

DOI 10.26886/2414-634X.5(69)2025.1

UDC: 630*23*228*232.44

**SCIENTIFIC AND ANALYTICAL SUBSTITUTION OF PARAMETERS
OF RISK MODELS OF THE OCCURRENCE AND SPREAD OF THE
CAUSANT OF SEPTORIOSIS**

**(Septoria tritici blotch, STB) ON THE EXAMPLE OF WINTER
WHEAT IN UKRAINE AND EUROPE IN THE CONTEXT OF CLIMATE
CHANGE DYNAMICS BY 2050**

**Petro Trofymenko, Doctor of Agricultural Sciences, Associate
Professor**

<https://orcid.org/0000-0002-7692-5785>

e-mail: trofimenkopetr@ukr.net

Nadiya Trofymenko, Ph.D. Candidate of Economic Sciences

<https://orcid.org/0000-0002-2086-1225>

e-mail: trofimenko.nadia.v@gmail.com

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

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

e-mail: waleriy07@ukr.net

**Hryhoriy Machulsky, Ph.D. Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor**

<https://orcid.org/0000-0002-7692-5785>

e-mail: gmmsi@ukr.net

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

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

e-mail: allaromaniuk1960@gmail.com

**Oleksandr Pinchuk, Ph.D. Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor**

<https://orcid.org/0000-0002-7692-5785>

e-mail: areal67@ukr.net

Yaroslav Fuchylo, Doctor of Agricultural sciences, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-2669-5176>

e-mail: fuchylo_yar@ukr.net

Ulyana Kotlyarevska, Candidate of Agricultural Sciences

<https://orcid.org/0009-0004-2585-9361>

e-mail: ulyana.kotlyarevska@gmail.com

**Svitlana Hornovska, Ph.D. Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor**

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

e-mail: gornovskayasvetlana@ukr.net

National University «Chernihiv Colehium» im. T. H. Shevchenko, Ukraine,
Chernihiv.

Limited Liability Company "IT-Agroconsulting", Ukraine, Chernihiv.

Zhytomyr Agrotechnical Vocational College, Ukraine, Zhytomyr.

The Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine, Ukraine, Kyiv.

Bila Tserkva National Agrarian University, Ukraine, Bila Tserkva.

Scientific and analytical determination of parameters of risk models for the detection and spread of the pathogen Septoria tritici blotch (STB) on the example of winter wheat in Ukraine and Europe in the context of climate change dynamics until 2050.

The issue of a promising, innovative model for detecting the risk of the occurrence and mass spread of the pathogen Septoria tritici blotch (STB) on the example of winter wheat under the condition of changing weather

and climatic conditions in the future until 2050 has been substantiated. During the period of the conducted research, a practical approbation of the proposed model has been carried out. The effectiveness of innovative methodological approaches to preventing the occurrence and spread of mass epiphytoses of the pathogen Septoria tritici blotch (STB) on winter wheat crops in the Eastern Polissya zone of Ukraine has been assessed. The risks of the spread of the pathogen Septoria tritici blotch of winter wheat to other grain crops have been assessed, which in the future has a very significant impact on the reduction of their resistance, productivity, and yield on production crops both in modern and post-war times. The effectiveness of the proposed monitoring model for detecting the risk of occurrence and mass spread of the pathogen Septoria (Septoria tritici blotch, STB) on commercial winter wheat crops in agricultural enterprises of various forms of ownership has been analyzed and substantiated, in terms of practical assessment of the impact of weather and climate changes, the environmental plasticity of the pathogen to soil, weather and climate conditions in the perspective until 2050. Monitoring determination of the dynamics of its spread, the conditions for the appearance of foci, the spread of epiphytosis of winter wheat Fusarium, as the main monitoring factor of the phytopathological, selection, physiological, morphological stability of winter wheat crops, has been carried out. The effectiveness of the application of the model for detecting the risk of occurrence and mass spread of the pathogen Septoria (Septoria tritici blotch, STB) on the example of winter wheat under the condition of changes in weather and climate factors in the perspective until 2050 has been determined.

The subject of the work is the practical testing of our proposed model for detecting the risk of occurrence and mass spread of the Septoria blotch pathogen (Septoria tritici blotch, STB) on the example of winter wheat under the condition of changing weather and climatic factors in the future until

2050, as well as the assessment of the possibility of practical use of this model for determining the phytopathological condition of crops of both winter wheat and other crops of the grain group using the results of phytopathological examination and their further processing, determining the scientific and practical effectiveness of our proposed model for the possibility of its further scientific use in the conditions of agricultural enterprises, research institutions and organizations of Ukraine. A practical comparison of the results obtained by us in the conditions of agricultural enterprises of various forms of ownership of Eastern Polissya using risk models for the detection and spread of the pathogen *Septoria tritici blotch* (STB) using the example of winter wheat, its representativeness in terms of practical effectiveness in other soil and climatic conditions, which will further allow us to determine the phytopathological, physiological and immunological state of winter wheat crops, and to predict the risks of the emergence of foci of the spread of the pathogen *Septoria* in the context of weather and climate changes in both Ukraine and Europe until 2025 inclusive. Testing of our proposed phytopathological and climatic parameters of the risk models for the detection and spread of the pathogen *Septoria tritici blotch* (STB) on the example of winter wheat in Ukraine and Europe in the context of climate change dynamics until 2050, as a promising innovative method of phytopathological indication of winter wheat sowing, determination of its physiological, breeding and seed, immunological, and resistant state in the conditions of modern climate change both in Eastern Polissya of Ukraine and in Europe in particular.

The aim of the work is a comprehensive assessment of the practical effectiveness of the methodology we have proposed for the scientific and analytical determination of parameters of risk models for the detection and spread of the pathogen *Septoria tritici blotch* (STB) using the example of

winter wheat in Ukraine and Europe in the context of climate change dynamics by 2050, which is currently relevant.

*The main research methods for studying and assessing the practical effectiveness of the parameters of the risk models proposed by us for the detection and spread of the pathogen *Septoria tritici blotch* (STB) on the example of winter wheat in Ukraine and Europe in the context of climate change dynamics by 2050 in the conditions of agricultural enterprises of various forms of ownership in the Eastern Polissya area were:*

*1. Computational and analytical - on the collection and processing of the results of the conducted research to determine the parameters of risk models for the detection and spread of the pathogen *Septoria tritici blotch* (STB) using the example of winter wheat in Ukraine and Europe in the context of climate change dynamics by 2050.*

*2. Conducting phytopathological, morphological, soil, breeding and seed, entomological, weather and climatic monitoring of winter wheat crops in the conditions of agricultural enterprises of various forms of ownership, comparing the results obtained with the results of existing methodologies that are widely used by research and development, scientific and production institutions of the State Service for Food Safety and Consumer Protection of Ukraine, the Plant Quarantine Service, breeding and seed centers of Ukraine for monitoring grain crops, identifying signs of damage by pathogens of *septoria* in winter wheat, conducting statistical analysis of the results obtained, comparing them with the results of existing models in order to determine the phytopathological, morphological, breeding and seed, and resistant state both in the conditions of Eastern Polissya of Ukraine and the entire Polissya zone as a whole.*

3. Assessment of the representativeness and objectivity of the obtained research results in relation to all agricultural enterprises of both the Eastern

Polissya zone and the entire Polissya zone of Ukraine using the example of experimental crops in the conditions of Chernihiv region.

*4. Practical testing of the proposed scientific and analytical determination of the parameters of the risk models for the detection and spread of the pathogen *Septoria tritici* blotch (STB) using the example of winter wheat in Ukraine and Europe in the context of climate change dynamics by 2050 in the conditions of agricultural enterprises of various forms of ownership and research institutions in the Eastern Polissya zone of Ukraine.*

*According to the results of the research, it was found that the shift of the focus of the occurrence of critical risk falls on the early spring period, which is associated with an increase in the average air temperature in March–May to $\geq 14^{\circ}\text{C}$. It was clearly revealed that the increase in the frequency of hot summer days ($t > 30^{\circ}\text{C}$) significantly limits the development of the pathogen *Zymoseptoria tritici* of winter wheat in the second half of the growing season. In turn, this requires updating the seasonal structure of the predicted risk models. It was established that the key abiotic triggers for the onset of pathology and the spread of the pathogen *Zymoseptoria tritici* on winter wheat are: air temperature $+15, +25^{\circ}\text{C}$, relative humidity $\geq 90\%$, the amount of precipitation $\geq 15\text{--}20\text{mm}$ in 3 days, the duration of leaf wetting $\geq 36\text{--}48$ hours, as well as the cumulative condition – at least 10 days in the optimal temperature range. These parameters are systematized in a tabular model structure for further software application. It has been practically proven that the short-term meteorological trigger of the risk of the occurrence of a focus of epiphytotia of the pathogen *Zymoseptoria tritici*, namely: average temperature $\geq +14^{\circ}\text{C}$ in combination with precipitation $\geq 12\text{mm}$ within 48 hours. This approach allows you to quickly connect weather forecasts to warning systems in production agrosystems.*

The scope of application of the research results includes both agricultural production enterprises of various forms of ownership, as well as scientific and research, breeding and seed institutions and organizations, the State Food and Consumer Protection Service of Ukraine, and institutions of the State Quarantine Inspectorate of Ukraine.

*The conclusions of the research are that due to changes in weather and climatic conditions, such a highly pathogenic pathogen of winter wheat disease as *Zymoseptoria tritici* has become widespread. Its foci and epiphytotia subsequently become the causes of the reproduction of pests of grain crops, and as a result - the loss of agricultural products and the shortage of marketable grain of winter wheat by 32.4%. The methodology we have proposed for determining the parameters of risk models for the detection and spread of the pathogen *Septoria blotch* (*Septoria tritici blotch*, STB) on the example of winter wheat in Ukraine and Europe in the context of the dynamics of climate change by 2050 will in the future make it possible to conduct timely phytopathological, breeding and seed monitoring of crops of both winter wheat and other crops of the grain group, to design and implement measures to prevent the occurrence of epiphytotia of the pathogen *Septoria tritici blotch*, STB, and to reduce the risks of its large-scale foci as much as possible. The specified methodology for determining the parameters of risk models for the detection and spread of the pathogen *Septoria tritici blotch* (STB) will in the future provide a practical opportunity to timely and effectively forecast possible foci of occurrence of both the pathogen *Septoria tritici blotch* of winter wheat and other diseases with the participation of infection by representatives of fungi of this class, will make it impossible for the factor of occurrence of foci of mass epiphytoses of pathogens of agricultural crops due to climate change factors, anthropogenic human activity, and after a full-scale invasion of the territory of Ukraine by an aggressor country, military factors. The practical use of*

scientific and analytical determination of the parameters of risk models for the detection and spread of the pathogen Septoria tritici blotch (STB) on the example of winter wheat in Ukraine and Europe in the context of climate change dynamics by 2050, as well as its impact on the phytosanitary condition of crops of both winter wheat and grain crops, will further allow predicting and determining possible foci of epiphytobia of pathogens of fungal and bacterial diseases, and as a result - protecting agricultural crops from the spread of phytopathogenic organisms. The application of models for the detection and spread of the pathogen Septoria tritici blotch (STB) in Ukraine and Europe in the context of climate change dynamics by 2050 will further allow practical assessment of the phytopathological condition of winter wheat crops to determine the potentially possible yield, as well as timely conduct phytopathological examination of grain crops in the conditions of agricultural enterprises of various forms of ownership, research institutions, and organizations. To predict further preventive measures to limit the spread of phytopathogens, the emergence and spread of pests, and to prevent the spread of epiphytobia of the pathogen to other grain crops. The developed methodology for the scientific and analytical determination of the parameters of risk models for the detection and spread of the pathogen Septoria tritici blotch (STB) on the example of winter wheat in Ukraine and Europe in the context of climate change dynamics by 2050 makes it possible to conduct practical physiological, phytopathological, breeding and seed research in the conditions of scientific research institutions and organizations, growing agricultural crops of the grain group in the conditions not only of Eastern Polissya, where our research was conducted, but also in general in the conditions of the Polissya zone of Ukraine.

Key words: *septoria, wheat, weather, climate, changes, agroclimatic modeling, epiphytotia risks, Polissya of Ukraine, adaptation of agrosystems, phytopathological forecasting, phenological models.*

Доктор сільськогосподарських наук, доцент Трофименко П. І., кандидат економічних наук Трофименко Н. В., кандидат сільськогосподарських наук, доцент Левченко В. Б., кандидат сільськогосподарських наук, доцент Мачульський Г. М., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Романюк А. А., кандидат сільськогосподарських наук, доцент Пінчук О. В., доктор сільськогосподарських наук, професор Фучило Я. Д., кандидат сільськогосподарських наук Котляревська У. М., кандидат сільськогосподарських наук, доцент Горновська С. В.

*Науково-аналітичне визначення параметрів моделей ризику виявлення та поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці в Україні та Європі в контексті динаміки змін клімату до 2050 року.*

Національний університет «Чернігівський колегіум» ім. Т. Г. Шевченка, Україна, Чернігів; Товариство з обмеженою відповідальністю «IT-Agroconsulting», Україна, Чернігів; Житомирський агротехнічний фаховий коледж, Україна, Житомир; Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії наук України, Україна, Київ; Білоцерківський національний аграрний університет. Україна, Біла Церква.

*Обґрунтовано питання перспективної, інноваційної моделі виявлення ризику виникнення та масового поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці за умови зміни погодно-кліматичних умов в перспективі до 2050 року. За період проведених досліджень здійснено практичну апробацію*

запропонованої моделі. Проведено оцінку ефективності інноваційних методологічних підходів щодо унеможливлення виникнення та поширення масових епіфітотій збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на посівах озимої пшениці в зоні Східного Полісся України. Оцінено ризики поширення збудника септоріозу озимої пшениці на інші зернові культури, що в подальшому дуже суттєво впливає на зниження їх резистентності, продуктивності, врожайності на виробничих посівах як в сучасний, так й в повоєнний час. Проаналізовано та обґрунтовано ефективність застосування запропонованої моделі моніторингу по виявленню ризику виникнення та масового поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на господарських посівах озимої пшениці в сільськогосподарських підприємствах різних форм власності, щодо практичної оцінки впливу погодно-кліматичних змін, екологічної пластичності збудника до ґрунтових, погодно-кліматичних умов в перспективі до 2050 року. Проведено моніторингове визначення динаміки його поширення, умов появи осередків, поширення епіфітотій фузаріозу озимої пшениці, як основного моніторингового фактора фітопатологічної, селекційної, фізіологічної, морфологічної стійкості посівів озимої пшениці. Визначено ефективність застосуванням моделі виявлення ризику виникнення та масового поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці за умови зміни погодно-кліматичних факторів в перспективі до 2050 року.

Предметом роботи є практична апробація запропонованої нами моделі виявлення ризику виникнення та масового поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці за умови зміни погодно-кліматичних факторів в перспективі до 2050 року, а також оцінка можливості практичного використання

цієї моделі щодо визначення фітопатологічного стану посівів як озимої пшениці, так й інших культур зернової групи з використанням результатів фітопатологічної експертизи та подальшої їх обробки, визначення науково-практичної ефективності запропонованої нами моделі щодо можливості її подальшого наукового використання в умовах сільськогосподарських підприємств, науково-дослідних установ та організацій України. Здійснено практичне порівняння отриманих нами в умовах сільськогосподарських підприємств різної форми власності Східного Полісся результатів використання моделей ризику виявлення та поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці, її репрезентативності щодо практичної ефективності в умовах інших ґрунтово-кліматичних умов, що в подальшому дасть змогу визначити фітопатологічний, фізіологічний та імунологічний стан посівів озимої пшениці, спрогнозувати ризики виникнення осередків поширення збудника септоріозу в контексті погодно-кліматичних змін як в Україні, так й в Європі до 2025 року включно. Апробація запропонованих нами фітопатологічних та кліматичних параметрів моделей ризику виявлення та поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці в Україні та Європі в контексті динаміки змін клімату до 2050 року, як перспективного інноваційного методу фітопатологічної індикації посівів озимої пшениці, визначення її фізіологічного, селекційно-насінницького, імунологічного, резистентного стану в умовах сучасної зміни клімату як у Східному Поліссі України, так і в Європі зокрема.

Метою роботи є комплексна оцінка практичної ефективності запропонованої нами методології по науково-аналітичному визначенню параметрів моделей ризику виявлення та поширення

збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці в Україні та Європі в контексті динаміки змін клімату до 2050 року, що є на сьогодні актуальною.

Основними методами досліджень по вивченню та оцінці практичної ефективності запропонованих нами параметрів моделей ризику виявлення та поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці в Україні та Європі в контексті динаміки змін клімату до 2050 року в умовах сільськогосподарських підприємств різних форм власності в зоні Східного Полісся були:

1. Розрахунково-аналітичний, - по збору і обробці результатів проведених досліджень визначення параметрів моделей ризику виявлення та поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці в Україні та Європі в контексті динаміки змін клімату до 2050 року.

2. Проведення фітопатологічного, морфологічного, ґрунтового, селекційно-насінницького, ентомологічного, погодно-кліматичного моніторингу посівів озимої пшениці в умовах сільськогосподарських підприємств різних форм власності, порівняння отриманих нами результатів з результатами вже існуючих методологій, що масово використовуються науково-дослідними, науково-виробничими установами Держпродспоживслужби України, Службою карантину рослин, селекційно-насінницькими центрами України для моніторингу зернових культур, виявлення ознак ураження збудниками септоріозу озимої пшениці, здійснення статистичного аналізу отриманих результатів, порівняння їх з результатами існуючих моделей з метою визначення фітопатологічного, морфологічного, селекційно-насінницького, резистентного стану як в умовах Східного Полісся України, так і всієї зони Полісся в цілому.

3. Оцінка репрезентативності та об'єктивності отриманих результатів досліджень по відношенню до всіх сільськогосподарських підприємств як зони Східного Полісся, так і в цілому зони Полісся України на прикладі дослідних посівів в умовах Чернігівщини.

4. Практична апробація запропонованого нами науково-аналітичного визначення параметрів моделей ризику виявлення та поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці в Україні та Європі в контексті динаміки змін клімату до 2050 року в умовах сільськогосподарських підприємств різної форми власності та науково-дослідних установ в зоні Східного Полісся України.

За результатами досліджень було встановлено, що зміщення осередку виникнення критичного ризику припадає на ранньовесняний період, що пов'язано з підвищенням середньої температури повітря березня–травня до $\geq 14^\circ\text{C}$. Було чітко виявлено залежність, що зростання частоти літніх спекотних днів ($t > 30^\circ\text{C}$) суттєво обмежує розвиток збудника *Zymoseptoria tritici* озимої пшениці у другій половині вегетації. В свою чергу це вимагає оновлення сезонної структури прогнозованих моделей ризику. Встановлено, що ключовими абіотичними тригерами старту патології виникнення та поширення збудника *Zymoseptoria tritici* на озимій пшениці є: температура повітря $+15, +25^\circ\text{C}$, відносна вологість $\geq 90\%$, сума опадів $\geq 15\text{--}20$ мм за 3 доби, тривалість зволоження листя $\geq 36\text{--}48$ год., а також кумулятивна умова – не менше 10 діб в оптимальному температурному діапазоні. Ці параметри систематизовано у табличну модельну структуру для подальшого програмного застосування. Практично доведено, що короткостроковий метеотрігер ризику виникнення осередку епіфітотії збудника *Zymoseptoria tritici*, а саме: середня температура $\geq +14^\circ\text{C}$ у поєднанні

з опадами ≥ 12 мм протягом 48 год. Цей підхід дозволяє оперативно підключати погодні прогнози до систем попередження у виробничих агросистемах.

Сферою застосування результатів досліджень є як сільськогосподарські виробничі підприємства різних форм власності, так й науково-дослідні, селекційно-насінницькі, установи та організації, Держпродспоживслужба України, установи Державної карантинної інспекції України.

Висновки досліджень полягають в тому, що через зміну погодних й кліматичних умов, такий досить високо-патогенний збудник хвороби озимої пшениці як *Zymoseptoria tritici* набув масового поширення. Його осередки та епіфітотії в подальшому стають причинами розмноження шкідників хлібних культур, і як наслідок – втрата сільськогосподарської продукції та недобір товарного зерна озимої пшениці на 32,4%. Запропонована нами методологія визначення параметрів моделей ризику виявлення та поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці в Україні та Європі в контексті динаміки змін клімату до 2050 року в подальшому дасть можливість проводити вчасний фітопатологічний, селекційно-насінницький, моніторинг посівів як озимої пшениці, так й інших культур зернової групи, проектувати та здійснювати заходи щодо унеможливлення виникнення епіфітотій збудника *Septoria tritici blotch*, STB, максимально можливо знизити ризику виникнення масштабних його осередків. Зазначена методологія визначення параметрів моделей ризику виявлення та поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB), в подальшому дасть практичну змогу вчасно та ефективно скласти прогноз можливих осередків виникнення як збудника септоріозу озимої пшениці, так й інших хвороб за участі інфекції представників

грибів цього класу, унеможливить фактор виникнення осередків масових епіфітотій збудників хвороб сільськогосподарських культур через фактори зміни клімату, антропогенної діяльності людини, а після повномасштабного вторгнення на територію України країни-агресора, - й військових факторів. Практичне використання науково-аналітичного визначення параметрів моделей ризику виявлення та поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці в Україні та Європі в контексті динаміки змін клімату до 2050 року, а також його впливу на фітосанітарний стан посівів як озимої пшениці, так й культур зернової групи, в подальшому дасть змогу прогнозувати та визначити можливі осередки епіфітотій збудників грибкових, бактеріальних хвороб, і як наслідок – проведення захисту сільськогосподарських культур від поширення фітопатогенних організмів. Застосування моделей виявлення та поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) в Україні та Європі в контексті динаміки змін клімату до 2050 року в подальшому дасть змогу практичної оцінки за фітопатологічним станом посівів озимої пшениці визначити потенційно можливий врожай, а також вчасно проводити фітопатологічну експертизу зернових культур в умовах сільськогосподарських підприємств різних форми власності, науково-дослідних установ, організацій. Спрогнозувати подальші профілактичні заходи щодо обмеження поширення впливу фітопатогенів, виникнення та поширення шкідників, унеможливлення поширення епіфітотій збудника на інші зернові культури. Розроблена методологія по науково-аналітичному визначенні параметрів моделей ризику виявлення та поширення збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, STB) на прикладі озимої пшениці в Україні та Європі в контексті динаміки змін клімату до 2050 року дає змогу проводити практичні фізіологічні,

фітопатологічні, селекційно-насінницькі, дослідження в умовах науково-дослідних установ та організацій, вирощування сільськогосподарських культур зернової групи в умовах не лише Східного Полісся, де проводились наші дослідження, а й в цілому в умовах зони Полісся України.

***Ключові слова:** септоріоз, пшениця, погода, клімат, зміни, агрокліматичне моделювання, ризики епіфітотій, Полісся України, адаптація агросистем, фітопатологічне прогнозування, фенологічні моделі.*

Вступ. В сучасних умовах зміни клімату, все більше зростає потреба в системному аналізі впливу глобального потепління на фітосанітарний стан основних сільськогосподарських культур, зокрема пшениці озимої та ярої. Як відомо, однією з найнебезпечніших і найпоширеніших хвороб листя пшениці в Україні є септоріоз (*Septoria tritici blotch*, *STB*). Захворювання має складний цикл розвитку, біоекологічну динаміку, тісно пов'язану з погодними умовами, зокрема з температурою повітря, вологістю ґрунту та водообміном листя.

Аналіз сучасних досліджень свідчить, що глобальні кліматичні зміни суттєво трансформують цикл розвитку та епіфітотичний ареал багатьох патогенів сільськогосподарських культур, змінюючи не лише площу їх поширення, а й вірулентність, онтогенез та взаємодію з рослиною-господарем. Згідно з узагальненням Eljarj et al., підвищення температури повітря та ґрунту, зміна режиму зволоження та концентрації CO₂ активують нові механізми патогенезу, сприяють появі резистентних штамів і зменшують ефективність застосування традиційних засобів захисту. Автори підкреслюють необхідність створення адаптивних моделей прогнозу ризику септоріозу пшениці озимої та ярої з урахуванням сценаріїв змін клімату.

За даними досліджень (Ponomarenko et al., 2011, Adamenko, 2018, PrahI et al., 2023) зона Полісся України історично характеризувалася сприятливими умовами для розвитку та поширення хвороби, проте сучасні кліматичні тенденції можуть суттєво змінити її географію та агресивність штамів через характер їх пластичності.

Накопичені за останні 25 років дані (Ponomarenko et al., 2011, Chen et al., 2017, Ecoaction, 2025) свідчать про виражене потепління клімату, зміну річного розподілу опадів, збільшення кількості днів із гідротермічними екстремумами ($GTK < 0,5$), що вимагає перегляду сучасних фітомоніторингових та фітосанітарних підходів до захисту рослин в умовах зони Полісся України. У контексті таких змін надзвичайно важливим постає питання оперативного моделювання ризику та прогнозу виникнення й поширення епіфітотій збудника септоріозу (*Septoria tritici blotch*, *STB*). на основі глибокого фітопатологічного та цифрового аналіз кліматичних погодних й кліматичних параметрів – як основної складової оперативного прогнозування, планування та розробки агротехнічних заходів, здійснення селекційної роботи та адаптації сучасних агро та лісових систем до нових погодних та кліматичних змін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання проблеми. Дослідженнями встановлено, що збудник септоріозу (*Zymoseptoria tritici*), спричинений збудником є одним із найнебезпечніших захворювань як озимої та ярої пшениці, а також ясеневих, березових та вільхових деревостанів в умовах зони помірного кліматі [1, с.124-131, 14, с.45-84]. Він уражує росини, спричиняючи некрози та утворення біологічних похідник циклу розвитку - пікнід. Сприятливими для проходження патологічного процесу є прохолодні (15–20 °C) й вологі умови. В сприятливі роки втрачає врожаю озимої та ярої пшениці, а також відпад продуктивного деревостану

берези повислої становить 30–40% [2, с.24-87, 15, с.67-94]. За високої температури й дефіциту вологи розвиток патогену уповільнюється.

Частка плямистостей, у структурі уражень збудником *Zymoseptoria tritici* зросла через теплі зими та вологу весну, які сприяють перезимівлі інокулюму й ранньому зараженню, що є основною ознакою глобального потепління клімату [3, с.34-75]. За результатами наукового звіту IPCC (2021), темпи потепління клімату у Східній Європі та Україні зокрема, перевищують глобальні прогнози на період до 2050 року. Відмічено, що в Україні середньорічна температура вже зросла на +1, - +2°C [4, с.29-54, 16, с.59-105]. Внаслідок змін клімату ареали природно-кліматичних зон поступово трансформуються: змінюються їхні просторові межі, конфігурація та площа поширення. За даними наукових досліджень [5, с.36-64] підвищення середньорічної температури повітря може зумовити зміну природно-кліматичної зональності - зокрема, трансформацію природних ареалів зони Полісся України в Лісостепову зону. Зафіксовано, що південна межа зони Полісся України вже зсунулась в бік Півночі приблизно на 150–200 км. [6, с.67-85, 7, с.78-95]. Характер вливу абіотичних складових на динаміку поширення збудника *Zymoseptoria tritici* наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Екологічні параметри та вплив комплексу абіотичних факторів на поширення збудника *Zymoseptoria tritici* в умовах зони Полісся України (середнє за 2020-2025 роки)

Екологічний параметр	Моделювальні характеристики
температура повітря	<ul style="list-style-type: none"> - температура впливає на швидкість розвитку <i>Z. tritici</i>: оптимум +15...20 °С, мінімум +4...6 °С, максимум до +25–28 °С.; - у Поліссі середні +12...18 °С близькі до оптимальних; - потепління на 1–2 °С може скоротити латентний період з приблизно 20 до 14 днів;

	- температури понад 30 °С влітку пригнічують інфекцію та спороутворення, перериваючи епіфітотію;
кількість опадів і режим зволоження (за ГТК по Селянінову)	- для поширення інфекції необхідні ≥ 3 мм опадів або роса, що забезпечує безперервну тургорність та зволоження поверхні листя протягом 36–48 год; - на Поліссі травневі–червневі опади зазвичай 60–80 мм.; - кількість дощових днів і тривалість вологого періоду — ключові для моделювання; - кліматичні зміни спричиняють чергування посух і злив, тож варто враховувати сценарії «вологого» і «сухого» року
відносна вологість повітря (RH)	- проходженню патологічного процесу сприяє висока вологість повітря (> 90%); - у Поліссі нічні тумани й роси часто забезпечують RH до 100%, сприяючи ранковому інфікуванню; - у моделях це враховують через тривалість вологості листя або години з RH >90%; - за таких умов навіть бездощового періоду протягом 2–3 ночей з інтенсивною росю може сприяти виникненню та поширенню патологічного процесу.

У Європі вплив клімату на поширення збудника *Zymoseptoria tritici* істотно диференціюється. Для прикладу у Франції, моделювання фітопатологічних процесів поширення його епіфітотій показує зменшення середнього фітопатогенного навантаження на 2–6% до 2090 р., через зниження вологості [8, с.45-77]. В Північній та Центральній Німеччині спостерігається інша ситуація, зокрема, очікується зростання ураження патогенезу збудника *Zymoseptoria tritici* до 2050 р., особливо в Західних регіонах. Моніторинг у Північній Німеччині засвідчив стабільне зростання інтенсивності ураження збудником *Zymoseptoria tritici* [9, с.67-96]. Підвищення середньодобової температури червня в середньому на 3,1 °С змістило період ризику виникнення та поширення епіфітотій збудника *Zymoseptoria tritici*, а латентний його період скоротився до 18 днів. Кожне підвищення

температури на +1°C збільшує прояв збудника *Zymoseptoria tritici* на добу [10, с. 89-102].

В Україні вплив зростання температур на збудник *Zymoseptoria tritici* має подвійний ефект. З одного боку, теплі зими сприяють виживанню патогену, з іншого - спекотне літо стримує розвиток хвороби [11, с.65-83].

За даними спостережень Інституту захисту рослин НААН України (2023), фіто санітарна та лісопатологічна ситуація в останні роки залишається напруженою, що зумовлено як агролісокліматичними змінами, так і біотичними факторами. Особливої актуальності набуває поширення комплексу грибкової інфекції, зокрема хвороб листового, фотосинтетично-активного апарату рослин. Встановлено, що нерівномірний динамічний розподіл опадів впродовж весняно-літньо-осінньо періоду створює сприятливі умови для розвитку первинної інфекції, а подальші періоди надмірної вологості, значно підсилюють ризики виникнення та поширення епіфітотій збудника *Zymoseptoria tritici*.

Дослідження Chen et al. (2017) показали, що ізоляти збудника *Zymoseptoria tritici* з холодних регіонів були найбільш агресивнішими ніж з теплих, що вказує на певний баланс між термостійкістю й патогенністю. В Німеччині та Франції довгостроковий моніторинг збудника *Zymoseptoria tritici* засвідчив взаємозв'язок розвитку хвороби й погодних змін [12, с.55-76]. Лабораторним шляхом встановлено, що за температурних умов 15–20°C, інкубаційний період становить розвитку та поширення збудника *Zymoseptoria tritici* складав 14–20 днів, а при 10°C, всього 21-28 днів. В такому випадку інфекція поширення збудника *Zymoseptoria tritici* потребує не менше 36–48 годин при тургорно-поверхневому зволоженні листя [13, с.47-93].

Формулювання мети статті та завдань досліджень.

Мета наших досліджень полягає в системному узагальненні й прогнозуванні сучасного стану наукових знань щодо впливу погодно-кліматичних змін на поширення, географічну локалізацію та вірулентність штамів та агресивність збудника септоріозу пшениці озимої в агрокліматичних умовах зони Полісся України, а також виокремлення та параметризація ключових змінних (температурних, вологісних, фенологічних та епіфітотіологічних) для побудови математичних моделей ризику розвитку хвороби й формування на їх основі адаптаційних стратегій захисту культури.

Завдання дослідження передбачали проаналізувати вплив динаміки погодних та кліматичних змін в умовах зони Полісся України на агресивність поширення збудника септоріозу, а також передумови поширення збудника септоріозу, використовуючи науково-інноваційні та агрометеорологічні джерела, узагальнити дані про сучасну морфологію та ареал поширення збудника *Zymoseptoria tritici*, його залежність від параметру температури, вологості повітря та ґрунту, тривалості тургорного стану листа, інших фізіологічних й морфологічних чинників росинних організмів, оцінити динаміку агресивності, вірулентності штамів збудника *Zymoseptoria*, ймовірні зміни його шкодочинності за умов зміни клімату, динаміки різкої зміни кількості опадів, визначити ключові параметри для математично-статистичного моделювання й прогнозу ризику виникнення й поширення епіфітотій збудника *Zymoseptoria tritici* в зоні Полісся України, зокрема, - температури, вологості, фази розвитку рослини-господаря, науково-критично проаналізувати створені раніше наявні моделі прогнозування поширення збудника *Zymoseptoria tritici*, та його стратегії адаптації до селекційних, агротехнічних заходів в контексті використання цифрових геоінформаційних систем (ГІС), а також

дистанційного зондування земної поверхні (ДЗЗ), систематизувати дискусійні аспекти впливу клімату на *Zymoseptoria tritici*, його адаптацію популяцій, ефективність дії комплексу фунгіцидів, коінфекції, асиміляції CO₂, сформулювати перспективні світові напрями досліджень для адаптації сучасних агролісових екосистем зони Полісся України до зростаючих ризиків поширення *Zymoseptoria tritici* в умовах зміни клімату.

Виклад основного матеріалу статті. *Фітопатологічне моделювання та прогнозування розвитку й поширення збудника Zymoseptoria tritici в умовах зони Полісся України.* Слід зауважити, що французька модель Sept'olis прогнозує рівень розвитку, поширення та ураження збудником *Zymoseptoria tritici* за погодинними метеорологічними даними. Моделі ареалів (CLIMEX, MaxEnt) демонструють зміщення зон ризику поширення збудника *Zymoseptoria tritici* на Північ при глобальному потеплінні за умови підвищення середньодобової температури повітря на +2°C. Моделі також враховують щільність розміщення рослин, спосіб підготовки та обробіток ґрунту під посадку культур берези повислої, посів пшениці озимої, ярої, а також стійкість сортів та популяційних форм в умовах природно-кліматичних зон. В умовах Полісся України, переважаючі строки сівби зернових культур (1-а декада вересня), а посадки лісових культур – 1 декада травня. Це призводить до спричинення зараження посівного та посадкового матеріалу ще восени пікноспорами, які в свою чергу є основним джерелом інфекції навесні (таблиця 2).

Параметри та роль фенологічних факторів у моделюванні поширення збудника хвороби *Zymoseptoria tritici* в умовах зони Полісся України (на період до 2050 року)

Параметр моделювання	Моделювальні характеристики
<p>строки сівби та фази розвитку пшениці (посадки культур берези повислої)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - строки сівби (посадки) визначають період сприйнятливості рослин і наявність павлогічного інокулюму; - в зоні Полісся України ранні посіви зернових, посадка лісових культур, можуть спричиняти виникнення та поширення епіфітотій збудника <i>Zymoseptoria tritici</i>, а навесні - активується аскоспоровий інокулюм; - найвразливіша фаза – куціння, вихід у трубку, приживлення. Формування точки росту; - пізня сівба (посадка) культур берези повислої або рання тепла весна звужують осередок поширення інфекції збудника <i>Zymoseptoria tritici</i>
<p>тривалість вегетаційного періоду і фенологічні фази та патологічні індекси ураження</p>	<ul style="list-style-type: none"> - потепління подовжує осінню вегетацію на 2-3 тижні, даючи патогену <i>Zymoseptoria tritici</i> більше часу для спороутворення, що підвищує весняний інокулюм та можливість поширення епіфітотій; - моделі мають враховувати додаткові генерації та суму активних температур (250 °С·днів) для прогнозу симптомів поширення епіфітотій збудника <i>Zymoseptoria tritici</i>.

За даними звіту IPCC (2021), прогнозується суттєве підвищення температури в Східній Європі на +1,5, +2°C до 2050 р., й на 3+°C до 2050 р. (IPCC, 2021). Очікується зменшення кількості літніх опадів, посилення тривалих посух та зростання гідротермічного стресу рослин. Для прогнозування поширення епіфітотій збудника *Zymoseptoria tritici*, доцільно використовувати змінені температурні ряди та гідротермічні коефіцієнти, в тому числі як базовий ГТК за Селяніновим. Наприклад,

сценарій за 2040-ві роки повинен враховуватись за мови потепління в березні-травні та зменшення вологості в червні, враховуючи погодні екстремуми (таблиця 3).

Таблиця 3

Роль біологічних факторів у моделюванні та характерні значення

Параметр моделювання	Моделльні характеристики
джерела інокулюму (рослинні рештки, насіння, порубкові залишки)	- основне джерело інфекції інокулюма - післяжнивні рештки з псевдотеціями, що у вологому Поліссі зберігаються до 2 років, порубкові залишки та обпале листя берези повислої; - перенесення спор збудника <i>Zymoseptoria tritici</i> з інших полів, прилеглих лісоруб очних ділянок, мінімальне насіннєве зараження. Початкова інфекція в моделях враховує зараження біологічного матеріалу минулого сезону.
інкубаційний (латентний) період і спороношення патогену	- латентний період <i>Z. tritici</i> змінюється з температурою +10 °С до 20-25 днів; з 15 °С до 20 днів; з 20 °С до 14 днів; - спороношення збудника <i>Zymoseptoria tritici</i> найбільше за оптимальних умов (до 1000-2100 спор/добу), але може знижуватись при настанні спеки або тривалій посуші. Це визначає генерацію інфекції за сезон.

Оцінка ризику збудника *Zymoseptoria tritici* може базуватися на простій комбінації погодних критеріїв: температура ≥ 14 °С, опади ≥ 15 мм за 3 дні, вологість ≥ 90 % та тургорне зволоження листя ≥ 36 год. При одночасній наявності цих умов, прогнозується висока ймовірність епіфітотії та поширення в агролісових екосистемах збудника *Zymoseptoria tritici*. За даними науковців (Adamenko, 2018, Ecoaction, 2025), селекція має бути орієнтована на сорти, форми, гібридні комбінації рослинних організмів, що поєднують резистентність до дії несприятливих факторів навколишнього середовища, а також стійкість до дії збудника збудника *Zymoseptoria tritici*. Встановлено, що окремі гени стійкості втрачають ефективність при настанні потепління

(Gouache et al., 2013). Серодіагностика сортів злакових (тонконогових) культур, а також зпили берези повислої віком 35-45 років у змодельованих умовах дає реальну змогу відібрати найстійкіші генотипи рослинних організмів. Тому на сучасному етапі існує потреба у розробці локальних перспективних моделей прогнозу ризику виникнення та поширення епіфітотій збудника *Zymoseptoria tritici* для зони Полісся України з врахуванням погодних закономірностей та агротехніки вирощування (таблиця 4).

Таблиця 4

Параметри та роль агротехнічних факторів у моделюванні ризику поширення збудника *Zymoseptoria tritici* в умовах зони Полісся України

Параметр моделювання	Моделльні характеристики
сорт пшениці за стійкістю, лісоутворююча порода	<ul style="list-style-type: none"> - стійкі сорти (лісові породи) знижують ймовірність ураження, подовжують латентний період, зменшують спороношення збудника <i>Zymoseptoria tritici</i>. - в зоні Полісся України переважають сорти тонконогових рослин, (лісоутворюючі породи на прикладі берези повислої), з помірною стійкістю, що в запропонованих моделях враховується як зниження виникнення та поширення інфекції збудника <i>Zymoseptoria tritici</i>. - в сприятливому для розвитку осередків епіфітотій збудника <i>Zymoseptoria tritici</i> кліматі, їх роль у прогнозах виникнення та поширення епіфітотій суттєво зростає.
сівозміна та обробіток (підготовка) ґрунту	<ul style="list-style-type: none"> - монокультура та no-till сприяють суттєвому накопиченню інфекції збудника <i>Zymoseptoria tritici</i>, особливо в умовах вологого клімату зони Полісся України; - оранка й сівозміна знижують ризики виникнення та появи осередків збудника <i>Zymoseptoria tritici</i>; - загущені посіви формують вологий мікроклімат і пришвидшують ризики виникнення та поширення епіфітотій

	<p>збудника <i>Zymoseptoria tritici</i>;</p> <ul style="list-style-type: none"> - в запропонованих моделях враховують обробіток ґрунту, його підготовку під посадку лісових культур, попередник для сільськогосподарських культур, а також його щільність.
<p>застосування засобів захисту рослин</p>	<ul style="list-style-type: none"> - фунгіциди зменшують накопичення інфекції збудника <i>Zymoseptoria tritici</i>, проте їх ефективність залежить від погодних умов: опади можуть знижують ефективність дію препарату, а посуха зменшує кількість обробок; - в запропонованих моделях враховується застосування засобів захисту рослин як ефект з варіативною ефективністю; - з огляду на посилення агресивності збудника <i>Zymoseptoria tritici</i> та можливу його резистентність, доцільно передбачати кілька сценаріїв захисту рослин.

У дослідженні Chaloner, Gurr і Vebber (2016) проведено глобальний аналіз ризиків інфекційних уражень сільськогосподарських культур патогенами в умовах зміни клімату. Автори побудували карту інфекційного навантаження патогенів рослин з урахуванням кліматичних сценаріїв та основних зон вирощування ключових сільськогосподарських та лісових культур. Серед іншого, вони розглянули і ризики розвитку збудника *Zymoseptoria tritici*, вказуючи на потенційне зростання агресивності патогену у відповідь на підвищення температури та концентрації CO₂ в атмосфері. Результати досліджень вказують, що *Zymoseptoria tritici* залишається одним із найбільш чутливих до кліматичних змін захворювань пшениці та берези повислої, оскільки його розвиток тісно пов'язаний із мікрокліматом (вологість, температура, фотоперіод). Підвищення рівнів концентрації CO₂ до 2-4% може впливати на ризик виникнення та поширення інфекції через зміни у морфології листя, густоті рослин і динаміці газообміну, що всвою чергу створює сприятливі умови для утворення осередків епіфітотій патогену *Zymoseptoria tritici*. Зміна клімату може

змістити ареал поширення збудника STB на північні широти, зокрема в регіонах із помірним кліматом, що включає Полісся України.

Нашими дослідженнями встановлено, що ризики виникнення патогенезу збудника *Zymoseptoria tritici* узгоджуються з основними зонами вирощування сільськогосподарських культур та лісової рослинності зони Полісся України у глобальному масштабі. Отже, за сценаріями RCP, підвищення температури і концентрації CO₂ до 2-4% викликає високі ризики виникнення та поширення збудника *Zymoseptoria tritici*. Цей фактор має бути враховано при створенні моделей прогнозування захворюваності, особливо в межах стратегій адаптації агролісосистем до змін умов змін клімату.

Враховуючи виявлені закономірності впливу кліматичних чинників на динаміку розвитку збудника септоріозу пшениці та берези повислої в умовах зони Полісся України, доцільно візуалізувати взаємозв'язки між основними факторами ризику у вигляді узагальненої схеми. Така структурна модель дозволяє наочно представити роль температури, вологості, рівня концентрації CO₂, частоти погодних екстремумів та їхнього синергетичного впливу на формування мікроклімату, рослинного пологу й загальне фітопатогне навантаження. Нами розроблена схема, що наявно ілюструє специфічні сезонні осередки ризику збудника *Zymoseptoria tritici* для зони Полісся України, яка має ключове значення для адаптації систем прогнозування й розробки заходів захисту культур та лісових насаджень (рис. 1).

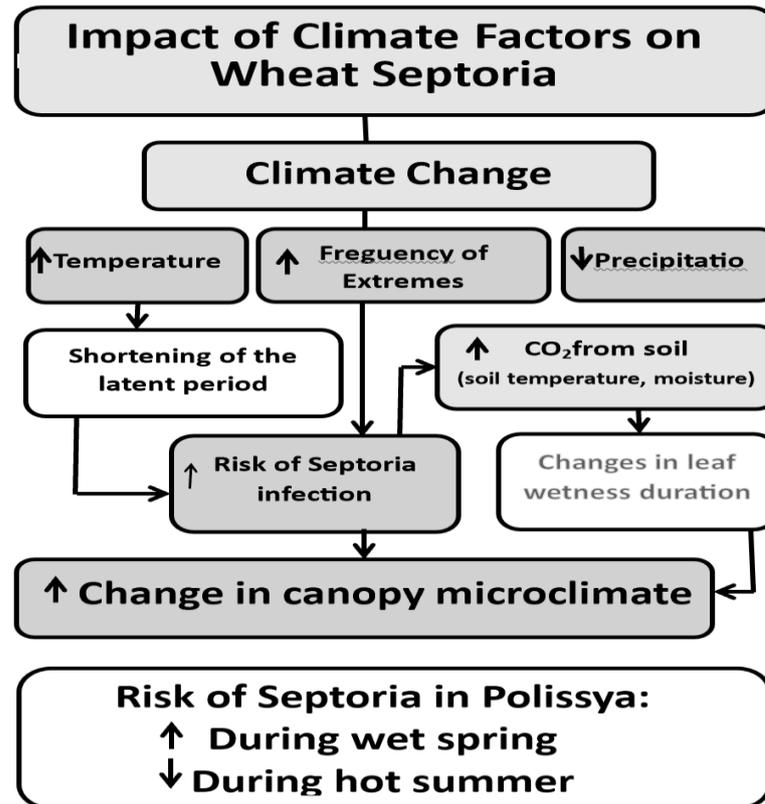


Рис. 1 Структурно-логічна схема оцінки впливу погодно-кліматичних факторів на розвиток збудника *Zymoseptoria tritici* в умовах сучасних кліматичних змін зони Полісся України

З огляду на вище викладене існує нагальна потреба вдосконалення системи прогнозування, а також розширення мережі агролісометеостанцій, впровадження сенсорів вологості, використання супутникового моніторингу і короткострокового прогнозування стану погодно-кліматичних умов зони Полісся України. Слід зазначити, що в країнах Європи такі системи вже функціонують, тоді як в Україні збудник *Zymoseptoria tritici* досі не інтегровано в цифрові моделі. На основі проведених досліджень нами розроблено критерії для оперативного моделювання виникнення ризику поширення хвороби септоріозу для умов зони Полісся України (таблиця 5).

Таблиця 5

Фактори моделювання ризику виникнення та поширення збудника *Zymoseptoria tritici* в умовах зони Полісся України (на період до 2050 року)

Критерій моделювання	Оптимальний діапазон	Критичні умови / межі	Тип інтеграції в модель
Температура повітря (°C)	15–25 °C	< 12 °C або >30 °C - розвиток гальмується	Обмеження (Tmin, Tmax)
Відносна вологість повітря (RH, %)	≥ 90%	< 80% - низький ризик інфекції	Порогове значення (RH_crit)
Кількість опадів за 3 доби (мм)	≥ 15–20 мм	< 10 мм - інфекція малоімовірна	Короткостроковий тригер (Rsum_3d)
Тривалість вологості та тургор листя (год)	≥ 36–48 год	< 20 год - інфекція не виникає	Кумулятивний критерій (LeafWet_hours)
Кількість днів у діапазоні 15–25 °C	≥ 10 днів	< 5 днів - обмежений розвиток	Періодичне вікно ризику (T_days_window)
Середня температура весни (°C)	≥ 14 °C	< 12 °C - пізній старт епіфітотії	Сезонний тригер (T_spring_avg)
Концентрація CO ₂ (ppm) (вимірний)	400-450 ppm	> 700 ppm може підвищувати агресивність	Корекційний коефіцієнт (CO ₂ _adj)
Інкубаційний період збудника (днів)	14–20 днів при t°C ≈ 20	>28 днів при t <10 °C	Темп розвитку (інверсна функція від t°C)

Фенологічна фаза розвитку рослин (ВВСН)	ВВСН 37-39 (прапорцевий лист)	До ВВСН 31 - мінімальна вразливість	Біологічне вікно (ВВСН_range)
--	----------------------------------	---	----------------------------------

В контексті кліматичних змін, та їх впливу на збудник *Zymoseptoria tritici* на сьогодні залишається суттєвою загрозою для врожайності та продуктивності як сільськогосподарських культур в контексті пшениці озимої, так й продуктивності березових деревостанів на території зони Полісся України. Розвиток збудника *Zymoseptoria tritici* зумовлюється взаємодією факторів температури та вологості повітря, а також ефективністю адаптаційних заходів. В умовах динамічної мінливості клімату конче необхідно формувати локальні математичні моделі прогнозу ризику поширення, адаптованості до сучасних погодно-кліматичних умов і прогнозування оперативних погодних сценаріїв в сучасних екологічних умовах зони Полісся України.

Висновки та перспективи подальших досліджень у цьому напрямку.

1. За результатами досліджень систематизовано сучасні наукові підходи до оцінювання ризиків виникнення, розвитку та поширення збудника септоріозу *Zymoseptoria tritici* в агролісокліматичних умовах зони Полісся України в контексті кліматичних змін.

2. Приділено увагу та проведено ідентифікацію та кількісну параметризацію абіотичних, біотичних і фенологічних чинників, що визначають динаміку патологічного процесу збудника *Zymoseptoria tritici*, з метою їх інтеграції у формалізовані прогностичні моделі.

3. Сформовано обмежувальну систему змінних для побудови регіональних математичних моделей ризику епіфітотій виникнення та поширення збудника *Zymoseptoria tritici* в умовах зони Полісся України в контексті змін клімату.

4. Встановлено зміщення осередку виникнення критичного ризику на ранньовесняний період, що пов'язано з підвищенням середньої

температури повітря березня–травня до ≥ 14 °C. Одночасно, зростання частоти літніх спекотних днів ($t > 30$ °C) обмежує розвиток збудника *Zymoseptoria tritici* у другій половині вегетації. На нашу думку це вимагає оновлення сезонної структури прогнозованих моделей ризику.

5. Визначено ключові абіотичні тригери запуску патологічного процесу виникнення та поширення збудника *Zymoseptoria tritici*, а саме: температура повітря +15, +25 °C, відносна вологість $\geq 90\%$, сума опадів ≥ 15 –20 мм за 3 доби, тривалість зволоження листя ≥ 36 –48 год, а також кумулятивна умова – не менше 10 діб в оптимальному температурному діапазоні. Ці параметри систематизовано у табличну модельну структуру для подальшого програмного застосування.

6. Дослідженнями підтверджено, що скорочення латентного періоду при підвищенні температури до +14, +20 °C зменшує інкубаційний період до 14–20 діб, що в свою чергу сприяє формуванню додаткових генерацій збудника *Zymoseptoria tritici*. Це в свою чергу підвищує ризик виникнення ранньовесняних епіфітотій.

7. Встановлено, короткостроковий метеотрігер ризику виникнення осередку епіфітотії збудника *Zymoseptoria tritici*, а саме: середня температура $\geq +14$ °C у поєднанні з опадами ≥ 12 мм протягом 48 год. Цей підхід дозволяє оперативно підключати погодні прогнози до систем попередження у виробничих агросистемах.

8. Визначено обмеження типових європейських моделей, зокрема завищене значення межі тривалості зволоження (≥ 48 год) та відсутність урахування кумулятивної температурної динаміки. Це знижує точність прогнозів для умов зони Полісся України. Необхідна локалізація моделей з урахуванням регіональної кліматичної специфіки.

9. Обґрунтовано необхідність перспективних дослідницьких напрямів: моніторинг термостійкості популяцій *Z. tritici*; моделювання

ко-інфекцій із супутніми патогенами; селекційна оцінка сортів за подвійною стійкістю до *Zymoseptoria tritici* та до теплового стресу.

10. Сформовано базову матрицю змінних для моделювання виникнення та поширення ризику збудника *Zymoseptoria tritici*, що включає 9 параметрів: температуру повітря, відносну вологість повітря, кількість опадів, тривалість зволоження, середню температуру весни, кількість діб в оптимальному температурному діапазоні, фазу розвитку рослин, інкубаційний період, а також концентрацію CO₂ (з урахуванням можливого підвищення агресивності при >700 ppm). Ця система може бути адаптована для моделей типу DSS, CLIMEX та гібридних цифрових платформ.

Література:

1. Adamenko, T. (2018). Глобальне потепління може перетворити Полісся у Степ. Superagronom. <https://superagronom.com/news/4174-globalne-poteplinnya-moje-peretvoriti-polissyia-u-step--adamenko>. 214 p.

2. Chen, F., Duan, G.-H., Li, D.-L., & Zhan, J. (2017). Host Resistance and Temperature-Dependent Evolution of Aggressiveness in the Plant Pathogen *Zymoseptoria tritici*. *Frontiers in Microbiology*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01217> 211 p.

3. Gouache, D., Baccar, R., Brun, F., et al. (2013). Modelling climate change impacts on disease pressure: The example of Septoria leaf blotch in winter wheat in France. *Global Change Biology*, 19 (7). <https://doi.org/10.1111/gcb.12218>. 320 p.

4. Gouache, D., Bensadoun, A., Brun, F., Pagé, C., Makowski, D., & Wallach, D. (2013). Modelling climate change impact on Septoria tritici blotch (STB) in France: Accounting for climate model and disease model uncertainty. *Agricultural and Forest Meteorology*. Retrieved from ResearchGate:

https://www.researchgate.net/publication/225081728_Modelling_climate_change_impact_on_Septoria_Tritici_Blotch_STB_in_France_Accounting_for_climate_model_and_disease_model_uncertainty. 252 p.

5. IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report. Cambridge University Press. 134 p.

6. Eljarj, S., Hlaing, M. M., Alshehri, M. A., Algarni, M. A., & Alghamdi, A. I. (2023). Impact of climate change on plant diseases: A review of causal mechanisms, implications and adaptation strategies. *Frontiers in Plant Science*, 13, 9877539. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.9877539>. 216 p

7. Juroszek, P., & von Tiedemann, A. (2013). Climate change and potential future risks through wheat diseases: a review. *European Journal of Plant Pathology*, 136 (1), p. 21–33. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0144-9> 184 p.

8. Miedaner, T., & Juroszek, P. (2021). Climate change will influence disease resistance breeding in wheat in Northwestern Europe. *Theoretical and Applied Genetics*, 134. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03785-7>. 189 p.

9. Ponomarenko, A., Goodwin, S. B., & Kema, G. H. J. (2011). *Septoria tritici blotch of wheat*. The Plant Health Instructor. <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2011-0407-01>. 203 p.

10. Prah, K. C., Klink, H., Hasler, M., Verreet, J.-A., & Birr, T. (2023). Will Climate Change Affect the Disease Progression of *Septoria Tritici* Blotch in Northern Europe *Agronomy*, 13 (4), 105 p. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041005> 134 p

11. Baccar, R., Fournier, C., Dornbusch, T., Andrieu, B., Gouache, D., & Robert, C. (2011). Modelling the effect of wheat canopy architecture as affected by sowing density on *Septoria tritici* epidemics using a coupled

epidemic–virtual plant model. *Annals of Botany*, 108(6), 1179–1194. DOI:10.1093/aob/mcr126. 231 p.

12. Suffert, F., Sache, I., & Lannou, C. (2010). Early stages of *Septoria tritici* blotch epidemics of winter wheat: Build-up, overseasoning, and release of primary inoculum. *Plant Pathology*, 60 (2). <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02369>. 177 p.

13. FAO. (2021). Wheat diseases and climate resilience: Adapting crop protection to future risks. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/publications>. 211 p.

14. Ecoaction. (2025, May 16). Climate change in Ukraine and the world: Causes, consequences, and solutions. Ecoaction Center for Environmental Initiatives. <https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html>. 134 p.

15. Інститут захисту рослин НААН України. (2023). Оперативна інформація щодо фітосанітарного стану посівів сільськогосподарських культур в Україні на 22 червня 2023 р. <https://ipp.gov.ua/wp-content/uploads/220623.doc>. 242 с.

16. Chaloner, T. M., Gurr, S. J., & Bebber, D. P. (2016). Plant pathogen infection risk tracks global crop yields under climate change. *Global Change Biology*, 22(11), <https://doi.org/10.1111/gcb.12899> 162 p.

References:

1. Adamenko, T. (2018). Hlobalne poteplinnia mozhe peretvoryty Polissia u Step. Superagronom. <https://superagronom.com/news/4174-globalne-poteplinnya-moje-peretvoriti-polissya-u-step--adamenko>. 214 p. [in English].

2. Chen, F., Duan, G.-H., Li, D.-L., & Zhan, J. (2017). Host Resistance and Temperature-Dependent Evolution of Aggressiveness in the Plant

Pathogen *Zymoseptoria tritici*. *Frontiers in Microbiology*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01217> 211 p. [in English].

3. Gouache, D., Baccar, R., Brun, F., et al. (2013). Modelling climate change impacts on disease pressure: The example of *Septoria* leaf blotch in winter wheat in France. *Global Change Biology*, 19 (7). <https://doi.org/10.1111/gcb.12218>. 320 p. [in English].

4. Gouache, D., Bensadoun, A., Brun, F., Pagé, C., Makowski, D., & Wallach, D. (2013). Modelling climate change impact on *Septoria tritici* blotch (STB) in France: Accounting for climate model and disease model uncertainty. *Agricultural and Forest Meteorology*. Retrieved from ResearchGate:

https://www.researchgate.net/publication/225081728_Modelling_climate_change_impact_on_Septoria_Tritici_Blotch_STB_in_France_Accounting_for_climate_model_and_disease_model_uncertainty. 252 p. [in English].

5. IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report*. Cambridge University Press. 134 p. [in English].

6. Eljarj, S., Hlaing, M. M., Alshehri, M. A., Algarni, M. A., & Alghamdi, A. I. (2023). Impact of climate change on plant diseases: A review of causal mechanisms, implications and adaptation strategies. *Frontiers in Plant Science*, 13, 9877539. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.9877539>. 216 p

7. Juroszek, P., & von Tiedemann, A. (2013). Climate change and potential future risks through wheat diseases: a review. *European Journal of Plant Pathology*, 136 (1), p. 21–33. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0144-9> 184 p. [in English].

8. Miedaner, T., & Juroszek, P. (2021). Climate change will influence disease resistance breeding in wheat in Northwestern Europe. *Theoretical and Applied Genetics*, 134. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03785-7>. 189 p. [in English].

9. Ponomarenko, A., Goodwin, S. B., & Kema, G. H. J. (2011). *Septoria tritici* blotch of wheat. *The Plant Health Instructor*. <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2011-0407-01>. 203 p. [in English].

10. Prah, K. C., Klink, H., Hasler, M., Verreet, J.-A., & Birr, T. (2023). Will Climate Change Affect the Disease Progression of *Septoria Tritici* Blotch in Northern Europe *Agronomy*, 13 (4), 105 p. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041005> 134 p. [in English].

11. Baccar, R., Fournier, C., Dornbusch, T., Andrieu, B., Gouache, D., & Robert, C. (2011). Modelling the effect of wheat canopy architecture as affected by sowing density on *Septoria tritici* epidemics using a coupled epidemic–virtual plant model. *Annals of Botany*, 108(6), 1179–1194. DOI:10.1093/aob/mcr126. 231 p. [in English].

12. Suffert, F., Sache, I., & Lannou, C. (2010). Early stages of *Septoria tritici* blotch epidemics of winter wheat: Build up, overseasoning, and release of primary inoculum. *Plant Pathology*, 60 (2). <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02369>. 177 p. [in English].

13. FAO. (2021). *Wheat diseases and climate resilience: Adapting crop protection to future risks*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/publications>. 211 p. [in English].

14. Ecoaction. (2025, May 16). *Climate change in Ukraine and the world: Causes, consequences, and solutions*. Ecoaction Center for Environmental Initiatives. <https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html>. 134 p. [in English].

15. Instytut zakhystu roslyn NAAN Ukrainy. (2023). *Operatyvna informatsiia shchodo fitosanitarnoho stanu posiviv silskohospodarskykh kultur v Ukraini na 22 chervnia 2023 r.* <https://ipp.gov.ua/wp-content/uploads/220623.doc>. 242 s. [in Ukrainian].

16. Chaloner, T. M., Gurr, S. J., & Bebber, D. P. (2016). Plant pathogen infection risk tracks global crop yields under climate change. *Global Change Biology*, 22(11), <https://doi.org/10.1111/gcb.12899> 162 p. [in English].

Citation: Petro Trofymenko, Nadiya Trofymenko, Valery Levchenko, Hryhoriy Machulsky, Alla Romanyuk, Oleksandr Pinchuk, Yaroslav Fuchylo, Ulyana Kotlyarevska, Svitlana Hornovska (2025). SCIENTIFIC AND ANALYTICAL SUBSTITUTION OF PARAMETERS OF RISK MODELS OF THE OCCURRENCE AND SPREAD OF THE CAUSANT OF SEPTORIOSIS (*Septoria tritici* blotch, STB) ON THE EXAMPLE OF WINTER WHEAT IN UKRAINE AND EUROPE IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE DYNAMICS BY 2050. New York. TK Meganom LLC. *Innovative Solutions in Modern Science*. 5(69). doi: 10.26886/2414-634X.5(69)2025.1

Copyright: Petro Trofymenko, Nadiya Trofymenko, Valery Levchenko, Hryhoriy Machulsky, Alla Romanyuk, Oleksandr Pinchuk, Yaroslav Fuchylo, Ulyana Kotlyarevska, Svitlana Hornovska ©. 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.