже всі підходи та прогностичні моделі дослідницької роботи доводять погіршення стану лісів на більшій частині території України. Місцеві чинники цих процесів різноманітні: екстремальні кліматичні умови, зокрема посухи; зміна гідрологічних режимів (переважно зменшення води); хвороби та збудники (гнилі, спричинені грибами, такі як *Fomitopsis annosa*); комахи (наприклад, верхівковий короїд *Ips acuminatus* і нематоди); невідповідність типу лісу типам лісорослинних умов деревних видів тощо. Це призводить до зниження стійкості і, як останньої стадії, до фізіологічного відпаду дерев. Дослідження патологічних процесів у лісах Лісостепу вказують на зміну клімату (підвищення темпу вхідного випромінювання, посилена мінливість погоди, зсув кліматичних контрольних дат) як чинник, що запускає складний механізм і призводить до спалаху захворювань деревних рослин [4].

Нині чимало науковців вивчають вплив зміни клімату на комах-шкідників. Прогнозують, що зміни температури матимуть найбільший вплив. Ці зміни можуть безпосередньо впливати на параметри життєвого циклу комах, такі як ріст, розмноження та виживання, або опосередковано — на чинники впливу, такі як вплив господаря, конкуренція і тиск природних ворогів [8].

Різновид шкідників стовбура та їх поширення в осередках кореневої губки залежать насамперед від їх санітарного стану, а також віку, складу деревостану, типів лісу та часу ослаблення дерев. Так, у роботі [3] визначили, що найменш ослаблені дерева заселяють агресивні види ксилофагів — соснові лубоїди (*Tomicus piniperda* L. і *Tomicus minor* Hrtg.), верхівковий короїд (*Ips acuminatus* Gill.), синя соснова златка (*Phaenops cyanea* (Fabr.)), вусачі роду *Monochamus*. За ослаблення дерев їх заселяють менш агресивні види — шестизубчастий короїд *Ips sexdentatus* Voern., сірий довговусий вусач *Acanthocinus aedilis* L., смугастий деревинник *Trypodendron lineatum* L. Незворотно ослаблені та висихаючі дерева заселяють окоренкові вусачі *Rhagium inquisitor* L., *Spondylis buprestoides* L., *Criophalus* L., *Asemum striatum* L.

Підвищені температури збільшують живлення, продуктивність і розсіювання комах, потенційно змінюючи динаміку популяції. Крім того, температура зумовлює популяцію та динаміку шкідників, впливаючи на метаболізм, метаморфоз, рухливість і доступність господаря. Глобальне потепління може збільшити популяції комах-шкідників і кількість збудників хвороб деревних рослин Лісостепу України [3; 9].

Одним із найпомітніших впливів змінених температур на комах-шкідників є зміна їх поширення та чисельності. Дослідження обґрунтовують, що підвищення температури зумовлює ранню появу та довший життєвий цикл комах. Крім того, підвищена температура впливає на частоту, тяжкість і масштаб спалахів комах, які пошкоджують деревину. Наприклад, нещодавнє потепління прискорило швидкість розвитку та знизило зимову смертність соснового жука-горобця, що призвело до збільшення популяції під час посухи [11].

Комахи та збудники хвороб деревних рослин, які мають невеликий розмір тіла та швидкий життєвий цикл, можуть змінитися в моделях міграції через підвищення температури, що призведе до раптових спалахів і значних економічних втрат у лісовому господарстві [12].

Крім того, підвищення температури може призвести до зменшення часу розвитку деяких комах, збільшуючи кількість поколінь за вегетаційний період [9; 10]. Такі зміни в поведінці та розповсюдженні комах, імовірно, можуть створити серйозні проблеми зі шкідниками для деревних рослин не лише Лісостепу України, а й інших регіонів і країн.

Знищення комахами хвої та листя дерев спричиняє послідовні зміни в житті лісового біогеоценозу. У дерев, які втратили листя (хвою), порушуються нормальний водообмін і фотосинтез, що призводить до тимчасового зниження або повної втрати приросту і стійкості [3].

Явище глобального потепління може призвести до підвищення рівня виживання взимку таких шкідників, що, зі свого боку, розширить їх географічне поширення та створить значні труднощі боротьби зі шкідниками.

Проведені дослідження довели, що зміни в рівнях опадів значно впливають на біологію та розповсюдження комах-шкідників. Водний стрес у рослин може знизити їх біологічні процеси, що робить їх більш сприйнятливими до збудників хвороб і шкідників.

Дані довгострокового моніторингу також доводять, що зміна клімату може змінити час появи комах-шкідників. Збільшення кількості поколінь видів шкідників здатне спричинити зміни в розкладі появи та збільшення популяцій у наступних поколіннях [14].

Вплив зміни клімату на різні чинники, такі як розселення видів, їх ріст і виживання в нових середовищах існування, може бути як позитивним, так і негативним. Наявність фізичних бар'єрів раніше могла обмежувати розповсюдження певних видів у непридатних середовищах існування, однак зміна клімату тепер може спричинити їх колонізацію в цих

областях. Теплові межі притаманні всім біологічним системам; отже, підвищення температури значно вплине на екосистеми та види в них [15]. Невідомо, як комахи-шкідники, як місцеві, так і інвазійні, відреагують на глобальне потепління. Водночас неможливо гарантувати, що високі температури будуть сприятливими для їх виживання та розвитку. Процес інвазії комах охоплює переміщення, впровадження, розселення та поширення інвазійних видів комах [10].

Варто зазначити, що сильно уражені хвоїнки сильно реагують на повну або часткову їх втрату. У них знижується приріст після об'їдання хижачами хвої, а в разі повторного об'їдання починають усихати, і рослини піддаються нападу стовбурових шкідників. Найбільш поширені хвоегризні комахи — шовкопряд сосновий *Dendrolimus pini* L.; совка соснова *Panolis flammea* Schif.; п'ядун сосновий *Bupalus piniarius* L.; шовкопряд-монашка *Lymantria monacha* L.; звичайний сосновий пильщик *Diprion pini* L.; рудий сосновий пильщик *Neodiprion sertifer* Goffr. Найпоширеніші листогризні шкідники деревних рослин належать до лускокрилих: шовкопряд непарний *Lymantria dispar* L.; кільчастий шовкопряд *Malacosoma neustria* L.; золотогуз *Euproctis chrysorroea* L.; зелена дубова листовійка *Tortrix viridana* L.; глодова листовійка *Cacoecia crataegana* Hb.; вербова хвилівка *Leucoma salicis* L.; п'ядун зимовий *Operophtera brumata* L.; п'ядун-обдирало *Erannis defoliaria* Cl.; американський білий метелик *Hyphantria cunea* Drury; дубова чубатка *Peridea anceps* Goeze [3; 16]. Асиміляційний апарат листяних деревних рослин (берези, верби, вільхи, горобини) також пошкоджують численні види пильщиків (*Arge ustulata*, *Tentredo ferruginea*, *Trichosoma vittellinae*, *Trichosoma silvatica*, *Rhogogaster punctulatus*, *Rhogogaster viridis* та ін.). Для ясена й бирючини небезпечним є чорний ясеневий пильщик *Tomostethus nigritus* F.

На тлі антропогенного навантаження та зміни клімату зростає значення аборигенних комах-мінерів (зокрема, дубової широколистяної моли *Acrocercops brongniardella* F.), листоїдів (дубової блішки, тополевої, в'язової, вільхової тощо) і сисних комах, зокрема, інвазійних видів (дубового клопа-мереживниці *Corythucha arcuata* (Say) [3].

Для своєчасного й ефективного захисту деревних рослин Лісостепу України необхідно прогнозувати динаміку популяцій шкідливих комах і збудників хвороб.

Установили, що для успішного захисту рослин від комах-шкідників і збудників хвороб необхідно своєчасно і правильно визначити

патогени [3]. Матеріали обстежень є підставою для картографування осередків, проєктування заходів лісозахисту та моніторингу динаміки чисельності популяцій шкідливих організмів лісових екосистем.

Отже, аналіз результатів роботи визначає як наукову новизну, так і практичну значущість отриманих даних.

Наукова новизна результатів роботи: висвітили результати аналізу шкідників деревних рослин і кліматичних чинників, що на них впливають; визначили прогноз зміни кліматичних умов та оцінили їх вплив (потепління, посухи та зливи) на динаміку популяцій шкідливих комах і збудників хвороб деревних рослин Лісостепу України.

Практична значущість результатів дослідження: за результатами аналітичних досліджень доцільно спрогнозувати динаміку популяцій небезпечних шкідливих комах і збудників хвороб для головних лісоутворювальних деревних видів. Корисні фахівцям із захисту рослин та лісового господарства, що дасть змогу провести додаткові дослідження стану лісів у будь-якому просторовому масштабі або часовому інтервалі та своєчасно застосувати біологічні та хімічні засоби захисту рослин.

ВИСНОВКИ

Очікується, що зміна клімату спричинить непередбачувані погодні умови, підвищення температури та зміни режиму опадів, що, ймовірно, вплине на поведінку та поширення комах-шкідників. Розуміння біології та поведінки шкідників у зв'язку з навколишнім природним середовищем має вирішальне значення, оскільки зміна клімату змінить їх поширення та поведінку. Прогнозована динаміка популяцій шкідників у мінливому кліматі вимагає комплексних підходів і своєчасного проведення заходів боротьби з ними.

Перспективи подальших досліджень щодо впливу зміни клімату на поширення та поведінку комах-шкідників є важливими для розвитку ефективних стратегій управління їх популяціями. Деякі напрями, які можуть бути об'єктом майбутніх досліджень, передбачають: прогнозування розповсюдження шкідників; розвиток моделей, які дають змогу прогнозувати зміни в географічному розподілі шкідників залежно від зміни кліматичних умов; вивчення впливу температури та опадів на біологічні процеси шкідників; вивчення взаємодії між шкідниками та їх природними ворогами; розроблення інтегрованих стратегій управління шкідниками; врахування адаптивних зусиль; моніторинг популяцій шкідників тощо.

ЛІТЕРАТУРА

- Ripple W.J., Wolf C., Gregg J.W., Levin K., Rockström J., Newsome T.M., Betts M.G., Huq S., Law B.E., Kemp L. World Scientists' Warning of a Climate Emergency 2022. *BioScience*. 2022. Vol. 72 (12). P. 1149–1155. DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/biac083>.
- Sobko Z.Z., Vozniuk N.M., Likho O.A., Pryshchepa A.M., Budnik Z.M., Hakalo O.I., Skyba V.P. Development of agroecosystems under climate change in Western Polissya, Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11 (3). P. 256–261. DOI: [10.15421/2021_169](https://doi.org/10.15421/2021_169).
- Пузріна Н.В., Мешкова В.Л., Миронюк В.В., Бондар А.О., Токарева О.В., Бойко Г.О. Моніторинг шкідників лісових екосистем: навчальний посібник. Київ: НУБіП України. Київ: НУБіП України. 2021. 274 с.
- Shvidenko A., Buksha I., Krakovska S., Lakyda P. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. *Sustainability*. 2017. Vol. 9. P. 1152. DOI: [10.3390/su9071152](https://doi.org/10.3390/su9071152).
- Skendžić S., Zovko M., Živković I.P., Lešić V., Lemić D. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*. 2021. Vol. 12 (5). P. 440. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12050440>.
- Nyamukondiwa C., Machekano H., Chidawanyika F., Mutamiswa R., Ma G., Ma G. Geographic dispersion of invasive crop pests: the role of basal, plastic climate stress tolerance and other complementary traits in the tropics. *Curr. Opin. Insect Sci.* 2022. P. 100878. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2022.100878>.
- Lesiv M., Shvidenko A., Schepaschenko D., See L., Fritz S. A spatial assessment of the forest carbon budget for Ukraine. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. 2019. Vol. 24. P. 985–1006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9795-y>.
- Frank S.D. Review of the direct and indirect effects of warming and drought on scale insect pests of forest systems. *Forestry: Int. J. Financ. Res.* 2021. Vol. 94 (2). P. 167–180. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa033>.
- Shrestha S. Effects of climate change in agricultural insect pest. *Acta Sci. Agric.* 2019. Vol. 3 (12). P. 74–80. DOI: <https://doi.org/10.31080/ASAG.2019.03.0727>.
- Subedi B., Poudel A., Aryal S. 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*. 2023. Vol. 14. P. 100733. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100733>.
- Robbins Z.J., Xu C., Aukema B.H., Buotte P.C., Chitra-Tarak R., Fettig C.J., Goulden M.L., Goodsman D.W., Hall A.D., Koven C.D. Warming increased bark beetle-induced tree mortality by 30% during an extreme drought in California. *Global Change Biol.* 2021. Vol. 28 (2). P. 509–523. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15927>.
- Wu Y., Li J., Liu H., Qiao G., Huang X. Investigating the impact of climate warming on phenology of aphid pests in China using long-term historical data. *Insects*. 2020. Vol. 11 (3). P. 167. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11030167>.
- Пузріна Н.В. Шкідники та збудники хвороб деревних декоративних рослин: навчальний посібник. Ч. 1. Київ: Редакційно-видавничий відділ НУБіП України. 2020. 527 с.
- Renner S.S., Zohner C.M. Climate change and phenological mismatch in trophic interactions among plants, insects, and vertebrates. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2018. Vol. 49. P. 165–182. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062535>.
- Ma C.S., Ma G., Pincebourde S. Survive a warming climate: insect responses to extreme high temperatures. *Annu. Rev. Entomol.* 2021. Vol. 66. P. 163–184. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-041520-074454>.
- Завада М.М. Лісова ентомологія. Київ: Видавництво Винниченка. 2017. 380 с.

**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**

Sytnyk O.

Candidate of Agricultural Sciences, Assistant
Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)
e-mail: s.sasha.htc@gmail.com;
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2637-1849>

Khryk V.

Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor
Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)
e-mail: hvm2020@ukr.net;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1912-3476>

Kimeichuk I.

Master of Forestry (Researcher), Assistant
Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)
e-mail: ivan.kimeichuk@btsau.edu.ua;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9100-1206>

Levandovska S.

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)
e-mail: svtmzel@gmail.com;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8485-6134>

Masalskyi V.

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)
e-mail: vlad.masalskiy71@gmail.com;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8642-7782>

Lozinska T.

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)
e-mail: lozinskata@ukr.net;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7119-0759>

Penkova S.

Doctor of Philosophy in Agronomy, Assistant Professor
Bila Tserkva National Agrarian University (Bila Tserkva, Ukraine)
e-mail: svitlana1986r@ukr.net;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6256-3122>

Climate change is one of the most pressing issues facing humanity. The emergence of dry tree patches in various parts of the globe indicates the global nature of processes related to planetary cycles and climate change. This is likely linked to various factors, including warming trends, changes in precipitation patterns, sea level rise, and alterations in ocean currents. To achieve the goal of this article, through empirical and analytical research methods, we analyzed contemporary scientific publications. We found that the projected spread of insect pests, parasites, and pathogens among tree species is increasingly concerning experts. Forest drying is a problem for both Europe and Ukraine, where the area affected by pine wilt has encompassed the Forest-Steppe region and spread to other natural zones. The paper highlights the pertinent issue of analyzing factors contributing to the weakening and deterioration of the sanitary condition of Forest-Steppe trees in Ukraine. Researchers predict significant climate changes in the near future. Due to such changes, insect pests and other pathogens may inflict even greater damage to forest plants. Climate change, particularly increased carbon dioxide emissions and warming, frequent droughts, and temperature fluctuations, affect pest populations. Common diseases of Forest-Steppe trees in Ukraine include those caused by insects, fungi, and bacteria. For instance, the most widespread affliction in forests is root rot (*Fomes annosus* Fr., *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.). Plants also suffer considerable damage from nematodes and viruses. The publication examines the impact of climate change (temperature, humidity, etc.) on the biology and ecology of insect pests and explores the potential use of modern monitoring technologies for pests and forecasting tools. Thus, projected climate changes can cause warming, altering the quantitative, qualitative, and temporal characteristics of precipitation. In this way, global climate changes affect water availability in soil, atmospheric water vapor flows, and hydrological processes. Many pests are sensitive to changes in precipitation and temperature, leading to shifts in their populations.

Keywords: sanitary condition, climatic conditions, root fungus, pathogen, relative humidity, potential evaporation, global warming.

REFERENCES

1. Ripple, W.J., Wolf, C., Gregg, J.W., Levin, K., Rockström, J., Newsome, T.M., Betts, M.G., Huq, S., Law, B.E. & Kemp, L. (2022). World Scientists' Warning of a Climate Emergency. *BioScience*, 72 (12), 1149–1155. DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/biac083> [in English].
2. Sobko, Z.Z., Vozniuk, N.M., Likhov, O.A., Pryshchepa, A.M., Budnik, Z.M., Hakalo, O.I., & Skyba, V.P. (2021). Development of agroecosystems under climate change in Western Polissya, Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (3), 256–261. DOI: 10.15421/2021_169 [in English].
3. Puzrina, N.V., Mieshkova, V.L., Myroniuk, V.V., Bondar, A.O., Tokarieva, O.V., Boiko, H.O. (2021). *Monitorynh shkidnykiv lisovykh ekosystem: navchalnyi posibnyk [Monitoring of pests of forest ecosystems: study guide]*. Kyiv: NULES of Ukraine [in Ukrainian].
4. Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S., & Lakyda, P. (2017). Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. *Sustainability*, 9, 1152. DOI: 10.3390/su9071152 [in English].
5. Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I.P., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects.*, 12 (5), 440. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12050440> [in English].
6. Nyamukondiwa, C., Machezano, H., Chidawanyika, F., Mutamiswa, R., & Ma, G., Ma. (2022). Geographic dispersion of invasive crop pests: the role of basal, plastic climate stress tolerance and other complementary

- traits in the tropics. *Curr. Opin. Insect Sci.*, 100878. DOI: <https://doi.org/10.3390/10.1016/j.cois.2022.100878> [in English].
7. Lesiv, M., Shvidenko, A., Schepaschenko, D., See, L., & Fritz, S. (2019). A spatial assessment of the forest carbon budget for Ukraine. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*, 24, 985–1006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9795-y> [in English].
 8. Frank, S.D. (2021). Review of the direct and indirect effects of warming and drought on scale insect pests of forest systems. *Forestry: Int. J. Financ. Res.*, 94 (2), 167–180. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa033> [in English].
 9. Shrestha, S. (2019). Effects of climate change in agricultural insect pest. *Acta Sci. Agric.*, 3 (12), 74–80. DOI: <https://doi.org/10.31080/ASAG.2019.03.0727> [in English].
 10. 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> [in English].
 11. Robbins, Z.J., Xu, C., Aukema, B.H., Buotte, P.C., Chitra-Tarak, R., Fettig, C.J., Goulden, M.L., Goodsman, D.W., Hall, A.D., & Koven, C.D. (2022). Warming increased bark beetle-induced tree mortality by 30% during an extreme drought in California. *Global Change Biol.*, 28 (2), 509–523. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15927> [in English].
 12. Wu, Y., Li, J., Liu, H., Qiao, G., & Huang, X. (2020). Investigating the impact of climate warming on phenology of aphid pests in China using long-term historical data. *Insects*, 11 (3), 167. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11030167> [in English].
 13. Puzrina, N.V. (2020). *Shkidnyky ta zbudnyky khvorob derevnykh dekoratyvnykh roslin: navchalnyi posibnyk. Ch. 1. [Pests and pathogens of woody ornamental rolls. Part 1]*. Kyiv: Editorial and publishing department of NULES of Ukraine [in Ukrainian].
 14. Renner, S.S., & Zohner, C.M. (2018). Climate change and phenological mismatch in trophic interactions among plants, insects, and vertebrates. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 49, 165–182. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062535> [in English].
 15. Ma, C.S., Ma, G., & Pincebourde, S. (2021). Survive a warming climate: insect responses to extreme high temperatures. *Annu. Rev. Entomol.*, 66, 163–184. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-041520-074454> [in English].
 16. Zavada, M.M. (2017). *Lisova entomohiia [Forest entomology]*. Kyiv: Vynnychenko Publishing House [in Ukrainian].

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Ситник Олександр Сергійович, кандидат сільськогосподарських наук, асистент кафедри лісового господарства, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: s.sasha.htc@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2637-1849>)

Хрик Василь Михайлович, доктор педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри лісового господарства, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: hvm2020@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1912-3476>)

Кімейчук Іван Васильович, магістр-дослідник лісового господарства, асистент кафедри лісового господарства, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: ivan.kimeichuk@btsau.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9100-1206>)

Левандовська Світлана Миколаївна, кандидат біологічних наук, доцент кафедри лісового господарства, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: svtmzel@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8485-6134>)

Масальський Владислав Петрович, кандидат біологічних наук, доцент кафедри лісового господарства, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: vlad.masalskiy71@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8642-7782>)

Лозінська Тетяна Павлівна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісового господарства, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: lozinskataat@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6256-3122>)

Пенькова Світлана Василівна, доктор філософії в галузі агрономії, асистент кафедри лісового господарства, Білоцерківський національний аграрний університет (Соборна площа, 8/1, м. Біла Церква, Україна, 09117; e-mail: svitlana1986r@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6256-3122>)