

I. FORESTRY SCIENCES

DOI 10.26886/2520-7474.1(65)2025.1

UDC: 630*23*228*232.44

INNOVATIVE METHODOLOGICAL ASPECTS OF FOREST PATHOLOGICAL MONITORING USING METEOROLOGICAL INFORMATION IN FOREST MANAGEMENT CONDITIONS OF THE POLISSYA NATURE RESERVE

Valery Levchenko, Ph.D. Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-3638-1015>

e-mail: waleriy07@ukr.net

Igor Shulga, Ph.D. Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0003-1886-6868>

e-mail: shoolda64@ukr.net

Alla Romanyuk, teacher of the highest category, teacher-methodologist

<https://orcid.org/0000-0002-4497-5972>

e-mail: allaromaniuk1960@gmail.com

Svitlana Hornovska, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0001-8244-3523>

e-mail: gornovskayasvetlana@ukr.net

Yaroslav Makarchuk, Candidate of Agricultural Sciences

<https://orcid.org/0009-0009-3190-3126>

e-mail: iaroslav@icloud.com

Malyn Vocational College, Ukraine, Malin.

Zhytomyr Agrotechnical Vocational College, Ukraine, Zhytomyr.

Bila Tserkva National Agrarian University, Ukraine, Bila Tserkva.

The use of meteorological information obtained from the base weather station for conducting forest pathological monitoring in the conditions of nature conservation research departments (PNDV) of the Polissya Nature Reserve is justified. The results of conducting forest pathological monitoring studies of pine stands in the forest vegetation conditions of the Perhansky, Kopyshchansky, Selezivsky PNDVs of the Polissya Nature Reserve are analyzed.

The subject of the work is the practical application of an innovative method using meteorological information from a local automatic meteorological station in the conditions of the settlement of Selezivka, for conducting forest pathological monitoring surveys of the sanitary condition of forests in the forest vegetation conditions of the Perhansky, Kopyshchansky, Selezivsky PNDV of the Polissya Nature Reserve, as well as its comparison with the effectiveness of existing methodologies for assessing the pathological condition of forests in the conditions of the Central Polissya zone of Ukraine. Testing and assessment of the representativeness of innovative methodological principles for using meteorological information obtained from the automatic meteorological station of the Polissya Nature Reserve to conduct forest pathological monitoring studies and forecasts of the spread of diseases and the spread of pests in the conditions of the Pergan, Kopyshchan, Seleziv PNDV, assessment of the actual discrepancy of indicators in comparison with the proposed methodology with generally recognized methods for conducting forest pathological surveys for disease and pest damage, as well as further forecasting the forest pathological state of forests using meteorological information to prevent the occurrence and spread of epiphytoses of forest diseases and pests.

The aim of the work is to determine the effectiveness of the proposed innovative methodology for conducting forest pathological monitoring using meteorological information from an automatic weather station on the territory

of forest uses of the Polissya Nature Reserve; to assess the possibility of using meteorological data obtained from an automatic weather station on the territory of the Polissya Nature Reserve to compile forest pathological and entomological forecasts regarding the likely spread of diseases and pests in the forest vegetation conditions of the Pergan, Kopyshchan, and Seleziv PNDVs; based on the proposed innovative methodology for conducting forest pathological monitoring studies using meteorological data, to provide practical targeted recommendations to both forestry branches and objects of the nature reserve fund of Ukraine regarding the prevention of the occurrence and spread of epiphytotic diseases and pests, as well as the compilation of forest pathological forecasts for planning preventive measures in the conditions of the Central Polissya zone of Ukraine.

The main methods of conducting research to study methodological approaches to predicting forest pathological conditions using meteorological information obtained from an automatic weather station in the conditions of the PNDV of the Polissya Nature Reserve were:

1. Calculation and analytical for collecting and processing the results of research to study the effectiveness of the proposed methodology for conducting forest pathological studies using meteorological information from an automatic weather station in the forest vegetation conditions of the Pergansky, Kopyshchansky, Selezivsky PNDVs of the Polissya Nature Reserve, as well as their comparison with generally accepted methods.

2. Implementation of general and sub-annual forest pathological monitoring and statistical analysis of the results obtained using existing methodologies for research into the pathological condition of forests in the Central Polissya zone of Ukraine.

3. Determination of the representativeness and objectivity of the obtained research results in relation to all objects of the nature reserve fund of the Central Polissya zone of Ukraine, where pine stands dominate.

4. *Providing practical recommendations to both branches of the State Enterprise "Forests of Ukraine" and objects of the nature reserve fund on the possibility of applying the proposed innovative methodology for determining the forest pathological condition of forests using meteorological data from an automatic weather station, as well as the possibility of creating forecasts of the risks of the occurrence and spread of epiphytotic diseases and pests in the forest vegetation conditions of the nature reserve fund of Ukraine.*

According to the results of the work, it was found that meteorological information during forest pathological monitoring provides an assessment of the climatic features of the region, carries out a detailed analysis of weather conditions of individual years and seasons of the year (spring, summer, autumn, winter), provides an objective assessment of the weather situation during critical periods of the life cycle of forest insect pests and the spread of diseases, assesses meteorological phenomena that cause abiotic stress in plants and, through a complex system of biocenotic relationships, modify the number of insects and pathogens in various forest-vegetation conditions. It has been proven that with a large positive anomaly of the sums of active temperatures, quite favorable conditions are created (especially in combination with a deficit of precipitation) for a sharp increase in the number of forest insect pests. The method of forecasting the heat supply of the growing season is based on the relationship between the sums of active temperatures ($\sum t > t^{\circ}$) and the date of the spring transition of the average daily air temperature through 10°C . Such a methodological approach to forest pathological forecasts makes it possible to establish with a probability of 95% not only the probable area of disease distribution, but also to determine specific types of pests and their threshold of harmfulness in forest edatopes. It was found that the assessment of moisture conditions during the growing season directly affects the course of disease pathogenesis and the spread of pests in the conditions of the PNDV of the Polissya Nature Reserve. The

results of the conducted forest pathological studies indicate a significant change in pathological processes under the influence of weather conditions in pine nature reserve forests of the Central Polissya zone of Ukraine.

The scope of application of the results of the conducted research is the objects of the nature reserve fund on the example of the Polissya Nature Reserve, forestry enterprises and forestry enterprises, which are geographically located in the Central Polissya zone, in order to determine the pathological state of forests and subsequently the possibility of predicting the risks of the occurrence and spread of epiphytoses in natural forest ecosystems. The data obtained as a result of the research can also be used when compiling forest pathological computer models of the probable occurrence, spread of pests and diseases in the forests of the nature reserve fund of the Central Polissya zone of Ukraine.

The conclusions of the research are that the spread of diseases and pests as a result of weather and climatic features in the spring-autumn and winter period due to abnormally warm winters annually destroys significant areas of forests of the nature reserve fund. The most affected by constant pathogenesis and damage by pests are pine stands of the boreal type of Pergansky, Selezivsky and Kopyshchansky PNDV of the Polesie Nature Reserve. We have determined that as a result of weather and climatic anomalies in the forest vegetation conditions of the Polesie Nature Reserve, the active pathological effect of the complex of diseases and pests, causing active drying of stands of Scots pine and European birch, is 2 times higher than similar indicators in areas with more stable weather indicators, especially the amount of precipitation and the sum of active temperatures. The entry of Scots pine into a persistent pathological process with subsequent death due to the active biological activity of diseases and pests in the conditions of the Polesie Nature Reserve occurs quite intensively. It was established that the scale and nature of the pathological process in pine stands of the Polesie

Nature Reserve in the context of the applied innovative methodology for determining pathological features using meteorological information from an automatic weather station differs significantly from the previously described methods. It was determined that meteorological data from an automatic weather station provide significant indicators of weather conditions that can be used to assess the pathologies of pests and forest diseases. The annual dynamics of the intensity of pathogenesis in the pine forest has significantly changed for the worse due to abnormally warm winters, especially in 2023, 2024, 2025. It was studied that in a pine forest affected by a pathological process, there is a higher formation and spread of mass epiphytoses of root and pine sponge, as well as the biological activity of apex, six-toothed bark beetles, pine woodworm, gold leaf beetle and other woodworm pests. Pathologies of pine stands due to weather and climatic conditions, as well as the probability of such dangerous phenomena as windbreak and windbreak due to the pathological activity of root and pine sponge pathogens in the conditions of forest use of the Polesie Nature Reserve is quite high compared to control areas, where the pathogenic impact of these pathogens is quite low. This, in turn, causes a faster rate of biological destruction of dead trees and broken logs, which, by the way, can further lead to the accumulation of forest combustible materials and their further natural preparation for possible fire in the presence of appropriate weather and climatic conditions. The practical use of the obtained research results is to determine the possibility of applying the methodology of forest pathological surveys using meteorological data to analyze the current and forecast the future forest pathological situation in the forest-vegetation boreal conditions of the Polesie Nature Reserve. Determining the pathological state of forests in the conditions of the Perhansky, Selezivsky, Kopyshchansky PNDV of the Polesie Nature Reserve will further allow for the practical determination of the quantitative and species composition of pathogens and pests, to determine the probability of the

occurrence of epiphytoses and their spread in the conditions of the Polesie Nature Reserve.

Key words: *forest, weather, climate, meteorology, pathogenesis, methodology, Scots pine, epiphytosis, forecast.*

Кандидат сільськогосподарських наук, доцент Левченко Валерій Борисович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент Шульга Ігор Володимирович, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Романюк Алла Андріївна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент Горновська Світлана Володимирівна, кандидат сільськогосподарських наук Макарчук Ярослав Іванович. Інноваційно-методологічні аспекти проведення лісопатологічного моніторингу із застосуванням метеорологічної інформації в умовах лісокористувань Поліського природного заповідника / Малинський фаховий коледж, Україна, Малин; Житомирський агротехнічний фаховий коледж, Україна, Житомир; Білоцерківський національний аграрний університет, Україна, Біла Церква.

Обґрунтовано використання метеорологічної інформації, отриманої з базової метеостанції для проведення лісопатологічного моніторингу в умовах природоохоронних науково-дослідних відділень (ПНДВ) Поліського природного заповідника. Проаналізовано результати проведення лісопатологічних моніторингових досліджень соснових деревостанів в лісорослинних умовах Перганського, Копищанського, Селезівського ПНДВ Поліського природного заповідника.

Предметом роботи є практичне застосування інноваційного методу з використанням метеорологічної інформації місцевої автоматичної метеорологічної станції в умовах населеного пункту Селезівка, для проведення лісопатологічних моніторингових

обстежень санітарного стану лісів в лісорослинних умовах Перганського, Копищанського, Селезівського ПНДВ Поліського природного заповідника, а також його порівняння з ефективністю вже існуючих методологій оцінки патологічного стану лісів в умовах зони Центрального Полісся України. Апробація та оцінка репрезентативності інноваційних методологічних засад щодо використання метеорологічної інформації отриманої з автоматичної метеорологічної станції Поліського природного заповідника для проведення лісопатологічних моніторингових досліджень та прогнозів за поширенням хвороб і розповсюдженням шкідників в умовах Перганського, Копищанського, Селезівського ПНДВ, оцінка фактичної розбіжності показників в порівнянні запропонованої методології із загально визнаними методиками проведення лісопатологічних обстежень щодо ураження хворобами та пошкодження шкідниками, а також подальшого прогнозування лісопатологічного стану лісів з використанням метеорологічної інформації для унеможливлення виникнення та поширення епіфітотій хвороб та шкідників лісу.

Метою роботи є визначення ефективності запропонованої інноваційної методології проведення лісопатологічного моніторингу з використанням метеорологічної інформації від автоматичної метеостанції на території лісокористувань Поліського природного заповідника; оцінка можливості використання метеорологічних даних, отриманих від автоматичної метеорологічної станції на території Поліського природного заповідника для складання лісопатологічних та ентомологічних прогнозів щодо ймовірного поширення хвороб і шкідників в лісорослинних умовах Перганського, Копищанського, Селезівського ПНДВ; на основі запропонованої інноваційної методології проведення лісопатологічних моніторингових досліджень з використанням метеорологічних даних надання практичних цільових

рекомендацій як лісогосподарським філіям, так і об'єктам природно-заповідного фонду України щодо унеможливлення виникнення та поширення епіфітотій хвороб і шкідників, а також складання лісопатологічних прогнозів для планування профілактичних заходів в умовах зони Центрального Полісся України.

Основними методами проведення досліджень по вивченню методологічних підходів щодо прогнозування лісопатологічного стану з використанням метеорологічної інформації, отриманої від автоматичної метеостанції в умовах ПНДВ Поліського природного заповідника були:

1. Розрахунково-аналітичний по збору і обробці результатів проведення досліджень по вивченню ефективності запропонованої методики проведення лісопатологічних досліджень з використанням метеорологічної інформації від автоматичної метеостанції в лісорослинних умовах Перганського, Копищанського, Селезівського ПНДВ Поліського природного заповідника, а також їх порівняння з загально прийнятими методиками.

2. Здійснення загального і поділяючого лісопатологічного моніторингу та статистичного аналізу отриманих результатів з використанням вже існуючих методологій досліджень патологічного стану лісів зони Центрального Полісся України.

3. Визначення репрезентативності та об'єктивності отриманих результатів досліджень по відношенню до всіх об'єктів природно-заповідного фонду зони Центрального Полісся України, де домінують соснові деревостани.

4. Надання практичних рекомендацій як філіям ДП «Ліси України», так і об'єктам природно-заповідного фонду щодо можливості застосування запропонованої інноваційної методології визначення лісопатологічного стану лісів з використанням метеорологічних даних

від автоматичної метеостанції, а також можливості створення прогнозів ризиків виникнення, поширення епіфітотій хвороб та шкідників в лісорослинних умовах природно-заповідного фонду України.

За результатами роботи було встановлено, що метеорологічна інформація при проведенні лісопатологічного моніторингу забезпечує оцінку кліматичних особливостей регіону, здійснює детальний аналіз погодних умов окремих років і сезонів року (весни, літа, осені, зими), надає об'єктивну оцінку погодної ситуації в критичні періоди життєвого циклу комах-шкідників лісу, та поширення хвороб, проводить оцінку метеорологічних явищ, що викликають абіотичний стрес у рослин і через складну систему біоценотичних зв'язків, модифікують чисельність комах та патогенів в різних лісорослинних умовах. Доведено, що при великій позитивній аномалії сум активних температур, створюються досить сприятливі умови (особливо в поєднанні з дефіцитом опадів) для різкого підйому чисельності комах-шкідників лісу. Метод прогнозу теплозабезпечення вегетаційного періоду ґрунтується на зв'язку сум активних температур ($\Sigma t > t^\circ$) з датою весняного переходу середньої добової температури повітря через 10°C . Такий методологічний підхід в проведенні лісопатологічних прогнозів дає можливість з вірогідністю в 95% встановити не лише ймовірний ареал поширення хвороб, а й визначити конкретні види шкідників та їх поріг шкідливості в лісових едатопах. Виявлено, що оцінка умов зволоження за вегетаційний період прямо впливає на проходження патогенезу хвороб та поширення шкідників в умовах ПНДВ Поліського природного заповідника. Результати проведених лісопатологічних досліджень свідчать про суттєву зміну патологічних процесів під впливом погодних умов в соснових природно-заповідних лісах зони Центрального Полісся України.

Сферою застосування результатів проведених досліджень є об'єкти природо-заповідного фонду на прикладі Поліського природного заповідника, лісогосподарські підприємства та лісомисливські господарства, що географічно знаходяться в зоні Центрального Полісся, з метою визначення патологічного стану лісів та в подальшому можливості прогнозування ризиків виникнення та поширення епіфітотій в природних лісових екосистемах. Дані, що були отримані в результаті досліджень, можуть бути також використані під час складання лісопатологічних комп'ютерних моделей ймовірного виникнення, поширення шкідників та хвороб в умовах лісів природно-заповідного фонду зони Центрального Полісся України.

Висновки досліджень полягають в тому, що поширення хвороб та шкідників в наслідок погодно-кліматичних особливостей у весняно-осінній та зимовий період через аномально теплі зими, щорічно знищують значні площі лісів природно-заповідного фонду. Найбільш страждають від постійного патогенезу та пошкодження шкідниками соснові деревостани бореального типу Перганського, Селезівського та Копищанського ПНДВ Поліського природного заповідника. Нами визначено, що внаслідок погодно-кліматичних аномалій в лісорослинних умовах Поліського природного заповідника активна патологічна дія комплексу хвороб та шкідників, спричиняючи активне всихання деревостанів сосни звичайної, берези повислої в 2 рази перевищує аналогічні показники на територіях з більш стійкими погодними показниками, особливо кількістю опадів та сумою активних температур. Вступ сосни звичайної у стійкий патологічний процес з подальшим відмиранням через активну біологічну діяльність хвороб та шкідників в умовах Поліського природного заповідника відбувається досить інтенсивно. Встановлено, що масштаби та характер патологічного процесу в соснових деревостанах Поліського

природного заповідника в контексті застосованої інноваційної методології по визначенню патологічних особливостей із застосуванням метеорологічної інформації з автоматичної метеостанції значно відрізняється від раніше описаних методик. Визначено, що метеорологічні дані від автоматичної метеостанції дають суттєві показники погодних умов, що можуть бути використані для оцінки патологій шкідників і хвороб лісу. Річна динаміка інтенсивності патогенезу в сосновому лісі суттєво змінилась у гірші сторону через аномально теплі зими, особливо 2023, 2024, 2025 років. Досліджено, що у порушеному патологічним процесом сосновому лісі, спостерігається вища формування та поширення масових епіфітотій кореневої, соснової губки, а також біологічної діяльності вершинного, шести зубчатого короїдів, соснового лубоїду, златки та інших лубоїдних шкідників. Патології соснових деревостанів через погодні, кліматичні умови, а також ймовірність виникнення таких небезпечних явищ як вітровал та бурелом через патологічну діяльність збудників кореневої, соснової губки в умовах лісокористувань Поліського природного заповідника досить висока у порівнянні з контрольними ділянками, де патогенний вплив цих збудників досить низький. Це в свою чергу обумовлює більш швидкі темпи біологічної деструкції сухостійних дере та ламані, що до речі може в подальшому призвести до накопичення лісових горючих матеріалів і їх подальшої природної підготовки до можливого загоряння при наявності відповідних погодно-кліматичних умов. Практичне використання отриманих результатів досліджень полягає у визначенні можливості застосування методології проведення лісопатологічних обстежень з використанням метеорологічних даних для проведення аналізу поточної та прогнозу подальшої лісопатологічної обстановки в лісорослинних бореальних умовах

Поліського природного заповідника. Визначення патологічного стану лісів в умовах Перганського, Селезівського, Копищанського ПНДВ Поліського природного заповідника в подальшому дасть змогу практично проводити визначення кількісного та видового складу збудників хвороб та шкідників, визначати ймовірності виникнення епіфітотій та їх поширення в умовах Поліського природного заповідника.

Ключові слова: ліс, погода, клімат, метеорологія, патогенез, методика, сосна звичайна, епіфітотія, прогноз.

Вступ. *Pinus sylvestris L.* є дуже пластичним видом, оскільки має здатність рости та плодоносити в різних ґрунтово-кліматичних умовах. Цей вид має широку екологічну амплітуду, оскільки соснові деревостани через зміни клімату почали поширюватись й на інші території України, де раніше вони не спостерігались. Однак це явище відразу спричинило й інший небезпечний фактор – зниження стійкості цього виду через комплексний вплив метеорологічних факторів. Причиною цього стали аномально теплі зими останніх 10 років, а 2019-2024, 2025 зокрема. Сосна звичайна має широке розповсюдження в межах Євразійського континенту. Особливо активне її просування екологи спостерігають в Північно-Західній частині материка Євразія та Східно - Європейських країнах. На сьогоднішній день Північний кордон соснових лісів відмічено у Лапландії, а Південна межа ареалу фіксується в Монголії та Китаї. На сході сосна звичайна доходить до річок Східного Сибіру - Алдан та Амур.

Ареал поширення виду відзначений в Іспанії та Великобританії. Популяції сосни звичайної утворюються на піщаних, супіщаних і торф'яних ґрунтах, рідше – на глинистих. Високий ступінь пристосовності (пластичності) сосни звичайної підтверджується широтою ареалу поширення. При детальному вивченні морфологічних особливостей

сосни звичайної, вплив погодних та кліматичних змін на фізіологічні процеси цього виду можна відслідкувати лише на рівні клітинної будови ранніх приростів. Структура клітин кожного приросту легко перебудовується в залежності від зміни не лише лісорослинних умов, а й впливу погодних та патологічних факторів. Всі ці особливості призводять до зниження резистентності сосни звичайної до патологій в контексті погодних та кліматичних змін.

Відомо, що вегетативні органи сосни звичайної перші реагують на зміну зовнішніх умов. Така якісна реакція на мінливість погодних факторів досить суттєво впливає на шпильковий фотосинтетично-активний апарат. Всі ці особливості формують елементи стійкості сосни звичайної до патологій в умовах кліматичного поясу середніх широт.

Ще на початку XX століття було встановлено, що саме ранній та пізній приріст в соснових деревостанах визначає градієнт їх реакції на стійкість до комплексного впливу аномальних температур, вологості, опадів, патологічного навантаження. Всьому цьому передувало проведення кліматичних досліджень в географічних культурах сосни звичайної з визначенням градієнтного впливу патологічних факторів на ріст, розвиток, формування ранніх та пізніх приростів, закладання основ імунітету соснових деревостанів до комплексного впливу як несприятливих факторів навколишнього середовища, так і хвороб і шкідників. Спираючись на результати досліджень багаточисленних авторів, що починаючи з 20-х років XX століття займались вивченням резистентності сосни звичайної до впливу патологічних факторів через дію погодних змін можна сказати, що саме погодні умови за етапами онтогенезу впливають на ростові та морфологічні процеси, формуючи таким самим початковий імунітет.

Резюмуючи все вище сказане слід зазначити, що погодні умови починаючи з першої половини XXI століття є на сьогоднішній день

визначальними в прогнозуванні патологій сосни звичайної як в зоні Центрального Полісся України так і Світу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання проблеми. Починаючи з першої половини ХХІ сторіччя, зона Центрального Полісся України характеризується недостатнім та нестійким зволоженням [1, с. 36-87]. Відмінною рисою рельєфу зони Центрального Полісся України на сьогоднішній день є окремі знеліснені ділянки внаслідок активного патологічного процесу хвороб, шкідників, а також пірогенезу через лісові пожежі [2, с. 47-53]. Масштабне пересихання боліт та обміління, а подекуди й повне висихання малих річок Полісся спричинює досить серйозні погодні зміни, що впливають на стійкість корінних лісоутворюючих порід до збудників хвороб, біологічної дії шкідників, виникнення та поширення лісових пожеж [3, с. 23-62]. Встановлено, що на сьогоднішній день формування клімату в умовах зони Центрального Полісся України визначається переважно західним повітряними масами, що обумовлює в весняно-літній період тривалі посухи, бездощовий період та високий барометричний тиск [4, с. 42-73]. Встановлено, що за 2002 – 2024 роки співвідношення тепла та вологи в лісорослинних умовах Поліського природного заповідника є далеким до оптимального [5, с. 17-32]. Ряд дослідників визначають, що на сучасному етапі в зоні Центрального Полісся України випаровування переважає над кількістю опадів, а гідро-термічний коефіцієнт в окремі сезони досягає 0,5 [6, с. 32-67, 7, с. 45-62].

Основний тип погодного стресу для корінних соснових деревостанів Поліського природного заповідника – посуха із частотою 4–6 разів протягом вегетаційного періоду [8, с. 45-64, 9, с. 31-42]. Природно-кліматичні умови зони Центрального Полісся сприяють формуванню лісової рослинності, але аномальні погодні умови призводять до втрати нею резистентності до патологічного впливу хвороб та шкідників [10, с.

42-56, 11, с. 34-67]. Про всі ці фізіологічні та фітопатологічні особливості, що проходять в соснових деревостанах Поліського природного заповідника яскраво говорять аналізи кернів приростів сосни звичайної, а також проведені лісопатологічні обстеження в лісорослинних умовах Перганського, Копищанського, Селезівського ПНДВ [12, с. 42-64, 13, с. 35-56]. За даними низки авторів встановлено, що саме борі альні лісорослинні умови Поліського природного заповідника є найбільш оптимальної за ґрунтовими умовами зоною фізико-географічного оптимуму сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), де шляхом природного добору сформувалися бореальні популяції цього виду, для яких характерний оптимальний набір генотипів без чітких відмінностей щодо морфологічній та генетичній структурі [14, с. 5-40, 15, с. 42-67]. Всі ці особливості в свою чергу створили своєрідний лісопатологічний фон, в якому в певному сенсі продуктивно конкурували природні деревостани сосни звичайної, берези повислої, вільхи чорної, проте через погоднокліматичні зміни відбулись фізіологічні рекомбінації в структурах клітин ранніх та пізніх приростів, що в подальшому призвело до втрати ними біологічної стійкості до постійного патогенезу та ентомогенезу [16, с. 32-67, 17, с. 65-84].

При аналізі патологічного стану соснових лісів Поліського природного заповідника ми використовували таке поняття, як принцип емерджентності [18, с. 43-56], згідно з яким кожному ієрархічному рівню властива своя генетична організація. Враховувався той факт, що ліси на території природного ареалу за стійкістю до постійного патогенезу можуть знаходитися в рівноважному (вегетуючому з постійним приростом), нерівноважному (напіввсихаючому) та мертвому (всохлому) стані, визначення патологічного їх рівня можливе лише з використанням комплексного погодного фактора, так як ліс – елемент географічного

ландшафту на який діють всі фактори навколишнього середовища [19, с. 43-65].

Із середини XX ст. Земля вступила в епоху бурхливих кліматичних змін [20, с. 34-72]. В XXI ст. збільшилася кількість екстремальних явищ, посух, лісових пожеж та теплових хвиль, подальше потепління клімату може перевищити екологічну ємність лісів, й нажаль призвести до їх масового зникнення [21, с. 24-45]. Невідповідність стану довкілля біологічним вимогам лісових деревних проїд веде до їх ослаблення, переходу в нижчий життєвий стан і навіть повної загибелі [22, с. 45-74].

В Україні темпи потепління клімату в 2,5 рази вище зростання глобальної температури [23, с. 42-67]. Житомирська та Київська області входять до так званої червоної зони країни. Тому соснові ліси зони Центрального Полісся України, що ростуть на Південно-Західному кордоні лісового поясу Євразійського материка, де баланс взаємодій в системі «генотип-середовище» знаходиться на нижній межі стійкості до погодно-кліматичних та патологічних процесів схильні до найбільших ризиків [24, с. 42-63].

В останні десятиліття актуальною проблемою сучасності став пошук рішень по адаптації соснових лісів до потепління клімату. Встановлено, що стійкість до посухи - це не стільки виживання виду в період активного її впливу, скільки його здатність відтворювати життєздатне потомство. В лісовому господарстві роботи в даному напрямку почались ще в 2000 роках. В сосни звичайної, як виду-індикатора для оцінки життєвого та патологічного стану насаджень використовують показники біопродуктивності шишок. А також динаміку ранніх та пізніх приростів [25, с. 32-54]. Таким чином методології щодо визначення стійкості соснових деревостанів до комплексу несприятливих факторів навколишнього середовища мають актуальне місце серед інновацій XXI сторіччя.

Формулювання мети та завдань досліджень. Предметом наших досліджень були патології соснових деревостанів в умовах Перганського, Селезівського та Копищанського ПНДВ Поліського природного заповідника. При цьому проводився детальний аналіз патогенезу збудників хвороб та біологічної діяльності шкідників внаслідок аномальних погодних умов, а також вивчалась ступінь впливу погодних умов на патогенез й відпад сонових деревостанів. Завданням досліджень було визначення впливу погодних умов за даними автоматичної метеостанції Поліського природного заповідника на патогенез збудників хвороб та біологічну діяльність шкідників в лісорослинних умовах Перганського, Копищанського, Селезівського ПНДВ, а також складання прогнозу щодо можливих ризиків виникнення епіфітотій в умовах природно-заповідного фонду Поліського природного заповідника. Завданням досліджень був аналіз впливу погодних умов на проходження патологічного процесу та біологічної діяльності хвороб і шкідників, а також порівняння запропонованої методики з вже існуючими рекомендаціями щодо проведення лісопатологічних обстежень в умовах кліматичних змін та прогнозу ризиків виникнення епіфітотій, їх поширення на великі лісові масиви як в умовах природозаповідного фонду Поліського природного заповідника, так і природозаповідного фонду зони Центрального Полісся в цілому. Доцільно було провести комплексну апробацію та репрезентаційну оцінку запропонованих інноваційних методологічних підходів щодо визначення патологічного стану лісів з використанням погодних даних від автоматичної метеостанції в умовах Поліського природного заповідника, провести оцінку фактичної розбіжності в показниках лісопатологічних обстежень, що проводились за загально прийнятими методиками визначення відпаду фітомаси в сосняках природозаповідного фонду. Закладку пробних площ (ПП) та визначення лісотаксаційних показників

деревостанів проводили відповідно до загальноприйнятих у лісівництві методик [15, с. 45-52]. У кожного дерева на висоті 1,3 м вимірювався діаметр у двох напрямках (з точністю до 0,1 см) за допомогою лісової мірної вилки. Середній діаметр деревостану на ПП обчислювали як середнє квадратичне через суму площ перерізів. Висота дерев визначалася базовим висотоміром (Suunto PM-5/1250) з точністю до 0,1 м, кількість виміряних дерев становила 50% від загальної кількості дерев на ПП. Оцінка життєвого стану дерев проводилася за методикою В. А. Алексєєва [12, с. 3-65]. При значенні 100-80% деревостану оцінювався як «здоровий», при 79-50% - пошкоджений (ослаблений), при 49-20% - сильно пошкоджений (сильно ослаблений), при 19% і нижче - повністю зруйнований. Отримані дані статистично оброблені з використанням засобів електронної таблиці Microsoft Excel. Відбір деревостанів та дерев для вивчення впливу кліматичних факторів (температура, опади) та пірогенного впливу на соснові деревостани проведено за існуючою на сьогоднішній день методикою дендрохронологічних досліджень [13, с. 23-43]. Для оцінювання мінливості деревно-кільцевих хронологій розраховано коефіцієнт варіації (V), що являє собою відношення середнього квадратичного відхилення до середнього арифметичного яке виражене у відсотках. Значення $V < 10$ відповідає слабкій мінливості, 11–25 % – середній, $V > 25$ % – високій [16, с. 15-25]. Статистичну обробку отриманих даних проводили з використанням пакету математичного аналізу в Microsoft Excel 2022.

Виклад основного матеріалу статті. Для лісопатологічного моніторингу ми пропонуємо використовувати чотири форми метеорологічної інформації, що забезпечує багатопланову оцінку:

- кліматичних особливостей регіону;
- погодних умов окремих років і сезонів року (весни, літа, осені, зими);
- погодної ситуації в критичні періоди життєвого циклу комах;

- метеорологічних явищ, що викликають абіотичний стрес у рослин і через складну систему біоценотичних зв'язків, що модифікують чисельність комах.

Первинна інформація про клімат регіону представляє собою середні показники головних його характеристик за багаторічний період метеорологічних спостережень, проведених в даному регіоні. Ця інформація включає:

- середньорічні показники температури і суми опадів;
- середні терміни настання сезонів року - весни, літа, осені, зими і відхилень від них;
- показники температури і сум опадів в кожному сезоні.

Ми встановили, що суттєве значення для характеристики клімату регіону мають такі показники:

- найвищі і найнижчі середньодобові температури повітря;
- тривалість посушливих періодів в залежності від їх сезонного прояву;
- періоди максимального випадання опадів, найбільша висота снігового покриву і тривалість його безперервного збереження на поверхні ґрунту;
- глибина промерзання ґрунту в зимовий період.

Для життєдіяльності комах особливе значення мають метеорологічні показники, що характеризують діапазони мінливості всіх основних кліматичних даних по роках і частоту повторюваності найбільших відхилень в сторону мінімальних і максимальних величин.

Для характеристики погоди минулого року ми пропонуємо використовувати такі показники:

- температура повітря (°C) середньодобова (фактична і відхилення від багаторічної норми по середнім декадних даними), мінімальна і максимальна за декаду;

- сума опадів у міліметрах і відсотках від багаторічної норми по декадах, а також характер розподілу опадів по території.

Для характеристики фенологічних сезонів сосни звичайної (весна, літо, осінь, зима) використовують час настання сезону (фактична дата); відхилення від середніх термінів (+/-) в добі, і середньосезонні показники температури повітря і опадів.

Характеристика зимового сезону включає:

- терміни настання і закінчення сезону (фактична дата, відхилення від середніх термінів (+, -) на добу);
- мінімальну температуру ґрунту на глибині зимівлі комах;
- найбільшу і середню висоту снігового покриву;
- дату встановлення і сходу стійкого снігового покриву.

Для характеристики клімату регіону, кліматичних особливостей окремих років і сезонів, використовують дані метеорологічних станцій, розташованих в регіоні з врахуванням їх місця розташування (рельєф, висота над рівнем моря). Метеорологічна інформація, що необхідна для розрахунку фенологічних показників, яка характеризується термінами розвитку і виживання комах, повинна надходити для подальшої обробки, аналізу та зберігання в комп'ютерній базі даних. Ця база включає показники температури і вологості повітря, суми опадів, а також гідротермічного режиму за окремі відрізки часу. Найчастіше їх використовують для узагальнення кількісних характеристик стану погоди в окремі критичні періоди життєвого циклу шкідників. З цією метою розраховують суми температур (середніх, екстремальних, активних, ефективних і ін.), або різні показники зволоження, що визначаються за формулами Г. Т. Селянінова, Д. І. Шашко, М. І. Будико та ін.

Для окремих видів комах-шкідників підраховують кількість днів і декад, відповідних критичного періоду, коли для них складаються особливо екстремальні умови. Основними показниками терморежиму

досліджуваної території Поліського природного заповідника та потреби комах у теплі є суми активних і ефективних температур (таблиця 1).

Таблиця 1

Трансформація середньодекадних температур в суми ефективних температур за декаду при нижній межі температури, що дорівнює 10°C (середнє за 2020-2024 рр.).

°C	Десяті частки від 1°C									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
5	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
6	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6
7	6	6	7	7	7	7	8	8	8	9
8	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12
9	12	12	12	13	13	14	14	15	15	15
10	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20
11	20	21	21	22	23	24	24	25	26	26
12	27	28	28	29	30	30	31	32	32	33
13	34	35	35	36	37	38	38	39	40	41
14	42	42	43	44	45	46	46	47	48	49
15	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59

Під час досліджень ми використовували поняття температурних ресурсів, - сумарну кількість тепла, яка формується на певній території в залежності від ґрунтово-кліматичної зони. Вона вимірюється в кілокалоріях. Потреба в теплі є кількість тепла, необхідна даному виду комах для проходження життєвого циклу. Термічні ресурси території Поліського природного заповідника зазвичай оцінюють сумою активних температур повітря вище 10°C, так як при середній добовій температурі повітря 10°C і вище, спостерігається активний розвиток багатьох видів лісових комах і деревних порід, які вони вражають. Термічні ресурси території Перганського, Копищанського, Селезівського ПНДВ змінюються в залежності від широти місцевості, висоти над рівнем моря і ряду інших

факторів. Потреба окремих видів комах в теплі виражається сумами активних або ефективних температур повітря за період, обмежений лімітними температурами (нижнім і верхнім порогами розвитку). Для багатьох видів лісових комах пороговою температурою початку розвитку є середня добова температура повітря 5 - 8°C. Для теплолюбних видів комах (наприклад, сонових златок), лімітними є середньодобові температури повітря 10-12°C. Порівнюючи термічні ресурси території і потребу окремих видів комах в теплі, обчислюють таку важливу біокліматичну характеристику, як забезпеченість комах теплом. Її розраховують за допомогою інтегральних кривих забезпеченості, побудованих для різних кліматичних зон. Для характеристики термічних ресурсів ґрунту використовують суми температур вище 0,5; 10; 15°C на різних глибинах, а також суму низьких температур (-5, -10, -15°C).

Прямим показником вологозабезпечення є кількість опадів (за рік, сезон або місяць). Непрямими показниками - різні коефіцієнти, які становлять відношення опадів до випаровуваності або факторів випаровування (температур, дефіциту вологості повітря). В свій час вченими було запропоновано ряд показників: гідротермічний коефіцієнт (Г. Т. Селянінова), показники зволоження за Д. І. Шашко, М. І. Будико, В. С. Мезенцева.

Показниками умов зимівлі комах є абсолютний мінімум температури повітря на висоті 2 м над поверхнею ґрунту, і температура ґрунту (на глибині 3 см), середній з абсолютних мінімумів температури повітря і ґрунту (на тій же висоті і глибині), середня температура повітря найхолоднішого місяці. У ряді випадків для характеристики зимових умов застосовують так званий сніжно-температурний коефіцієнт - відношення висоти снігового покриву до середньої температури повітря, або висоти снігового покриву до середнього з абсолютних річних мінімумів температури повітря.

Показником ступеня континентальності клімату щодо лісорослинних умов Поліського природного заповідника можуть служити тривалість весни (в температурних межах $+5$ до $+15^{\circ}\text{C}$) і осені (в температурних межах $+15$ до $+5^{\circ}\text{C}$). В умовах Поліського природного заповідника ми встановили, що чим континентальніший клімат, тим більш короткими виявляються весна і осінь, що має велике значення для життєдіяльності комах (темп розвитку, рівень смертності, відрив від паразитів) і можливість виникнення лісових пожеж. Крім вищеназваних показників, для оцінки кліматичних особливостей територій додатково ми використовували: дати настання фенологічних фаз розвитку сезонів, екстремальні значення основних метеорологічних елементів, тривалість безморозног періоду, показники посушливості.

При оцінці температурного режиму території для проведення лісопатологічного моніторингу ми рекомендуємо використовувати показники, що дають найбільш повну уяву про загальну кількість тепла за рік або за окремі періоди (сезон, місяць, декаду, добу), а також про річний і добовий хід температури повітря. В лісорослинних умовах Перганського, Копищанського, Селезівського ПНДВ Поліського природного заповідника ми виділили 3 групи показників термічного режиму: середні температури, екстремальні температури, суми температур.

При середніх температурах широко використовуються температурні показники, що обчислюються за різні часові інтервали (декаду, місяць, сезон, вегетаційний період і т. д.). Середня добова температура обчислюється як середнє арифметичне температур за всі терміни спостереження. Підсумовуючи температури за всі терміни спостережень і розділивши цю суму на 8, отримують середньодобову температуру повітря.

Середня річна температура повітря дає лише наближене уявлення про загальну кількість тепла, але не характеризує річний хід температури. Тому для характеристики річного ходу температур ми використовували дані про середні температури найхолоднішого і самого теплого місяців року. Середні місячні і середні декадні температури ми використовували для характеристики температурних умов окремих періодів. Однак всі середні характеристики не дають досить повного уявлення про добовий і річний ходи температур. Екстремальні температури суттєво доповнюють відомості про середні температури. Амплітуда добового і річного ходу температур повітря характеризує ступінь континентальності клімату, має істотне значення в житті комах. Добовий режим температури повітря обумовлений добовим ходом температури середовища. Він нерідко порушується вторгненнями теплих і холодних повітряних мас. Амплітуда добового ходу температури в континентальному кліматі досягає 20°C і більше. На нашу думку це важливий показник термічних умов розвитку і розмноження комах. Річний хід температури повітря в основному визначається річним ходом температури підстилаючої поверхні. Ми встановили, що за амплітудою річного ходу температур можна з прогнозувати поширення того чи іншого виду шкідників в лісорослинних умовах Поліського природного заповідника. Амплітуда річного ходу температури повітря залежить від географічної широти місцевості, її віддалення від моря, абсолютної висоти і річного ходу хмарності.

Для вираження потреби біологічних об'єктів в теплі зазвичай використовують суми ефективних температур. Це суми середніх добових температур, відрахованих від біологічного мінімуму, при якому розвивається той чи інший вид рослин або комах. Зараз суми ефективних температур встановлені для багатьох видів лісових комах (як для окремих етапів їх онтогенезу, так і для всього життєвого циклу).

Суми активних і ефективних температур мають екологічне значення, виражаючи зв'язок комах зі середовищем існування. Схема розрахунку сум активних і ефективних температур повітря наведена в таблиці 2. Середня добова температура і її суми нівелюють термічні відмінності в добовому просторі під час зміни температури повітря. Це визначає необхідність роздільного обліку середніх денних і середніх нічних температур повітря, їх сум для більш точної оцінки впливу температурного режиму на поведінку і розвиток лісових комах. Суми середніх денних і середніх нічних температур повітря, як правило, розраховують за період, коли середні температури дня і ночі перевищують 10°C (аналогічно підрахунку сум активних температур). У середніх денних і середніх нічних температурах повітря додатково враховуються географічна мінливість довжини дня і ночі, а також зміна континентальності клімату і особливостей температурного режиму різних форм рельєфу, тому при одній і тій же середньодобовій температурі повітря можуть спостерігатись різні поєднання середніх денних і середніх нічних температур. Суми денних температур більше середніх добових сум температур, а сума нічних температур менше середніх добових сум. В Центральному Поліссі України різниця між сумами температур дня і ночі в період активного розвитку вершинного короїда більше 116°C (точніше, градусо-днів). Це визначає регіональну специфіку фенології шкідника і потенційну можливість його розвитку по однорічній генерації, а враховуючи аномально-теплі зими, й по трирічній генерації.

Таблиця 2

**Приклад рзрахунку сум активних і ефективних температур
повітря (з 10 по 18 травня), °С для прогнозу поширення
вершинного та шести зубчатого короїда в умовах Поліського
природного заповідника
(середнє за 2020 – 2024 рр.)**

Температура повітря	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	Сума
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Середня добова	12	10	8,6	4,9	7,6	12	15,1	18,2	16,0	106,9
Активна вище 10°C	12	10	0	0	0	12	15,1	18,2	16,0	83,8
Ефективна вища 5°C	7	5,5	3,6	0	2,6	7	10,1	13,2	11,0	60,0
Ефективна вища 10°C	2	5	0	0	0	2	5,1	8,2	6,0	23,08

Забезпеченість теплом вегетаційного періоду характеризується сумами активних температур повітря за період з середньою добовою температурою, що перевищує 10°C, які щорічно більш-менш значно відхиляються від середньої багаторічної норми. В окремі роки ці відхилення можуть досягати $\pm 400 - 600^\circ\text{C}$, що дуже впливає на терміни розвитку комах, їх популяційні параметри та поступову активність. При великій позитивній аномалії сум активних температур, створюються сприятливі умови (особливо в поєднанні з дефіцитом опадів) для різкого підйому чисельності комах-шкідників. Метод прогнозу теплозабезпечення вегетаційного періоду ґрунтується на зв'язку сум активних температур ($\sum t > t^\circ$) з датою весняного переходу середньої добової температури повітря через 10°C. Цей зв'язок встановлений в результаті обробки багаторічних метеорологічних спостережень,

проведених в різних географічних пунктах на території зони Полісся України, і суміжних кліматичних зон. Ми встановили, що коефіцієнти кореляції між датами переходу температури повітря через 10° С і сумою температур вище 10° С виражаються величинами від 0,6 до 0,9 залежно від географічного району. Для міста Поліського природного заповідника рівняння зв'язку має такий вигляд:

$$\Sigma t = -18,25D + 2759;$$

$$R = -0,74;$$

де: Σt - сума температур за період з середньою добовою температурою повітря > 10 ° С;

D - дата весняного переходу температури через 10°С, виражена числом днів від 1 квітня;

R - коефіцієнт кореляції.

Наприклад, перехід температури через 10° С навесні в холодному 2008 році зафіксований 26 травня,

$$\text{звідси: } \Sigma t = -18,25 \times 56 + 2759 = 1737^{\circ}\text{C}.$$

Різниця між фактичною і розрахованою сумою склала всього 38° С, тобто помилка прогнозу дорівнює 2%. Аналогічні кореляційні рівняння можна складати складені і для інших пунктів на території зони Центрального Полісся України (таблиця 3).

Таблиця 3

Кореляційний зв'язок між датами стійкого переходу температури повітря через 10°С навесні (D) і сумами активних температур за вегетаційний період (ΣT) в умовах Поліського природного заповідника (за даними Левченко В. Б., Шульга І. В., середнє за 2020 по 2024 роки)

ПНДВ заповідника	Коефіцієнт кореляції	Рівняння регресії
Слезівське	$r = -0,65 \pm 0,06$	$\Sigma T = -18,36D + 2139$
Перганське	$r = -0,64 \pm 0,06$	$\Sigma T = -20,73D + 2172$

Копищанське	$r = -0,62 \pm 0,06$	$\Sigma T = -24,1 \text{ ID} + 2224$
-------------	----------------------	--------------------------------------

Примітка: D - дата весняного переходу температури через 10°C визначається числом днів відліку від 1 квітня.

Аналіз цих зв'язків показує: чим пізніше настає дата стійкого переходу температури через 10°C , тим менше тепла ($\Sigma t > 10^{\circ}\text{C}$) накопичується за вегетаційний період. Пізня весна є передумовою загального дефіциту тепла. ці.

Ми встановили, що при пізній весні різко зростає сума тепла першої половини вегетаційного періоду (протягом 2 місяців від весняного переходу температур вище 10°C) і навпаки, різко знижується сума тепла в решту вегетаційного періоду. Найбільш контрастні відмінності в розвитку сезонних явищ спостерігаються при ранніх і пізніх веснах в районах з помірно та континентальним кліматом.

Залежно від темпу весняного розвитку природних процесів змінюється кількість тепла, що накопичується в першу і другу половину вегетаційного періоду. Наприклад, в Малині (Житомирська область) згідно метеорологічних довідників спостережень за погодою в 1898 році перехід температур вище 10°C спостерігався 28 травня (пізня весна) і сума температур вище 10°C склала 1872°C , з них в першу половину вегетаційного періоду накопичилося 1250°C , а в другу - 622°C . У 1998 році перехід температур вище 10°C зареєстрований 9 травня (рання весна), і сума температур вище 10°C склав 2129°C , з якої в першу половину вегетаційного періоду накопичилось 970°C , а в другу - 1159°C , тобто майже в 2 рази більше, ніж в 1898 році. Таким чином, при пізній весні створюються сприятливі умови для розвитку комах, личинки яких живляться в ранньолітній період і навпаки, при ранній весні значне накопичення тепла в другій половині вегетаційного періоду сприяє зростанню чисельності комах, які складають літньоосіннє фенологічне угруповання. Метод довгострокового прогнозу теплозабезпечення вегетаційного періоду і його частин (підперіодів) має велике практичне

значення. Результати прогнозу можуть бути використані для коригування термінів проведення лісопатологічного моніторингу та інших лісозахисних заходів з урахуванням регіональних особливостей фенології окремих видів і екологічних груп лісових комах.

Як показники зволоження території, зазвичай використовують середні багаторічні суми опадів за різні часові інтервали (рік, сезон, місяць, декада). Однак опади є хоча і простим, але найбільш приблизним показником вологозабезпечення, так як їх ефективність неоднакова при різних умовах випаровування. У зв'язку з цим до суми опадів доцільно додавати певні поправки в залежності від умов випаровування, які характеризуються дефіцитом вологи повітря. Ефективне значення місячних опадів доцільно враховувати при побудові кліматограм і аналізі умов зволоження вегетаційного періоду і його окремих частин (підперіодів). В лісометеорології для оцінки умов зволоження використовують відношення кількості опадів до випаровуваності або основних факторів випаровування (температури і дефіциту вологості повітря, сонячної радіації та ін.). Широко застосовується запропонований Г. Т. Селяніновим гідротермічний коефіцієнт (ГТК), що визначається за формулою:

$$\text{ГТК} = \Sigma P \times 10 / \Sigma T_{>10}, \text{ або } \text{ГТК} = \Sigma P / 0,1 \times \Sigma T_{>10}$$

де:

ΣP - сума опадів за певний період (не менше трьох декад);

$\Sigma T_{> 10}$ - сума температур повітря вище 10° С за той же період.

Випаровування в цій формулі (в мм) чисельно прирівняне до суми середніх добових температур за період з температурою вище 10°С, зменшеною в 10 разів. Чисельні значення гідротермічного коефіцієнта, по Г. Т. Селянінову, означають: 2,0 - надмірне зволоження, 1,5 - достатнє, 1,0 - на межі посухи, 0,5 - сильна посуха, 0 – абсолютна посуха.

Томи ми в своїх методологічних дослідженнях по вивченню поширення хвороб та шкідників враховуючи гідротермічний коефіцієнт Г. Т. Селянінова пропонуємо розраховувати календарні терміни початку і кінця посушливих і сухих періодів, а також їх тривалість, що прямо впливає на патологічні процеси та поширення хвороб і шкідників в лісах на прикладі Поліського природного заповідника.

Для розрахунку календарних дат початку і кінця цих періодів ми пропонуємо використовувати формулу:

$$Д = (K - b/a - b) \times d + 15$$

де:

Д - дата початку або кінця зазначених періодів;

К - порогове значення ГТК (1,0 або 0,5);

b - середнє місячне значення ГТК нижче порогового;

a - відповідне значення ГТК вище порогового;

d - число днів у місяці з ГТК = b.

Аналогічним чином можна розраховувати дати початку і кінця посушливого і сухого періодів з використанням порогових значень і інших коефіцієнтів зволоження. Істотним недоліком показника зволоження Г. Т. Селянінова на нашу думку є те, що його значення при нестійкій погоді (навесні і восени) збільшують, а при високих літніх температурах – зменшують оцінку зволоження і, тим самим неточно визначається сезонна динаміка зволоження. Тому гідротермічний коефіцієнт можна застосовувати для оцінки придатних умов весни і осені, коли температура повітря нижче 10° С. Умови зволоження в окремі роки можуть значно відрізнятися від середніх багаторічних, тому практичного значення набувають розрахунки ймовірності і повторюваності в роки з різним зволоженням.

Тому крім гідротермічного коефіцієнта Г. Т. Селянінова, ми в своїх методиках визначення патологічного стану сосни звичайної в умовах

Поліського природного заповідника застосовували й інші показники зволоження: показник зволоження Д. І. Шашко (M_d) характеризує відношення річної або місячної суми опадів до суми середньодобових дефіцитів вологи повітря і визначається за формулою:

$$M_d = \Sigma P / \Sigma d$$

де:

M_d - показник зволоження;

ΣP - сума опадів, мм;

Σd - сума середньодобових значень дефіциту вологості повітря, мб (або гПа),

Радіаційний індекс сухості:

$$IR = R / LP$$

де:

IR - радіаційний індекс сухості;

R - радіаційний баланс;

L - прихована теплота випаровування;

P - річна кількість опадів.

Застосування цього індексу ускладнено обмеженням даних по радіаційному балансу. Однак ми можемо абсолютно просто визначити радіаційний баланс за сумами температур вище 10°C .

В цьому випадку радіаційний індекс сухості виражається формулою:

$$IR = P / 0,18 \times \Sigma T > 10$$

де: P - опади за рік, мм.

Крім цього, для визначення волого забезпечення лісопокритої території, а ми рекомендуємо розраховувати коефіцієнт зволоження по В. С. Мезенцеву ($K_{зв}$), що розраховується за формулою:

$$K_{зв} = P / 0,22 T > 10 + 306$$

де:

P - опади за рік, мм;

$T > 10$ - сума температур повітря вище 10°C .

Температура, нижче якої життєдіяльність комах припиняється, визначає нижній поріг розвитку; температура, вище якої життєдіяльність так само стає неможливою, – верхній поріг розвитку. В межах цих порогів вплив температури на життєдіяльність комах різноманітний на всіх стадіях сезонного розвитку. З температурним режимом безпосередньо пов'язана і вологість. Затяжна дощова погода, як правило супроводжується зниженням температури повітря, що знижує стійкість організму комах по відношенню до хвороб і посилюється непрямим фактором – змінами біохімічного складу корму, особливо для відкрито живучих видів, що, в свою чергу, призводить до порушень функції травної системи. Температура визначає швидкість онтогенезу лісових комах, тривалість життя і плодючість імаго, рухливість комах, їх харчову активність і т. д. При збільшенні температури середовища зростає швидкість розвитку і проходження фаз онтогенезу комах. Тривалість розвитку ми пропонуємо обчислювати за формулою:

$$T_p = C/T - T_o$$

де:

T_p - тривалість розвитку, днів;

C - сума середньодобових температур, потрібна для розвитку (термальна константа);

T - середньодобова температура періоду розвитку;

T_o - температура порогу розвитку.

На підставі численних досліджень з різними шкідливими комахами, було виявлено залежність швидкості розвитку комах від температури, що може бути виражена формулою гіперболи. Однак час розвитку не визначається однозначно показником суми ефективних температур або середньою температурою середовища. Ми встановили, що на швидкість розвитку комах впливає розмах температурних коливань (температурні

варіації). Розвиток комах зазвичай сповільнюється при коливаннях температури вище оптимальних. Якщо ж коливання температури досягають нижнього порогу оптимуму, то розвиток особин прискорюється. Поряд зі зміною термінів розвитку окремих фаз комах, температура навколишнього середовища впливає на морфо-фізіологічні параметри особин. Таким чином, в цьому випадку вплив температури індукує складність і неоднозначний за спрямованістю свого впливу ланцюг причинно-наслідкових зв'язків.

При лісопатологічному моніторингу доводиться мати справу не з окремо взятими кліматичними факторами, а з їх поєднаннями, причому які безперервно змінюються в часі і просторі, найчастіше з температурою і опадами вегетаційного періоду. При обстеженні необхідно організувати отримання не рідше ніж один раз на декаду або півмісяць відомостей з метеорологічної станції про середньодобові температури повітря і суму опадів. Одночасно потрібно мати у своєму розпорядженні дані по тій же станції про багаторічні середні, по декадах або за півмісяця вегетаційного періоду, для середньодобових температур повітря і сумарних опадів. Після отримання даних, обчислюються абсолютні та відсоткові відхилення за минулу декаду або півмісяць від багаторічних середніх як по температурі, так і по опадах. Отримані дані і результати обчислень дають можливість зробити висновок про те, наскільки минула декада або півмісяць сприяли або не сприяли розвитку і життєдіяльності моніторингових шкідників. В даному випадку ми використовуємо імітаційні моделі динаміки чисельності популяцій, зокрема вибравши в якості модельного виду вершинного короїда, а в якості модельних територій-Перганське, Копищанське, Селезівське ПНДВ Поліського природного заповідника тому, що для моделі вершинного короїда, ключовими кліматичними факторами є ГТК травня і опади червня та серпня. Тепла і суха погода в травні, а також суха погода в червні-серпні

будуть сприяти зростанню чисельності популяції. При кліматичній зміні, які будуть виражатися в підвищенні температури травня на 2 - 3°C і зменшенні рівня травневих опадів на 20-30% в Північних районах Житомирської області, може виникнути кліматична обстановка, сприятлива для розвитку спалахів масового розмноження вершинного короїда. Зв'язок спалахів його масового розмноження з посухами підтверджується усіма авторами, що вивчали його біологічні особливості. Чим довший і інтенсивніший посушливий період, тим інтенсивніший викликаний ним спалах. Вершинний короїд настільки добре реагує на потепління та інсоляцію, які супроводжують посушливу погоду, що навіть вже затухлі спалахи знову інтенсифікуються і набувають тривалий характер. Тому при настанні першої ж посухи в місцевостях з річним або змінним циклом розвитку шкідника, слід посилити спостереження і розширити його на інші облікові резервації. При повторній посусі, слід провести детальне обстеження тих резервацій, а також схожих з ними насаджень.

Як приклад використання метеорологічної інформації, можна навести прогноз розвитку шестизубчатого короїда в умовах Копищанського ПНДВ. Для прогнозу розвитку спалахів масового розмноження шестизубчатого короїда були проаналізовані дані місцевої автоматичної метеостанції населеного пункту Селезівка в районі обстеження, і побудовані графіки зміни дефіциту вологості повітря за вегетаційний період. Дефіцит вологості повітря за 2022-2024 рр. по даних автоматичної метеостанції тримався або в межах норми, а в окремі роки перевищували багаторічну норму на 15-25%. Високий дефіцит вологості відповідав спекотній і сухій погоді, сприятливій для реалізації спалахів масового розмноження шестизубчатого короїда. В доповнення до графіка зміни дефіциту вологості, була побудована термічна діаграма погодних умов літа 2023 року. Погодні умови літа 2024

року були сприятливі для розвитку шести зубчатого короїда, так як травень і липень виявилися посушливими, а серпень і вересень характеризувались певною кількістю опадів, але розподіл їх був нерівномірним. На підставі цих даних і даних по динаміці чисельності шкідника був складений прогноз про очікуване сильне пошкодження деревостанів сосни звичайної в лісорослинних умовах Копищанського ПНДВ Поліського природного заповідника.

Висновки та перспективи подальших досліджень у цьому напрямку.

1. Дослідженнями встановлено, що погодні умови Поліського природного заповідника є сприятливими для погіршення санітарного стану сосни звичайної в контексті виникнення та поширення хвороб й шкідників лісу.

2. Практично визначено, що запропонований інноваційний метод лісопатологічного моніторингу хвороб та шкідників сосни звичайної з використанням даних погоди є на сучасному етапі найбільш ефективним і доцільним як в лісорослинних умовах Поліського природного заповідника, так й зони Центрального Полісся в цілому.

3. Доведено, що метеорологічна інформація при проведенні лісопатологічного моніторингу забезпечує оцінку кліматичних особливостей регіону, здійснює детальний аналіз погодних умов окремих років і сезонів року (весни, літа, осені, зими), надає об'єктивну оцінку погодної ситуації в критичні періоди життєвого циклу комах-шкідників лісу, та поширення хвороб, проводить оцінку метеорологічних явищ, що викликають абіотичний стрес у рослин і через складну систему біоценотичних зв'язків, модифікують чисельність комах та патогенів в різних лісорослинних умовах.

4. Визначено, що метеорологічні дані від автоматичної метеостанції Поліського природного заповідника дають актуальні для складання

лісопатологічного прогнозу показники погодних умов, що можуть бути використані для оцінки патологічного впливу шкідників і хвороб лісу.

5. Дослідженнями підтверджено необхідність застосування запропонованої інноваційної методології проведення лісопатологічних обстежень з використанням метеорологічних даних, що є досить ефективною для проведення аналізу поточної, а також прогнозу подальшої лісопатологічної обстановки в лісорослинних бореальних умовах як ПНДВ Поліського природного заповідника, так і лісогосподарських філій Державного підприємства «Ліси України».

6. Результати репрезентативної апробації методології проведення лісопатологічного моніторингу з використанням метеорологічної інформації в подальшому можуть мати перспективні дослідження щодо визначення ареалу поширення певних видів хвороб та шкідників лісу через зміну могодно-кліматичних факторів в лісах України.

Література:

1. Апарин Б. Ф. (2017). *Верифікація «Класифікації й діагностики ґрунтів України» по колекції ґрунтовихх монолітів Центрального музею ґрунтознавства ім. В. В. Докучаєва*. Київ, Наукова думка, 531.

2. Артюховский А. К. (2019). *Провирощування сосни на староорних землях*. Київ, Наукова думка, 176.

3. Евдокимов В. Н. (2020). *Особливості радіального приросту сосни звичайної і вплив на його збудника кореневої губки*. Київ, Наукова думка, 256.

4. Коротков М. И. (2020). *Класифікація і діагностика ґрунтів України*. Харків, Знання, 341.

5. Коротков И. А. (2018). *Лісоросинне районування України*. Хрків, Либідь. 437.

6. Лебедев А. В. (2019). *Патології сосни звичайної в різних типах лісів*. Харків, Кальварія, 190.

7. Лебедев А. В. (2019). *Патологія деревостанів сосни звичайної в різному віці*. Полтава, Знання, 169.

8. Levchenko V. B., Shulga I. V., Nemerytska L. V., Zhuravska I. A., Romanyuk A. A. (2021). *Organization and monitoring of forest pests with the use of pheromones in the conditions of the state enterprise «ZARICHANSKE FORESTRY»*. Innovative Solutions In Modern Science № 1(45), 2021. <https://doi.org/10.26886/2414-634.187>.

9. Levchenko V. B., Shulga I. V., Ivanyk I. D., Budnik I. P., Korkulenko A. M., Ganzhalyuk T. S. (2021). *Restoration of forests in the territories passed by large-forest forest fire in conditions of the state enterprise «Ovrutske Forestry»*. DOI 10.26886/2414-634X.6(50)2021.2 Innovative Solutions In Modern Science № 6(50), 2021. <https://doi.org/10.26886/2414-634.184>.

10. Levchenko V. B., Shulga I. V., Ivanyk I. D., Romanyuk A. A., Rusetskaya N. M. (2022). *Innovative forest and biological methods of entomological monitoring of trumpet pest in the conditions of the Pergan nature conservation research department of Poliska nature reserve*. Paradigm of knowledge № 1(51), 2022. <https://doi.org/10.26886/2520-7474.129>.

11. Levchenko V. B., Shulga I. V., Fuchilo Y. D., Karpovych M. S., Romanyuk A. A., Belska O. V. *Forest pathological monitoring of pine stands in the conditions of the Pergans scientific and research nature protection department Polissky nature reserve*. Innovative Solutions In Modern Science № 3(55), 2022. DOI 10.26886/2414-634X.3(55)2022.2. 162.

12. Levchenko V. B., Shulga I. V., Fuchilo Y. D., Karpovych M. S., Romanyuk A. A., Hornovska S. V. *Phytopathological monitoring of dangerous outbreaks disease of forest trees with use method of changing radial increments in the conditions of the Polisky nature reserve*. DOI

10.26886/2520-7474.1(55)2023.1. Paradigm of knowledge № 1(55), 2023. 153.

13.. Levchenko V. B., Shulga I. V., Fuchilo Y. D., Hurzhii R. V., Romanyuk A. A., Belska O. V. *Fall of Pine phytomass after large scale forest fires in the conditions nature protection scientific research departments Polisky nature reserve*. Paradigm of knowledge № 1(59), 2024. DOI 10.26886/2520-7474.1(59)2024.1. Edition address: Zeil 12, 60313 Frankfurt, Germany. 132.

14. Levchenko V. B., Fuchilo Y. D., Romanyuk A. A., Karpovych M. S., Zakharchuk V. A., Budnik I. P. *Methodological innovation of the integral assessment of the forest pathological state of trees in the conditions of the Polissky nature reserve*. Innovative Solutions In Modern Science № 4(64), 2024. DOI 10.26886/2414-634X.4(64)2024.1 Edition address: 901 Dick Rm 238 City Buffalo, State of New York 14225. P. 5 – 40.

15. Манаєнков А. С. (2019). *Проблеми захисту соснових деревостанів Півночі України*. Умань, Рута. 140.

16. Павлов І. М. (2020). *Закономірності формування вогнищ Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s. str. в географічних культурах сосни звичайної Північних районів України*. Вінниця, Либідь. 136.

17. Романовский М. Г. *Продуктивність, стійкість та біорізноманніття соснових лісів України*. Київ, НАУ. 197.

18. Cherubini P. (2022). *Treelife history prior to death: Two fungal root pathogens affect tree-ring growth differently*. Hanofer, Ecol, 850.

19. Erbilgin N. (2020). *Spatial analysis of forest gaps resulting from bark beetle colonization of red pines experienc-ing belowground herbivory and infection*. Ren, Forest, 153.

20. Heinsdorf D. (2021). *Heterobasidion annosum. Schaden in Kiefernstangenholzern auf Kippsubstraten durch den Pilz Heterobasidion annosum*. Bremen, AFZ/Wald, 699.

21. Heydeck P. (2000). *Bedeutung des Wurzelschwammes im nordost-deutschen Tiefland*, AFZ/Wald, 744.
22. Kozłowski T. (2021). *Growth Control in Woody Plants*. Bonn, Academic Press, 644.
23. Linderholm H.W. *Climatic influence on scots pine growth on dry and wet soils in the central Scandinavian mountains, interpreted from tree-ring widths*. Silva, Fenn, 424.
24. Nobles M. K. (2021). *Identification of cultures of wood – in habiting Hymenomycetes*. Frankfurt, Rill, 139.
25. Schonhar S. (2021). *Bekämpfung der Rotfaule bei Fichte*. Dortmund, AFZ/Wald, 100.

References:

1. Aparyn B. F. (2017). Veryfikatsiia «*Klasyfikatsii y diahnostyky hruntiv Ukrainy*» po kolektsii hruntovykhkh monolitiv Tsentralnoho muzeiu hruntoznavstva im. V. V. Dokuchaieva. Kyev, Naukova dumka, 531. [in Ukrainian].
2. Artiukhovskiy A. K. (2019). *Provyroshchuvannia sosny na staroornykh zemliakh*. Kyev, Naukova dumka, 176. [in Ukrainian].
3. Evdokymov V. N. (2020). *Osoblyvosti radialnoho pryrostu sosny zvychainoi i vplyv na yoho zbudnyka korenevoi hubky*. Kyev, Naukova dumka, 256. [in Ukrainian].
4. Korotkov M. Y. (2020). *Klasyfikatsiia i diahnostyka hruntiv Ukrainy*. Kharkov, Znanyia, 341. [in Ukrainian].
5. Korotkov Y. A. (2018). *Lisorosynne raionuvannia Ukrainy*. Khrkiv, Lybid. 437. [in Ukrainian].
6. Liebiediev A. V. (2019). *Patolohii sosny zvychainoi v riznykh typakh lisiv*. Kharkiv, Kalvaryia, 190. [in Ukrainian].

7. Liebiedev A. V. (2019). *Patolohiia derevostaniv sosny zvychainoi v riznomu vitsi*. Poltava, Znannia, 169. [in Ukrainian].

8. Levchenko V. B., Shulga I. V., Nemerytska L. V., Zhuravska I. A., Romanyuk A. A. (2021). Organization and monitoring of forest pests with the use of pheromones in the conditions of the state enterprise «ZARICHANSKE FORESTRY». *Innovative Solutions In Modern Science* № 1(45), 2021. <https://doi.org/10.26886/2414-634.187>. [in English].

9. Levchenko V. B., Shulga I. V., Ivanyk I. D., Budnik I. P., Korkulenko A. M., Ganzhalyuk T. S. (2021). Restoration of forests in the territories passed by large-forest forest fire in conditions of the state enterprise «Ovrutske Forestry». DOI 10.26886/2414-634X.6(50)2021.2 *Innovative Solutions In Modern Science* № 6(50), 2021. <https://doi.org/10.26886/2414-634.184>. [in English].

10. Levchenko V. B., Shulga I. V., Ivanyk I. D., Romanyuk A. A., Rusetskaya N. M. (2022). Innovative forest and biological methods of entomological monitoring of trumpet pest in the conditions of the Pergan nature conservation research department of Poliska nature reserve. *Paradigm of knowledge* № 1(51), 2022. <https://doi.org/10.26886/2520-7474.129>. [in English].

11. Levchenko V. B., Shulga I. V., Fuchilo Y. D., Karpovych M. S., Romanyuk A. A., Belska O. V. Forest pathological monitoring of pine stands in the conditions of the Pergans scientific and research nature protection department Polissky nature reserve. *Innovative Solutions In Modern Science* № 3(55), 2022. DOI 10.26886/2414-634X.3(55)2022.2. 162. [in English].

12. Levchenko V. B., Shulga I. V., Fuchilo Y. D., Karpovych M. S., Romanyuk A. A., Hornovska S. V. Phytopathological monitoring of dangerous outbreaks disease of forest trees with use method of changing radial increments in the conditions of the Polisky nature reserve. DOI

10.26886/2520-7474.1(55)2023.1. Paradigm of knowledge № 1(55), 2023. 153. [in English].

13.. Levchenko V. B., Shulga I. V., Fuchilo Y. D., Hurzhii R. V., Romanyuk A. A., Belska O. V. Fall of Pine phytomass after large scale forest fires in the conditions nature protection scientific research departments Polisky nature reserve. Paradigm of knowledge № 1(59), 2024. DOI 10.26886/2520-7474.1(59)2024.1. Edition address: Zeil 12, 60313 Frankfurt, Germany. 132. [in English].

14. Levchenko V. B., Fuchilo Y. D., Romanyuk A. A., Karpovych M. S., Zakharchuk V. A., Budnik I. P. Methodological innovation of the integral assessment of the forest pathological state of trees in the conditions of the Polissky nature reserve. Innovative Solutions In Modern Science № 4(64), 2024. DOI 10.26886/2414-634X.4(64)2024.1 Edition address: 901 Dick Rm 238 City Buffalo, State of New York 14225. P. 5 – 40. [in English].

15. Manaiienkov A. S. (2019). Problemy zakhystu sosnovykh derevostaniv Pivnochi Ukrainy. Uman, Ruta. 140. . [in Ukrainian].

16. Pavlov I. M. (2020). Zakonomirnosti formuvannia vohnyshch Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. s. str. v v heohrafichnykh kulturakh sosny zvychainoi Pivnichnykh raioniv Ukrainy. Vinnytsia, Lybid. 136. . [in Ukrainian].

17. Romanovskyi M. H. Produktyvnist, stiikist ta bioriznomannittia sosnovykh lisiv Ukrainy. Kyiv, NAU. 197. . [in Ukrainian].

18. Cherubini P. (2022). Treelife history prior to death: Two fungal root pathogens affect tree-ring growth differently. Hannofer, Ecol, 850. [in English].

19. Erbilgin N. (2020). Spatial analysis of forest gaps resulting from bark beetle colonization of red pines experienc-ing belowground herbivory and infection. Ren, Forest, 153. [in English].

20. Heinsdorf D. (2021). Heterobasidion annosum. Schaden in Kiefernstangenholzern auf Kippsubstraten durch den Pilz Heterobasidion annosum. Bremen, AFZ/Wald, 699. [in English].

21. Heydeck P. (2000). Bedeutung des Wurzelschwammes im nordost-deutschen Tiefland, AFZ/Wald, 744. [in English].

22. Kozłowski T. (2021). Growth Control in Woody Plants. Bonn, Academic Press, 644. [in English].

23. Linderholm H.W. Climatic influence on scots pine growth on dry and wet soils in the central Scandinavian mountains, interpreted from tree-ring widths. Silva, Fenn, 424. [in English].

24. Nobles M. K. (2021). Identification of cultures of wood – in habiting Hymenomycetes. Frankfurt, Rill, 139. [in English].

25. Schonhar S. (2021). Bekämpfung der Rotfaule bei Fichte. Dortmund, AFZ/Wald, 100. [in English].

Citation: Valery Levchenko, Igor Shulga, Alla Romanyuk, Svitlana Hornovska, Yaroslav Makarchuk (2025). INNOVATIVE METHODOLOGICAL ASPECTS OF FOREST PATHOLOGICAL MONITORING USING METEOROLOGICAL INFORMATION IN FOREST MANAGEMENT CONDITIONS OF THE POLISSYA NATURE RESERVE. Frankfurt. TK Meganom LLC. Paradigm of knowledge. 1(65). doi: 10.26886/2520-7474.1(65)2025.1

Copyright Valery Levchenko, Igor Shulga, Alla Romanyuk, Svitlana Hornovska, Yaroslav Makarchuk ©. 2025. This is an openaccess article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.