

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202102-302>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/302>

УДК 630.181:632.7:632.4:523.98

СУЧАСНИЙ СТАН СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ КИЇВСЬКОГО ПОЛІССЯ ЗА ВПЛИВУ ЕКОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ

В.В. Мороз¹, канд. с.-г. наук, Ю.А. Никитюк², канд. с.-г. наук

¹ Поліський національний університет, Житомир, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1457-4641>; e-mail: vera_moroz@ukr.net;

² Поліський національний університет, Житомир, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-9142-7699>, e-mail: andreyniks2@gmail.com

Анотація. У статті надано характеристику кліматичних змін у регіоні досліджень за період 1968–2020 рр. Встановлено, що за останні п'ятдесят дев'ять років спостерігається підвищення середньорічної температури повітря на 2,5 °С, зниження відносної вологості повітря на 6,0 % та середньорічної суми опадів на 5 мм. Згідно з проведеним аналізом визначено, що за період 2009–2020 рр. значної шкоди сосновим насадженням Київського Полісся завдають серед хвоєгризучих – звичайний сосновий пильщик (*Diprion pini* L.); серед інших шкідників – сосновий підкоровий клоп (*Aradus cinnamomeus* Panz), сосновий шовкопряд (*Dendrolimus pini* L.), соснова щитівка (*Leucaspis pusilla* Loew), сосновий зірчастий пильщик-ткач (*Acantholyda nemoralis* Matsumura). Також з'ясовано, що серед фітохвороб сосновим лісам значної шкоди за останні одинадцять років завдає *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., пошкоджена площа становить від 12,8–15,9 тис. га. Згідно з проведеним гідротермічним аналізом району дослідження визначено, що 2009 р., 2015 р. характеризувалися як роки середньої посухи: 2010 р., 2016 р., 2017 р., 2020 р. – роки слабкої посухи; 2011–2014 рр., 2018 р., 2019 р. – роки достатнього вологозабезпечення. Проведений аналіз впливу числа *W* встановив, що у роки підвищеної сонячної активності чисельність фітошкідників зростає, а в роки мінімальної сонячної активності знижується. Згідно із статистичними показниками проведено аналіз кількості викидів CO₂ у навколишнє природне середовище за період 2009–2020 рр. і з'ясовано, що з 2012 р. кількість викидів діоксиду вуглецю зменшилася з 10,2 млн т до 3,7 млн т. Кореляційний аналіз усіх показників вказав взаємовплив між площею пошкоджених дерев ентомошкідниками та числом Вольфа, викидами CO₂ в оточуюче середовище, середньорічних сум опадів та гідротермічним коефіцієнтом зволоження Селянінова Г.Т. Також спостерігається кореляція між площею пошкоджених насаджень кореневою губкою та середньорічною температурою повітря, відотною вологістю повітря та викидами CO₂.

Ключові слова: зміни клімату, фітошкідники, фітохвороби, викиди CO₂, сонячна активність, гідротермічний коефіцієнт, кореляція, математичне моделювання

Актуальність. Кліматичні зміни в Україні мають більш інтенсивний характер порівняно з глобальними змінами у світі. Згідно з науковими дослідженнями Інституту зрощуваного землеробства НААН [2], Інституту захисту рослин НААН [5] і Інституту агро-екології і природокористування НААН [15] в Україні за період 1973–2016 рр. спостерігалось зростання середньорічної температури повітря на 2 °С, збільшення кількості опадів, які мали характер злив, а також посилення вітрового режиму. Такі зміни негативно впливають як на сільськогосподарські культури, так і деревні рослини.

Згідно з літературними джерелами в лісових біоценозах спостерігається масове всихання хвойних деревних рослин. Причинами загибелі соснових насаджень є – посилення антропогенного впливу на навколишнє природне середовище, кліматичні зміни, а саме збільшення

температури повітря, зменшення кількості опадів [20; 21; 26]. Окрім ослаблення деревних рослин спостерігається збільшення осередків ентомошкідників та фітохвороб [28; 30; 31].

Збереження лісів є дуже важливим, адже порівняно з іншими природними екосистемами лісові мають важливе кліматостабілізуюче значення і є природним каркасом для природних ландшафтів і зберігають під своїм наметом лісове біорізноманіття.

Зважаючи на те, що серед головних лісовітвірних порід в Україні сосна звичайна є переважуючою деревною породою і займає 33% площі земель лісового фонду України, соснові ліси потребують збереження. Різноманітні наукові дослідження з встановлення причин загибелі лісів сприятимуть вирішенню питань їх відновлення та примноження [16; 31; 35].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Починаючи з 2010 р. в Україні

спостерігається масове всихання низки головних лісоутворюючих деревних порід – сосна (*Pinus*), дуб (*Quercus*), ялина (*Picea*), береза (*Betula*) та ясен (*Fraxinus*). Подібна ситуація спостерігається на всіх континентах у лісових біоценозах зони помірного клімату Північної кулі [12–14]. Особливо катастрофічно склалася ситуація у хвойних лісах. Так, всихання хвойних порід у Північній Америці та Сибіру нараховує мільйони гектарів. Не краща ситуація і в Європі, де за останні 20 років спостерігається масове всихання сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) та ялини європейської (*Picea abies* (L.) H. Karst). Всихання головних лісотвірних порід у лісах північної кулі здебільшого мають подібні ознаки перебігу процесу і викликані спалахами масового розмноження подібних за своєю біологією стовбурових шкідників. Так, наприклад у Північній Америці останнім часом спостерігається масове розмноження дендроктону (*Dendroctonus micans* Kud), у Східній Азії уссурійського поліграфа (*Polygraphus proximus* Blandford), в Європі короїд-типографа (*Ips typographus* Linnaeus) і короїда верхівкового (*Ips acuminatus* Gyllenhal) [22; 34; 39]. Нематоди також завдають значної шкоди сосновим лісами [35]. Серед фітохвороб шкочочинну дію завдає сосні звичайній (*Pinus sylvestris* L.) гриб із класу базидіоміцетів – коренева губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) [16; 30; 31].

Однчасне виникнення осередків всохлих деревних порід у багатьох державах та збільшення їх площ свідчить про глобальність процесів. Найбільш ймовірно, що це взаємопов'язано з циклічними планетарними процесами, які посилені антропогенним впливом і виражені у збільшенні температури повітря та зменшенні кількості опадів в останні десятиліття на більшій частині земної кулі [3; 11; 26].

Будь-які кліматичні зміни мають планетарний характер. У своїй науковій праці «Земное эхо солнечных бурь», яка була опублікована у 1976 р., професор О.Л. Чижевський звертав увагу на залежності активності сонця та періодичності спалаху епідемій, пандемій, епізоотій, епіфітій на Землі [19]. Італійській мікробіолог П. Фараоне (1995, Італія) досліджував закономірність зростання колоній бактерій у роки мінімуму кількості плям на сонці [17]. Пізніше вітчизняні науковці В.С. Мартинюк, Н.А. Темур'янц, Б.М. Владимирський [7] у своїй монографії «У природы нет плохой погоды: космическая погода в нашей жизни» підкреслювали вплив сонячної активності на біоло-

гічні, соціальні та технологічні процеси. Жеребцов Г.О., Коваленко В.А., Молодих С.І., Кириченко К.Є. [4] у своїй науковій публікації «Влияние солнечной активности на температуру тропосферы и поверхности океана» встановили вплив глобальної температури повітря на концентрацію CO₂ і геомагнітну активність. Мельник П.П. [8] у своїй монографії виклав закономірності впливу сонячної активності на врожайність пшениці. Чернишов В.Б. зазначив вплив сонячної активності на життєдіяльність комах [18]. Іноземними авторами досліджено вплив сонячної активності на лісові пожежі в Південній Європі [23]. В.В. Лавний, В.Г. Мазепа [6] у своїх дослідженнях виявили прямий кореляційний взаємозв'язок між щорічними вітровалами та активністю сонця.

У своїх дослідженнях І. Dorotović, J. Louzada, J. Rodrigues, V. Karlovský вивчали вплив сонячної активності на ріст сосни [24], дослідники М.М. Radovanovic, Т.М. Pavlovic вивчали вплив сонячної активності на лісові пожежі в Південній Європі [20; 33; 37].

Донині опубліковано понад півсотні прогнозів 24-го циклу сонячної активності, де вказують значення максимального числа Вольфа від 42 до 190 [23; 32; 36].

Зміна гідрологічного режиму безпосередньо пов'язана із середньорічною температурою повітря, яка останніми роками в Україні зросла на 2°C. Однією з причин кліматичних змін є антропогенні чинники, а саме викиди парникових газів у навколишнє середовище. Гідрологічний чинник оцінюють за допомогою кількісного показника посушливості – гідротермічного коефіцієнта (ГТК) Селянінова [11], який використовують для оцінювання умов зволоження періоду із середньодобовими температурами, вищими за 10°C, тобто періоду активної вегетації. Адже вологозабезпеченість безпосередньо впливає на стан лісових насаджень [11; 21; 29].

Четвертим чинником, який спричиняє негативний вплив на довкілля внаслідок антропогенної діяльності (підприємства, автотранспорт) та природних явищ (виверження вулканів), є викиди діоксиду вуглецю в навколишнє середовище. У природних умовах вуглекислий газ є лімітувальним фактором фотосинтезу, але високі концентрації CO₂ (у десять разів і більше) витримують не всі рослини, оскільки припиняється ріст, сповільнюються інші фізіологічні процеси і настає стан анабіозу. Більш чутливі рослини пошкоджуються фітохворобами, крім того, на думку науковців Р.Г. Guerenstein, J.G. Hildebrand [27], В.П. Акатова [1],

A. Fangmeier [25], R.M. Srinivasa [38], збільшення концентрації вуглекислого газу сприяє розмноженню комах-шкідників.

У своїх попередніх дослідженнях ми частково почали аналізувати вплив різних чинників на стан деревних рослин [9; 10]. Нині є намір проаналізувати вищезазначені твердження для умов Київського Полісся.

Мета досліджень – з'ясувати вплив кліматичних, антропогенних чинників на ентомофауну та фітопатологію соснових насаджень Київського Полісся та встановити кореляційні взаємозв'язки між екологічними чинниками району дослідження.

Матеріали і методи досліджень. Для виконання поставленої мети нами було здійснено збір необхідної статистичної інформації, а саме: головного управління статистики Київської області; Українського гідрометеорологічного центру; Державного агентства лісових ресурсів України (Форма № 12-ЛГ); матеріали Інституту геофізики ім. Субботіна С.І. НАН України.

Для встановлення кількісного показника посушливості району дослідження використано формулу Селянінова Г.Т. [11]:

$$\text{ГДК} = \frac{\sum P}{0,1 \times \sum t_{\text{акт}} > 10} \quad (1)$$

де $\sum P$ – сума опадів за місяць, в мм; $\sum t$ – сума середньодобової температури вище 10°C .

Згідно з формулою (1), якщо ГДК $< 0,4$ – це дуже сильна посуха, ГДК $0,4-0,5$ – сильна посуха, ГДК $0,6-0,7$ – середня посуха, ГДК $0,8-0,9$ – слабка посуха, ГДК $1,0-1,5$ – достатньо волого, ГДК $> 1,5$ – надмірно волого.

Для визначення викидів парникових газів (CO_2) у навколишнє середовище були використані статистичні показники Державної служби статистики України.

Математичну та статистичну обробку результатів дослідження здійснювали за допомогою програми пакету аналізу даних *Microsoft Excel*.

Результати дослідження та їх обговорення. Для з'ясування кліматичних змін у Київському Поліссі, згідно з даними Українського гідрометеорологічного центру, проведено детальний аналіз температури повітря, кількості опадів та відносної вологості за період 1968–2020 рр.

Останнім часом в регіоні дослідження спостерігається зростання середньорічної температури повітря на $2,5^\circ\text{C}$ (рис. 1).

Кліматичні зміни також вплинули на відносну вологість повітря (рис. 2), за останні п'ятдесят дев'ять років вона знизилась на $6,0\%$.

Також спостерігається зменшення середньорічної кількості опадів на 5 мм (рис. 3).

Отже, аналіз кліматичних показників свідчить про суттєві зміни в регіоні дослідження, що має негативний вплив на біорізноманіття.

Нами проаналізовано звіти Державного агентства лісових ресурсів (Форма № 12 ЛГ «Звіт про проведення лісозахисних робіт») за 2009–2020 рр., та з'ясовано, що найбільшу шкодочинну дію сосновим насадженням Київського Полісся завдають:

- з хвоєгризучих – звичайний сосновий пильщик (*Diprion pini* L.);
- з інших – сосновий підкоровий клоп (*Aradus cinnamomeus* Panz), сосновий

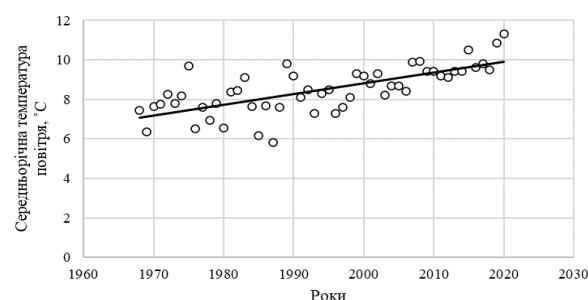


Рис. 1. Зміна середньорічної температури повітря в Київському Поліссі за період 1968–2020 рр.

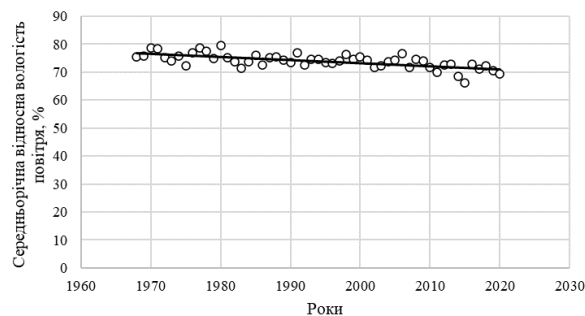


Рис. 2. Середньорічна відносна вологість повітря в Київському Поліссі за період 1968–2020 рр.

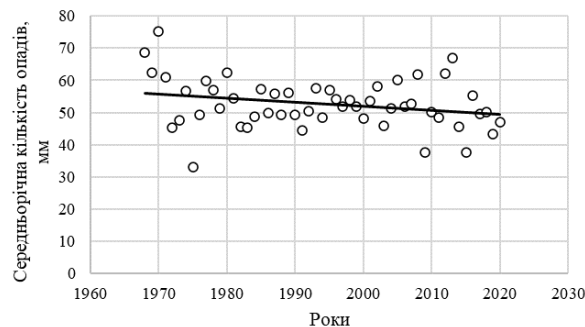


Рис. 3. Середньорічна сума опадів у Київському Поліссі за період 1968–2020 рр.

шовкопряд (*Dendrolimus pini* L.), соснова щітівка (*Leucaspis pusilla* Loew), сосновий зірчастий пильщик-ткач (*Acantholyda nemoralis* Matsumura) (табл. 1).

Згідно з табл. 1 найбільшу шкодочинну дію у період 2011–2013 рр. сосновим насадженням завдавав хвоєгризучий шкідник – звичайний сосновий пильщик (*Diprion pini* L.), площа становила – 62,7 тис. га у рік. За останні роки ця кількість значно зменшилась.

Соснові насадження Київського Полісся займають 61% (рис. 4) від інших деревних порід, за 12 років середнє значення пошкоджених ентомошкідниками вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок становила 16%

Вивчаючи динаміку активності сонця число Вольфа (Число W) за період 2009–2020 рр., привернуло увагу на те, що найбільша активність сонця спостерігалась у період 2011–2013 рр., починаючи з 2014 р. спостерігається зниження Числа W (рис. 5).

Аналізуючи вплив Числа W (рис. 5) на виникнення осередків шкідників (табл. 1),

нами помічена певна закономірність. У роки підвищеної сонячної активності 2011–2013 рр. спостерігається зростання осередків комах у соснових насадженнях, а в роки мінімальної сонячної активності з 2014 р. їх чисельність знижується.

При аналізі впливу Числа W на *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. така закономірність не спостерігається (рис. 6).

Застосовуючи формулу (1) Селянінова Г.Т. нами визначено зміну вологозабезпечення в умовах Київського Полісся за період 2009–2020 рр. (рис. 7).

Згідно з одержаними результатами аналізу 2009 р., 2015 р. характеризувалися як роки середньої посухи; 2010 р., 2016 р., 2017 р., 2020 р. – роки слабкої посухи; 2011–2014 рр., 2018 р., 2019 р. – роки достатнього вологозабезпечення.

Для з'ясування залежності між Числом W та викидами CO₂ у навколишнє природне середовище нами проведено аналіз викидів діоксиду вуглецю в дане середовище за період 2009–2020 р. (рис. 8).

1. Динаміка виникнення фітошкідників у соснових насаджень за період 2009–2020 рр., тис. га

Показники	<i>Diprion pini</i> L.	<i>Aradus cinnamomeus</i> Panz	<i>Dendrolimus pini</i> L.	<i>Leucaspis pusilla</i> Loew	<i>Acantholyda nemoralis</i> Matsumura
2009	5,32	–	–	–	–
2010	6,08	–	–	–	–
2011	62,7	–	–	0,05	–
2012	62,7	–	–	0,06	–
2013	62,7	–	–	0,06	–
2014	16,6	–	–	–	0,06
2015	–	–	–	0,06	–
2016	–	–	–	0,06	–
2017	–	–	–	0,06	–
2018	–	–	–	0,05	–
2019	0,115	0,429	0,380	–	–
2020	0,115	0,410	0,380	–	–

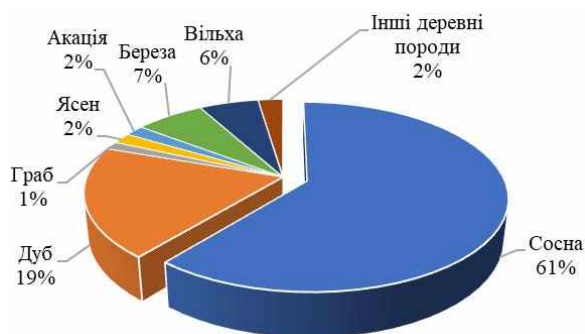


Рис. 4. Частка вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок за деревними породами в Київському Поліссі

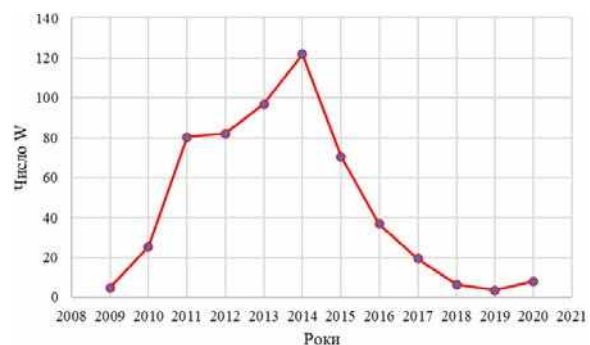


Рис. 5. Значення середньорічних чисел Вольфа за період 2010–2020 рр.

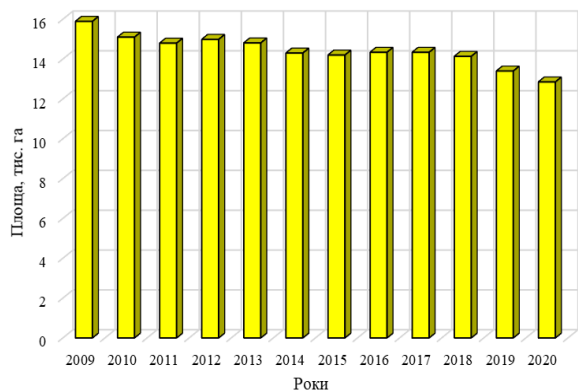


Рис. 6. Динаміка виникнення кореневої губки за період 2009–2020 рр.

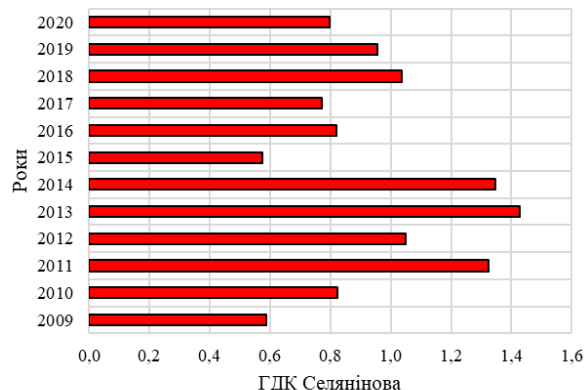


Рис. 7. Гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянінова

Згідно з даними, представленими на рис. 8, слід зауважити, що з 2012 р. кількість викидів CO₂ знизилась майже в три рази.

Для встановлення кореляційних взаємозв'язків між площею виникнення ентомошкідників та кореневої губки, викидами CO₂, числом W, ГДК Селянінова Г.Т. та середньорічною температурою повітря, середньорічною відносною вологістю повітря, середньорічною сумою опадів застосовано пакет аналізу даних Microsoft Excel та побудовано кореляційну матрицю (табл. 2).

Згідно з одержаними результатами аналізу показників можна зробити висновок про залежність між показниками: площею пошкоджених дерев ентомошкідниками, числом

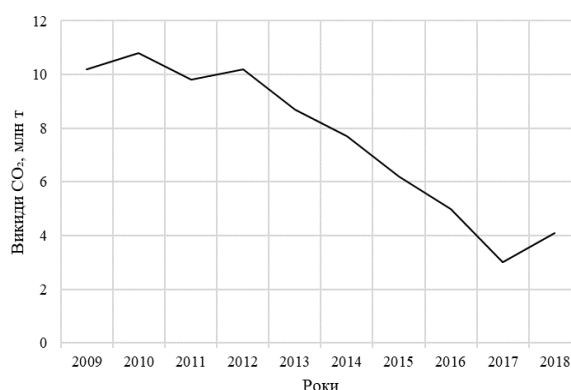


Рис. 8. Викиди CO₂ в навколишнє природне середовище за період 2009–2020 рр. (Згідно з даними головного управління статистики Київської області)

2. Кореляційна матриця парних коефіцієнтів

Показники	Площа пошкоджених дерев ентомошкідниками, тис. га	Площа пошкоджених дерев кореневою губкою, тис. га	Число W	Середньорічна температура повітря, °С	Середньорічна відносна вологість повітря, %	Середньорічна сума опадів, мм	Гідротермічний коефіцієнт зволоження Г.Т. Селянінова	Викиди CO ₂ , млн т
Площа пошкоджених дерев ентомошкідниками, тис. га	1,0	–	–	–	–	–	–	–
Площа пошкоджених дерев кореневою губкою, тис. га	0,376	1,0	–	–	–	–	–	–
Число W	0,669	0,224	1,0	–	–	–	–	–
Середньорічна температура повітря, °С	–0,537	–0,823	–0,436	1,0	–	–	–	–
Середньорічна відносна вологість повітря, %	0,194	0,529	–0,304	–0,536	1,0	–	–	–
Середньорічна сума опадів, мм	0,641	0,118	0,365	–0,428	0,484	1,0	–	–
Гідротермічний коефіцієнт зволоження Г.Т. Селянінова	0,712	0,011	0,663	–0,413	0,067	0,577	1,0	–
Викиди CO ₂ , млн т	0,609	0,785	0,439	–0,636	0,267	0,165	0,255	1,0

Вольфа, середньорічною сумою опадів, викидами CO₂ в навколишнє середовище та гідротермічним коефіцієнтом зволоження Селянінова Г.Т. (0,669, 0,641, 0,712, 0,609).

Також існує кореляційний зв'язок між площею пошкоджених дерев кореневою губкою, середньорічною температурою повітря, середньорічною відносною вологістю повітря та викидами CO₂ (-0,823, 0,529, 0,785).

Висновки. В умовах Київського Полісся спостерігаються кліматичні зміни, а саме: зростання середньорічної температури повітря на 2,5 °С, зниження середньорічної відносної вологості повітря на 6,0% і середньорічної суми опадів на 5 мм.

З'ясовано, що найбільшу шкодочинну дію сосновим насадженням Київського Полісся завдають: звичайний сосновий пильщик (*Diprion pini* L.), сосновий підкоровий

клоп (*Aradus cinnamomeus* Panz), сосновий шовкопряд (*Dendrolimus pini* L.), соснова щітівка (*Leucaspis pusilla* Loew), сосновий зірчастий пильщик-ткач (*Acantholyda nemoralis* Matsumura), а серед фітохвороб значної шкоди завдає – *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.

Проведений аналіз екологічних показників за період 2010–2020 рр. підтвердив наукову гіпотезу дослідників щодо впливу числа Вольфа, середньорічних сум опадів, викидів CO₂ в навколишнє середовище та гідротермічного коефіцієнту зволоження Селянінова Г.Т. на розповсюдження ентомошкідників у соснових насадженнях Київського Полісся. А також нами виявлений зв'язок парних коефіцієнтів кореляції між кореневою губкою, середньорічною температурою повітря, середньорічною відносною вологістю повітря та викидами CO₂.

Бібліографія

- 1 Акатов П.В., Реакция растений на рост концентрации углекислого газа в атмосфере. *Живые и биокосные системы*. 2013. № 5. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-14>
2. Вожегова Р.А. Адаптація землеробства степової зони до умов підвищення посушливості клімату, 2012. URL: <http://unt.org.ua/adaptats-ya-zemlerobstva-stepovo-zoni-do-umov-pdvishchennya-posushlivost-kl-matu/>
3. Дідух Я.П. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії. *Вісник НАН України*, 2009. № 2. С. 34–44.
4. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Кириченко К.Е. Влияние солнечной активности на температуру тропосферы и поверхности океана. Иркутск: *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2013. Т. 6. № 1. С. 61–79.
5. Козак Г.П. Вплив екологічних чинників на стан популяцій комах-фітофагів озимої пшениці в Лісостепу України: дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.16. / Інститут захисту рослин УААН. Київ, 2006. 159 с.
6. Лавний В.В., Мазепа В.Г. Вплив сонячної активності на вітровали і буреломи лісу в Українських Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.3. С. 97–103.
7. Мартынюк В.С., Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М. У природы нет плохой погоды: космическая погода в нашей жизни. Киев : Издатель В.С. Мартынюк, 2008. 212 с.
8. Мельник П.П. Еколого-економічні основи управління природокористуванням в агроєко-системах. Київ : ДАІ, 2016. 328 с.
9. Мороз В.В., Воробйова О.В. Вплив активності сонця на виникнення осередків ентомошкідників у Житомирському Поліссі. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2020. Т. 2. № 51. С. 18–21.
10. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Вплив сонячної активності, вологозабезпечення та діоксиду вуглецю на загибель лісових насаджень. *Danish scientific journal*. 2020. Т. 2. № 34. С. 8–14.
11. Семенова И.Г. Оценка засушливых условий на Украине в конце XX – в начале XXI столетия. *Вестник Балтийского федерального университета им. Канта*. 2014. Вып 2. С. 20–29.
12. Симоненкова В.А. Анализ возникновения и развития вспышек массового размножения основных листогрызущих вредителей. Оренбург. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2011. № 2(30). С. 242–244.
13. Симоненкова В.А. Многомерный регрессионный анализ связи площади очагов насекомых-вредителей с эколого-климатическими факторами. Оренбург. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2011. № 3(31). С. 292–295.
14. Симоненкова В.А. Обоснование регрессионной модели для оценки площади очагов насекомых-вредителей. Оренбург. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2011. № 4(32). С. 276–280.

15. Тараріко О.Г., Ільєнко Т.В., Кучма Т.Л. Вплив змін клімату на продуктивність та валові збори зернових культур: аналіз та прогноз. *Український географічний журнал*, 2016. № 1. С. 14–22.
16. Усцький І.М., Михайліченко О.А., Дишко В.А. Спадкові ознаки стійкості кореневої губки сіянців сосни, вирощених із насіння дерев в осередках усихання. *Ukrainian journal of forest and wood science*. 2020. Vol. 11, № 1, С. 78–86. doi:10.31548/forest2020.01.078
17. Фараоне П. Ежедневные наблюдения (1970–1992 гг.) флуктуаций частоты появления секторной структуры в колониях бактерий, отобранных из окружающего воздуха и из культур *S. aureus*. *Биофизика*. 1995. Т. 40, № 4. С. 786–792.
18. Чернышев В.Б. Солнечная активность и насекомые. *Проблемы космической биологии*. 1989. С. 215–224.
19. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. Москва : Издательство «Мысль», 1976. 367 с.
20. Шуныкина Е.А. Оценка влияния климатических изменений на возникновения и распространение лесных пожаров на Северо-Западе России. *Лесохозяйственная информация*. 2015. № 4. С. 39–45.
21. Яворський П.П. Вплив змін клімату на лісові екосистеми. Лісове і садово-паркове господарство. 2015. № 6. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lis/article/view/9995>
22. Bentz, B.J., Régnière, J., Fettig, Ch.J., Hansen, E.M., Hayes, J.L., Hicke, J.A., Kelsey, R.G., Negrón, J.F., Seybold S.J. (2010). Climate Change and Bark Beetles of the Western United States and Canada: Direct and Indirect Effect. *BioScience*. Vol. 60, № 8, 602–613. doi: 10.1525/bio.2010.60.8.6. [in United States]
23. Clilverd M. A., Clarke E., Ulich T., et al. Predicting solar cycle 24 and beyond. *Space weather*. 2006. № 4. S09005. doi:10.1029/2005SW000207
24. Dorotovič I., Louzada J., Rodrigues J., Karlovský V. Impact of solar on the growth of pine trees: case study. *Eur J Forest Res*. 2014. 133. P. 639–648. doi: 10/1007/s10342-014-0792-8
25. Fangmeier A. Effects of elevated atmospheric CO₂ concentrations on insects and pathogens of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Triso) and oilseed rape (*Brassica napus* cv. Campino). (Doctoral dissertation, University of Hohenheim, Poltava, Ukraine). 2012. 94 p.
26. Getmanchuk, A., Kychylyuk, O., Voytyuk, V., Borodavka V. (2017). The Regional Changes of Climate as Primary Causes of Strong Withering of Pine Stands in Volyn Polissya. *Scientific Bulletin of UNFU*. 27(1), 120–124. doi: 10.15421/40270127 [in Ukrainian]
27. Guerenstein P.G., Hildebrand J.G. Roles and effects of environmental carbon dioxide in insect life. *Ann Rev Entomol*. 2008. № 53. С. 161–78. doi:10.1146/annurev.ento.53.103106.093402
28. Hrunyk N.I., Yusypovych Yu.M., Kovaleva V.A., Gout R.T. Heterobasidion annosum root rot infection development in scots pine and evaluation of the expression levels of lipid transfer protein and defensins in infected tissues. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.8. pp. 25–32. doi: 10.15421/40250803
29. Jactel H. Petit J., Desprez-Loustau M. I. et al. Drought effect on damage by forest insects and pathogens: A meta-analysis. *Global Change Biology*. 2012. № 18(1). P. 267–276.
30. Levchenko V., Martenuk G., Pasichnyk I., Maksymova T. Pathological process of root sponge of pine in the conditions of forest edatops and climate change state enterprise «Zarichanske forestry». *Paradigm of Knowledge*. 2020 № 5(43). doi: 10.26886/2520-7474.5(43)2020.2
31. Levchenko V.B., Shulga I.V., Zalewski R.A. Entomologizes factory in the process of spreading common pine root sponge under the conditions of ship timber forestry of state enterprise “Zhytomyr Forestry”. *Innovative solutions in modern science*. 2017. № 1(20). doi: 10.26886/2414-634x.1(20)2018.2.
32. Li K.-J., Gao P.-X., Su T.-W. Estimating the size and timing of the maximum amplitude of solar cycle 24. *Chin. J. Astron. and Astrophys*. 2005. №5, P. 539–545. doi: 10.1088/1009-9271/5/5/011
33. Milan M., Tomislav M. et al. The influence of solar activities on occurrence of the forest fires in South Europe. *Thermal science*. 2015, Vol. 19, No. 2, pp. 435–446. doi: 10.2298/TSCI130930036R
34. Muller, J., Bubler H., Gobner, M., Rettelbach, T., Duelli P. (2008). The European spruce bark beetle *Ips typographus* in a national park: from pest to keystone species. *Biodiversity and Conservation*. 17(12), 2979–3001. doi: 10.1007/s10531-008-9409-1. [in Switzerland]
35. Ozair M., Hussain T., Aslam A., Anees R., Tanveer M., Gomez-Aguilar J.F. Management of pine forests by assessment of insect pests and nematodes. *The European Physical Journal Plus*. 2021, Vol. 136.

36. Pesnell W.D. Predictions of solar cycle 24. *Solar Phys.* 2008. № 252. P. 209–220. doi: 10.1007/s11207-008-9252-2
37. Radovanović M.M., Pavlović T.M., Stanojević G.B., Milanović M.M., Pavlović M.A., Radivojević A.R. The Influence of Solar Activities on Occurrence of the forest fires in South Europe. *Thermal Science.* 2015, Vol. 19, № 2, pp. 435–446.
38. Srinivasa Rao M., Manimanjari D., Vanaja M., Rama Rao C. A., Srinivas K., Rao VUM, Venkateswarlu B. Impact of elevated CO₂ on tobacco caterpillar, *Spodoptera litura* on peanut, *Arachis hypogea*. *Journal of Insect Science.* 2012. Vol. 12. Article 103. P. 1–10.
39. Wermelinger B. (2004). Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – review of recent research. *Forest Ecology and Management.* Vol. 202. 67–82. doi: 10.1016/j.foreco.2004.07.018 [in United States]

References

1. Akatov, P.V. (2013). Reaktsiya rasteniy na rost kontsentratsii uglekislogo gaza v atmosfere [Response of plants to rising of atmospheric carbon dioxide]. *Living and Bioinert Systems*, 5. Retrieved from <http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-14> [in Russian]
2. Vozhegova, R.A. (2012). Adaptatsiya zemlerobstva stepovoyi zony do umov pidvyshchennya posushlyvosti klimatu [Adaptation of agriculture of the steppe zone to the conditions of increasing aridity of the climate]. Retrieved from: <http://unt.org.ua/adaptats-ya-zemlerobstva-stepovo-zonido-umov-p-dvishchennya-posushlivost-kl-matu> [in Ukrainian]
3. Didukh, Ya.P. (2009). Ekolohichni aspekty hlobal'nykh zmin klimatu: prychny, naslidky, diy. [Ecological aspects of the global climate changes: Reasons, consequences and actions]. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2, 34–44. [in Ukrainian]
4. Zhrebtsov, G.A., Kovalenko, V.A., Molodykh, S.I., & Kirichenko, K.E. (2013). Vliyaniye solnechnoy aktivnosti na temperaturu troposfery i poverkhnosti okeana. [Influence of solar activity on temperature of the troposphere and ocean surface]. *Bulletin of the Irkutsk State Agrarian University. Series "Earth Sciences"*, 6(1), 61–79. [in Russian]
5. Kozak, G.P. (2006). Vplyv ekolohichnykh chynnykiv na stan populyatsiy komakh-fitofahiv ozymoyi pshenytsi v Lisostepu Ukrayiny [Influence of ecological factors on the state of winter wheat phytophagous populations in the Forest-Steppe of Ukraine] (*Candidate's thesis*. National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv. [in Ukrainian]
6. Lavniy, V.V., & Mazepa, V.H. (2012). Vplyv sonyachnoyi aktyvnosti na vitrovaly i burelomy lisu v Ukrayins'kykh Karpatakh. [Influence of solar activity on forest windthrows and windfalls in the Ukrainian Carpathians]. *Scientific Bulletin of UNFU*, 23.3, 97–103. [in Ukrainian]
7. Martynyuk, V.S., Temuryants, N.A., & Vladimirsky, B.M. (2008). U prirody net plokhoy pogody: kosmicheskaya pogoda v nashey zhizni. [Nature does not have bad weather: Space weather in our life]. Kyiv : Publisher V.S. Martynyuk. [in Russian]
8. Melnyk, P.P. (2016). Ekoloho-ekonomichni osnovy upravlinnya pryrodokorystuvanniam v ahroekosystemakh. [Ecological and economic bases of environmental management in agroecosystems]. Kyiv : DAI. [in Ukrainian]
9. Moroz, V.V., & Vorobyova, O.V. (2020). Vplyv aktyvnosti sontsya na vynyknennya oseredkiv entomoshkidnykiv u Zhytomyrs'komu Polissi. [The effects of solar activity on the occurrence of insect persts sites in Zhytomyr Polissya]. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, 2(51), 18–21. [in Ukrainian]
10. Moroz, V.V., & Nikityuk, Yu.A. (2020). Vplyv sonyachnoyi aktyvnosti, volohozabezpechennya ta dioksydu vuhletsyu na zahybel' lisovykh nasadzhen' [The effects of solar activity, moisture supply, and carbon dioxide on Ukrainian forest plantation death]. *Danish Scientific Journal*, 2(34), 8–14. [in Ukrainian]
11. Semenova, I.G. (2014). Otsenka zasushlyvykh usloviy na Ukraine v kontse XX – v nachale XXI stoletiya. [An assessment of drought conditions in Ukraine in the end of the 20th the beginning of the 21st centuries]. *Bulletin of the Immanuel Kant Baltic Federal University*, 1, 20–29. [in Russian]
12. Simonenkova, V.A. (2011). Analiz vozniknoveniya i razvitiya vspyshek massovogo razmnozheniya osnovnykh listogryzushchikh vreditel' [Analysis of the occurrence and development of outbreaks of mass reproduction of the main leaf-eating pests]. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*, 2(30), 242–244. [in Russian]
13. Simonenkova, V.A. (2011). Mnogomernyy regressionnyy analiz svyazi ploshchadi ochagov nasekomykh vreditel' s ekologo-klimaticheskimi faktorami. [Multivariate regression analysis of the

relationship between the area of foci of insect pests and ecological and climatic factors]. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*, 3(31), 292–295. [in Russian]

14. Simonenkova, V.A. (2011). Obosnovaniye regressionnoy modeli dlya otsenki ploshchadi ochagov nasekomykh-vrediteley. [Substantiation of the regression model for assessing the area of foci of insect pests]. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*, 4(32), 276–280. [in Russian]

15. Tarariko, O.H., Iliencko, T.V., & Kuchma, T.L. (2016). Vplyv zmin klimatu na produktyvnist' ta valovi zbory zernovykh kul'tur: analiz ta prohnoz [The impact of climate change on productivity and gross harvest of grain crops: Analysis and forecast]. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 14–22. [in Ukrainian]

16. Ustskiy, I.M., Mikhailichenko, O.A., & Dyshko, V.A. (2020). Spadkovi oznaky stiykosti korenevoyi hubky siyantsiv sosny, vyroshchennykh iz nasynnya derev v oseredkakh usykhannya [Hereditary characters resistance to heterobasidion annosum resistance of pine seedlings grown from tree seeds in the disease foci]. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11(1), 78–86. doi: 10.31548/forest2020.01.078

17. Faraone, P. (1995). Yezhednevnyye nablyudeniya (1970–1992 gg.) fluktuatsiy chastoty poyavleniya sektornoy struktury v koloniyakh bakteriy, otobrannykh iz okruzhayushchego vozdukhha i iz kul'tur *S. aureus* [Daily observations (1970–1992) of fluctuations in frequency of occurrence of a sector structure in bacterial colonies selected from open air and from *S. aureus* cultures]. *Biofizika*, 40(4), 786–792. [in Russian]

18. Chernyshev, V.B. (1989). Solnechnaya aktivnost' i nasekomye. [Solar activity and insects]. *In Space biology problems* (pp. 215–224). Leningrad : Nauka. [in Russian]

19. Chizhevsky, A.L. (1976). Zemnoye ekho solnechnykh bur' [Earth echo of solar storms]. Moscow : Mysl. [in Russian]

20. Shunkina, E.A. (2015). Otsenka vliyaniya klimaticheskikh izmeneniy na vozniknoveniya i rasprostraneniye lesnykh pozharov na Severo-Zapade Rossii [Estimation the impact of climatic change on the emergence and spread of forest fires in the North-West of Russia]. *Forestry Information*, 4, 39–45. [in Russian]

21. Yavorskiy, P.P. (2015). Vplyv zmin klimatu na lisovi ekosystemy. Lisove i sadovoparkove hospodarstvo [Impact of climate change on forest ecosystems]. *Forestry and Landscape Gardening*, 6. [in Ukrainian]

22. Bentz, B.J., Régnière, J., Fettig, Ch.J., Hansen, E.M., Hayes, J.L., Hicke, J.A., Kelsey, R.G., Negrón, J.F., & Seybold, S.J. (2010). Climate change and bark beetles of the Western United States and Canada : Direct and indirect effect. *BioScience*, 60(8), 602–613. doi: 10.1525/bio.2010.60.8.6. [in English]

23. Clilverd, M.A., Clarke, E., Ulich, T., Rishbeth, H., & Jarvis, M.J. (2006). Predicting solar cycle 24 and beyond. *Space weather*, 4, S09005. doi: 10.1029/2005SW000207 [in English]

24. Dorotovič, I., Louzada, J., Rodrigues, J., & Karlovský, V. (2014). Impact of solar on the growth of pine trees: a case study. *European Journal of Forest Research*, 133, 639–648. doi: 10/1007/s10342-014-0792-8 [in English]

25. Fangmeier, A. (2012). *Effects of elevated atmospheric CO₂ concentrations on insects and pathogens of spring wheat (Triticum aestivum L. cv. Triso) and oilseed rape (Brassica napus cv. Campino)*. (Doctoral dissertation, University of Hohenheim, Poltava, Ukraine). [in English]

26. Getmanchuk, A., Kychylyuk, O., Voytyuk, V., & Borodavka, V. (2017). The regional changes of climate as primary causes of strong withering of pine stands in Volyn Polissya. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(1), 120–124. doi: 10.15421/40270127 [in English]

27. Guerenstein, P.G., & Hildebrand, J.G. (2008). Roles and effects of environmental carbon dioxide in insect life. *Annual Review of Entomology*, 53, 161–78. doi: 10.1146/annurev.ento.53.103106.093402. [in English]

28. Hrunyk, N.I., Yusyrovych, Yu.M., Kovaleva, V.A., & Gout, R.T. (2015). Heterobasidion annosum root rot infection development in scots pine and evaluation of the expression levels of lipid transfer protein and defensins in infected tissues. *Scientific Bulletin of UNFU*, 25(8), 25–32. doi: 10.15421/40250803 [in English]

29. Jactel, H., Petit, J., Desprez-Loustau, M.-L., Delzon, S., Piou, D., Battisti, A., & Koricheva, J. (2012). Drought effect on damage by forest insects and pathogens: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 18(1), 267–276. [in English]

30. Levchenko, V., Martenuk, G., Pasichnyk, I., & Maksymova, T. (2020). Pathological process of root sponge of pine in the conditions of forest edatops and climate change state enterprise “Zarichanske forestry”. *Paradigm of Knowledge*, 5(43). doi: 10.26886/2520-7474.5(43)2020.2 [in English]

31. Levchenko, V.B., Shulga, I.V., & Zalewski, R.A. (2017). Entomologizes factory in the process of spreading common pine root sponge under the conditions of ship timber forestry of state enterprise "Zhytomyr Forestry". *Innovative Solutions in Modern Science*, 1(20). doi: 10.26886/2414-634x.1(20)2018.2 [in English]
32. Li, K.-J., Gao, P.-X., & Su, T.-W. (2005). Estimating the size and timing of the maximum amplitude of solar cycle 24. *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*, 5, 539–545. doi: 10.1088/1009-9271/5/5/011 [in English]
33. Radovanović, M.M., Pavlović, T.M., Stanojević, G.B., Milanović, M.M., Pavlović, M.A., & Radivojević, A.R. (2015). The influence of solar activities on occurrence of the forest fires in South Europe. *Thermal Science*, 19(2), 435–446. doi: 10.2298/TSCI130930036R [in English]
34. Muller, J., Bubler H., Gobner, M., Rettelbach, T., & Duelli, P. (2008). The European spruce bark beetle *Ips typographus* in a national park: from pest to keystone species. *Biodiversity and Conservation*, 17(12), 2979–3001. doi: 10.1007/s10531-008-9409-1 [in English]
35. Ozair, M., Hussain, T., Aslam, A., Anees, R., Tanveer, M., & Gomez-Aguilar, J.F. (2021). Management of pine forests by assessment of insect pests and nematodes. *European Physical Journal Plus*, 107, 2411–2502 [in English]
36. Pesnell, W.D. (2008). Predictions of solar cycle 24. *Solar Phys*, 252, 209–220. doi: 10.1007/s11207-008-9252-2 [in English]
37. Radovanović, M.M., Pavlović, T.M., Stanojević, G.B., Milanović, M.M., Pavlović, M.A., & Radivojević, A.R. (2015). The influence of solar activities on occurrence of the forest fires in South Europe. *Thermal Science*, 19(2), 435–446. [in English]
38. Srinivasa Rao, M., Manimanjari, D., Vanaja, M., Rama Rao, C.A., Srinivas, K., Rao, V., & Venkateswarlu, B. (2012). Impact of elevated CO₂ on tobacco caterpillar, *Spodoptera litura* on peanut, *Arachis hypogea*. *Journal of Insect Science*, 12, article number 103. [in English]
39. Wermelinger, B. (2004). Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 202, 67–82. doi: 10.1016/j.foreco.2004.07.018 [in English]

В. В. Мороз, Ю. А. Никитюк

Современное состояние сосновых насаждений Киевского Полесья при влиянии экологических факторов

Аннотация. В статье приведена характеристика климатических изменений в регионе исследований за период 1968–202 гг. Установлено, что за последние пятьдесят девять лет наблюдается повышение среднегодовой температуры воздуха на 2,5°C, снижение относительной влажности воздуха на 6,0% и среднегодовой суммы осадков на 5 мм. Согласно проведенному анализу определено, что за период 2009–2020 гг. значительный ущерб сосновым насаждениям Киевского Полесья наносят среди хвоегрызущих – обычный сосновый пильщик (*Diprion pini* L.); среди других вредителей – сосновый подкоровой клоп (*Aradus cinnamomeus* Panz), сосновый шелкопряд (*Dendrolimus pini* L.), сосновая щитовка (*Leucaspis pusilla* Loew), сосновый звездчатый пилильщик-ткач (*Acantholyda nemoralis* Matsumura). Также выяснено, что среди фитоболезней сосновым лесам значительный ущерб за последние одиннадцать лет наносит *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., поврежденная площадь составляет от 12,8–15,9 тыс. га. Согласно проведенному гидротермическому анализу района исследования определено, что в 2009 г., 2015 г. характеризовались как годы средней засухи: 2010 г., 2016 г., 2017 г., 2020 г. – годы слабой засухи; 2011–2014 гг., 2018 г., 2019 г. – годы достаточного влагообеспечения. Проведенный анализ влияния числа *W* установил, что в годы повышенной солнечной активности численность фитовредителей возрастает, а в годы минимальной солнечной активности снижается. Согласно статистическим показателям проведен анализ количества выбросов CO₂ в окружающую среду за период 2009–2020 гг. и выяснено, что с 2012 г. количество выбросов диоксида углерода уменьшилось с 10,2 млн т до 3,7 млн т. Корреляционный анализ всех показателей указал на взаимовлияние площади поврежденных деревьев энтомоповреждителями и числом Вольфа, выбросами CO₂ в окружающую среду, среднегодовых сумм осадков и гидротермическим коэффициентом увлажнения Селянинова Г.Т. Также наблюдается корреляция между площадью поврежденных насаждений корневой губкой и среднегодовой температурой воздуха, относительной влажностью воздуха и выбросами CO₂.

Ключевые слова: изменения климата, фитовредители, фитоболезни, выбросы CO₂, солнечная активность, гидротермический коэффициент, корреляция, математическое моделирование

V.V. Moroz, Yu. A. Nykytyuk

Current condition of pine plantations of Kyiv Polissya under the influence of environmental factors

Abstract. The article describes the climate change in the study region for the period 1968–2020. It was specified that over the past fifty-nine years there has been an increase in average annual air temperature by 2,5°C, a decrease in relative humidity by 6,0% and average annual rainfall by 5 mm. According to the analysis, it was determined that during the period 2009–2020 significant damage to pine plantations of Kyiv Polissya is caused by the pests like common pine sawfly (*Diprion pini* L.), pine bark beetle (*Aradus cinnamomeus* Panz), pine silkworm (*Dendrolimus pini* L.), pine weevil (*Leucaspis pusilla* Loew), and pine star weaver (*Acantholyda nemoralis* Matsumura). *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. has also caused a significant damage to pine forests over the past eleven years; the damaged area is of 12,8–15,9 thousand hectares.

According to the hydrothermal analysis of the study area, it was determined that 2009 and 2015 were characterized as years of medium drought; 2010, 2016, 2017, 2020 were the years of low drought; 2011–2014, 2018, 2019 were the years of sufficient moisture supply. The analysis of the number *W* influence found that in the years of increased solar activity the number of phytopests increases, while in the years of minimal solar activity it decreases. Based on the statistical indicators, the analysis of CO₂ emissions into the environment for the period 2009–2020 and it was found that since 2012 the amount of carbon dioxide emissions has decreased from 10,2 million tons to 3.7 million tons. Correlation analysis of all indicators showed the interaction between the area of damaged trees by insect pests and the Wolf number, CO₂ emissions into the environment, average annual precipitation amounts and hydrothermal moisture coefficient of Selyaninov G.T. There is also a correlation between the area of damaged plantations by pine fungus and the average annual air temperature, relative humidity and CO₂ emissions.

Key words: climate change, phyto-pests, phyto-diseases, CO₂ emissions, solar activity, hydrothermal coefficient, correlation, mathematical modeling