

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ ТА ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО

УДК 635.21:632(477.41/.42)

**ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ СЕЗОННОГО РОЗВИТКУ
АЛЬТЕРНАРІОЗУ КАРТОПЛІ В ПОЛІССІ УКРАЇНИ**

В. М. Положенець,

доктор сільськогосподарських наук, професор
(Національний університет біоресурсів та природокористування України)

Л. В. Немерицька,

кандидат біологічних наук, доцент

І. А. Журавська,

кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач

А. А. Романюк,

викладач спеціальних дисциплін

В. В. Мельничук,

викладач спеціальних дисциплін

Н. І. Ходаківська,

викладач спеціальних дисциплін
(Житомирський агротехнічний коледж)

*Розроблено математичні моделі для прогнозування розвитку альтернаріозу картоплі, які пов'язують рівень його розвитку з середньодобовою температурою та вологістю повітря в липні-серпні, часткою штаму M-30 гриба *Alternaria solani*, рівнем розвитку хвороби за два попередні роки. Здійснено об'єднання результатів прогнозування за усіма зазначеними предикторами, що дозволяє зменшувати похибку прогнозу. На основі вирішення завдання прогнозування розвитку альтернаріозу для Полісся України розроблено загальний підхід до такого прогнозування для будь-якого заданого району вирощування картоплі.*

Ключові слова: картопля, альтернаріоз, прогнозування, розвиток, Полісся України, математичне моделювання.

Постановка проблеми. Альтернаріоз (рання суха плямистість) є широко розповсюдженою хворобою картоплі в Україні. Втрати врожаю в сприятливі для цієї хвороби роки сягають 40 %. Збудниками альтернаріозу картоплі є два види грибів роду *Alternaria*: *Alternaria solani* (Ell. et Mart.) та *Alternaria alternata* Keissler [1, с. 1]. Одним із основних шляхів зменшення втрат врожаю від

альтернаріозу є хімічний метод на основі використання відповідних фунгіцидів [2, с. 24]. Але інтенсивність їх використання кожного року необхідно адаптувати, оскільки ураження картоплі альтернаріозом у різні роки коливається досить суттєво (до 9,5 разів). Тому якісне вирішення завдання захисту картоплі від альтернаріозу неможливе без прогнозування розвитку цієї хвороби, яке дозволяє визначати оптимальні строки та об'єми проведення обробок. Таким чином, розроблення методів прогнозування розвитку альтернаріозу картоплі є важливим та актуальним науково-практичним завданням, вирішення якого дозволить оптимально використовувати фунгіциди, забезпечувати максимальне збереження врожаю при мінімальному об'ємі хімічних обробок та шкоді навколишньому середовищу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час публікацій, у яких безпосередньо вирішуються завдання щодо прогнозування рівня розвитку альтернаріозу картоплі в поточному році, не відомо. Дослідження з прогнозування ураження картоплі цією хворобою [3, с. 110] ґрунтуються на штучному зараженні та відділенні листків від рослини, тому їх результати не зовсім відповідають сутності розглянутої задачі. Відомі підходи до прогнозування розвитку фітофторозу [4, с. 92] не можуть бути безпосередньо використані для альтернаріозу, оскільки між їх збудниками є істотні відмінності. Прогнозування захворювань деяких овочевих культур на основі математичного моделювання [5, с. 362] безпосередньо для альтернаріозу картоплі не виконувалось. У найбільш узагальнених працях з альтернаріозу картоплі [6, с. 125; 7, с. 296] зазначено про рівномірність наростання цієї хвороби та вплив ряду предикторів на її розвиток, проте порядок їх практичного використання для прогнозування не досліджено, відповідні методики прогнозування відсутні.

Розвиток альтернаріозу також суттєво залежить від кліматичних, агротехнічних, фітосанітарних та інших умов, що призводить до появи специфічних особливостей патогена на конкретний момент часу в кожному регіоні вирощування картоплі, зокрема й у Поліссі України. Відповідно, задача прогнозування розвитку альтернаріозу має конкретний розв'язок лише щодо заданого району вирощування. Всебічні дослідження альтернаріозу картоплі в Поліссі України [8, с. 57] також не містять питань щодо прогнозування рівня його розвитку в поточному році.

Мета досліджень. Не вирішеною раніше частиною загальної проблеми є прогнозування рівня розвитку альтернаріозу картоплі в умовах Полісся України. Відповідно, метою досліджень є розв'язання задачі такого прогнозування на основі обґрунтування предикторів, від яких залежить рівень розвитку альтернаріозу картоплі в поточному році.

Результати досліджень. Перевіримо спочатку гіпотезу про залежність рівня розвитку альтернаріозу картоплі від дати його появи в поточному році. Для цього узагальнимо всі наявні дані про ці два параметри відповідно до найбільшого безперервного (1968-2002 рр.) статистичного ряду з цього захворювання (рис. 1).

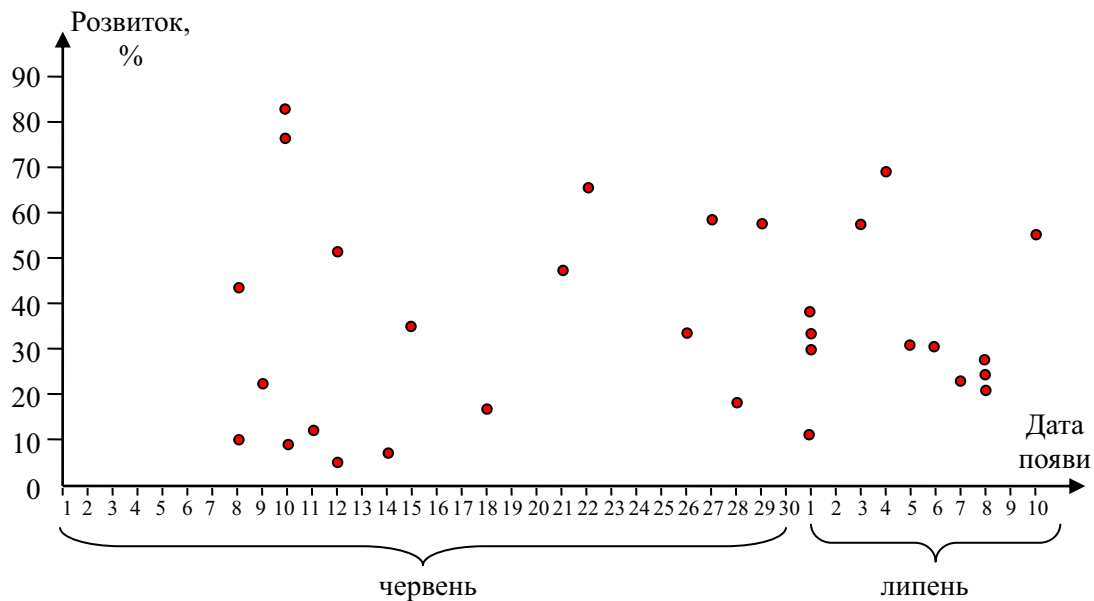


Рис. 1. Залежність розвитку альтернаріозу від дати його появи

Аналіз рис. 1 показує, що статистична залежність між наведеними предикторами відсутня. Наприклад, при появі 10 червня в різні роки розвиток хвороби коливається від 10 до 85 %. Таким чином, можна стверджувати, що задачі прогнозування появи та розвитку альтернаріозу є окремими і непов'язаними між собою, оскільки статистичний зв'язок між датою появи альтернаріозу та його розвитком у цьому році відсутній.

При обґрунтуванні основних предикторів, які впливають на рівень розвитку альтернаріозу картоплі в поточному році визначено, що основними такими предикторами, як і традиційно для більшості грибних хвороб рослин [9, с. 352], є: середня температура повітря липня-серпня – $t_{\text{лс}}$; середня відносна вологість повітря липня-серпня – $w_{\text{лс}}$; кількість короточасних опадів у липні-серпні – $d_{\text{лс}}$.

Тип та гранулометричний склад ґрунту, кислотність середовища також певним чином впливають на рівень розвитку альтернаріозу. Але, оскільки дослідження виконуються в межах окремого регіону (Полісся України), то цей вплив опосередковано враховується тим, що взаємозв'язок між розвитком хвороби встановлюватиметься для значень параметрів ($t_{\text{лс}}$, $w_{\text{лс}}$, $d_{\text{лс}}$), отриманих саме для цього району вирощування картоплі.

Відповідно до зазначеного вище переліку параметрів здійснено узагальнення наявних початкових даних щодо прогнозування рівня розвитку альтернаріозу картоплі в умовах Полісся України.

Для аналізу взаємозв'язків між рівнем розвитку альтернаріозу картоплі та предикторами, які на неї впливають, побудовано відповідні графічні залежності, що зображено на рис. 2.

Як видно з рис. 2.а (залежність рівня розвитку альтернаріозу від середньодобової температури повітря в липні-серпні), альтернаріоз

сильніше розвивається в роки з теплішим літом. Такий результат також опосередковано підтверджується тим, що збудник *Alternaria solani* є досить теплолюбним, оптимальна температура для його розвитку становить +22–29 ° С. Висока (більше 80 %) середньодобова вологість повітря влітку приводить до слабшого розвитку альтернаріозу (рис. 2.б), що також пов'язано з оптимальним діапазоном вологості для збудника *Alternaria solani*, який становить 70–80 %. Можна розгледіти невеликий прямий зв'язок між рівнем розвитку альтернаріозу картоплі та кількістю короткочасних опадів у липні-серпні (рис. 1.в), але статистична залежність між ними є досить слабкою (точки розподілені майже випадково, а не навколо якоїсь кривої). Отже, здійснювати надійний прогноз рівня розвитку альтернаріозу картоплі за залежністю $P(d_{\text{лс}})$ неможливо, тому в подальшому такий предиктор враховувати недоцільно.

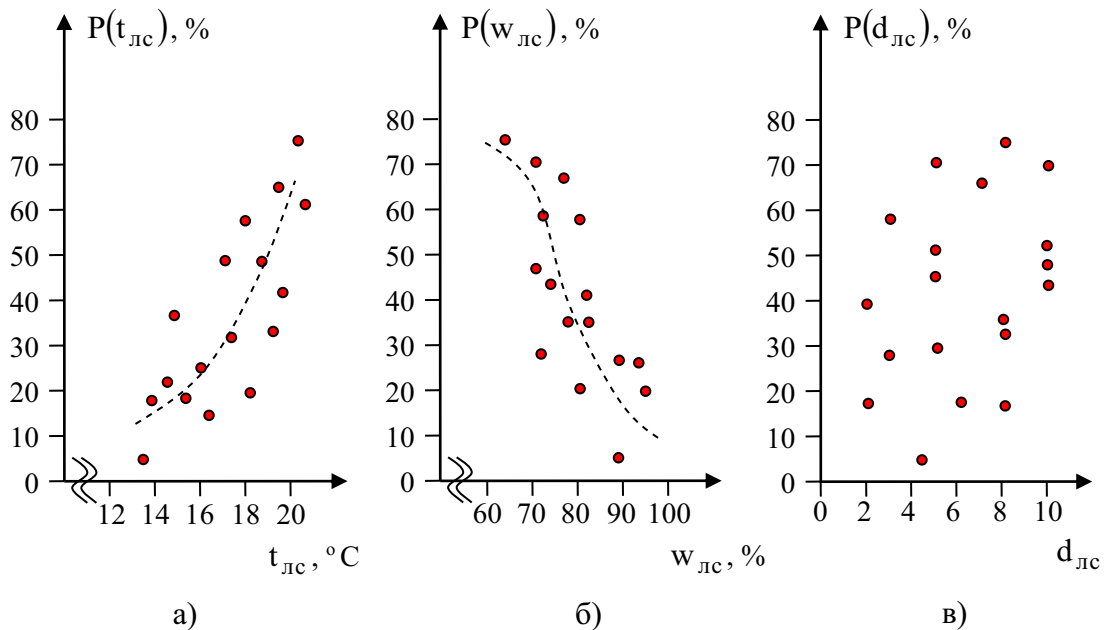


Рис. 2. Залежність рівня розвитку альтернаріозу картоплі від впливу чинників (1970–2011 рр. з розривами)

Аналіз рис. 2.а та 2.б також свідчить, що отримані дві залежності відрізняються від лінійних, тому для їх апроксимації неможливо використовувати лінійну регресію. У даному разі доцільно застосовувати поліноміальну регресію. Для залежності $P(t_{\text{лс}})$ достатньо використовувати поліном 2-го ступеня (наявна одна точка перегину), а для $P(w_{\text{лс}})$ – 3-го (дві точки перегину) [10, с. 416]. У результаті зазначеної апроксимації методом найменших квадратів [11, с. 124] отримаємо функції, які показано на рис. 2.а і 2.б пунктирними кривими та аналітично описуються таким чином:

$$P(t_{\text{лс}}) = 0,98t_{\text{лс}}^2 - 25,05t_{\text{лс}} + 172,25, \quad (1)$$

$$P(w_{\text{лс}}) = 0,003w_{\text{лс}}^3 - 0,69w_{\text{лс}}^2 + 51,38w_{\text{лс}} - 1159,42. \quad (2)$$

Окрім зазначених вище, “традиційних” для більшості грибних хвороб рослин, в ході аналізу відповідної літератури було додатково виявлено ще й специфічні предиктори, які впливають на розвиток тільки альтернаріозу, а саме: частка штаму М-30 гриба *Alternaria solani*; рівень розвитку альтернаріозу за два попередні роки.

Щодо першого специфічного предиктора, то на даний час у Європі обґрунтовано наявність п’яти штамів гриба *Alternaria solani* (М-10, М-30, М-40, М-69, М-78), з яких найбільш високоагресивним є М-30. Графічне відображення статистичного взаємозв’язку між рівнем розвитку альтернаріозу в поточному році та часткою штаму М-30 (m_{30}) показано на рис. 3.

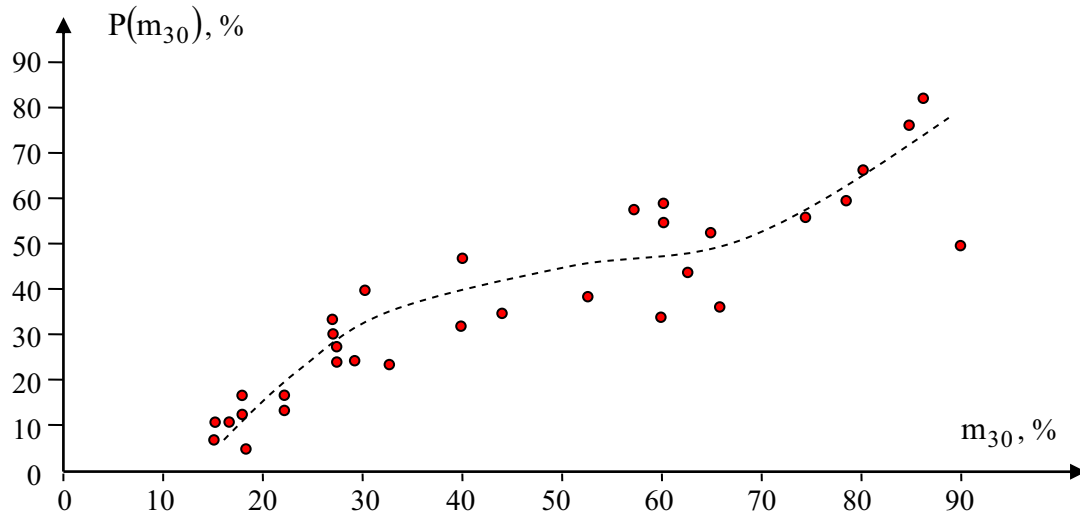


Рис. 3. Залежність розвитку альтернаріозу від частки раси М-30 гриба *Alternaria solani* (1968-2002 рр.)

Аналіз рис. 3 показує, що існує пряма і досить стійка статистична залежність між розвитком альтернаріозу та часткою штаму М-30 гриба *Alternaria solani*. Дана залежність є нелінійною з двома точками перегину, тому для її апроксимації слід застосовувати регресію поліномом 3-го ступеня, у результаті чого отримаємо:

$$P(m_{30}) = 0,0007m_{30}^3 - 0,11m_{30}^2 + 5,53m_{30} - 56,57. \quad (3)$$

Вплив рівня розвитку альтернаріозу за попередні роки на його прояв у поточному році дослідимо на основі найбільшого безперервного (1968-2002 рр.) статистичного ряду [7] з цього захворювання (рис. 4).

Аналіз рис. 4 показує, що розвитку альтернаріозу не притаманна циклічність, оскільки епіфітотії цієї хвороби через однакову кількість років не повторюються. Отже, рис. 4 доводить, відсутність циклічності прояву альтернаріозу, яка характерна для деяких інших захворювань сільськогосподарських культур.

Будь-яких фундаментальних залежностей та висновків з рис. 4 отримати не можливо, окрім того, що епіфітотії альтернаріозу, як правило повторюються у двох сусідніх роках. Тобто, у рік, який слідує за епіфітотійним, більш ймовірним є повторення епіфітотії. Для отримання математичної моделі такого взаємозв’язку

необхідно використовувати функцію двох змінних – рівня розвитку, який спостерігався раніше на 1 рік (P_1) та на 2 роки (P_2). Апроксимація залежності $P(P_1, P_2)$ на основі даних, наведених на рис. 4, за допомогою кубічних сплайнів [11] має такий вигляд:

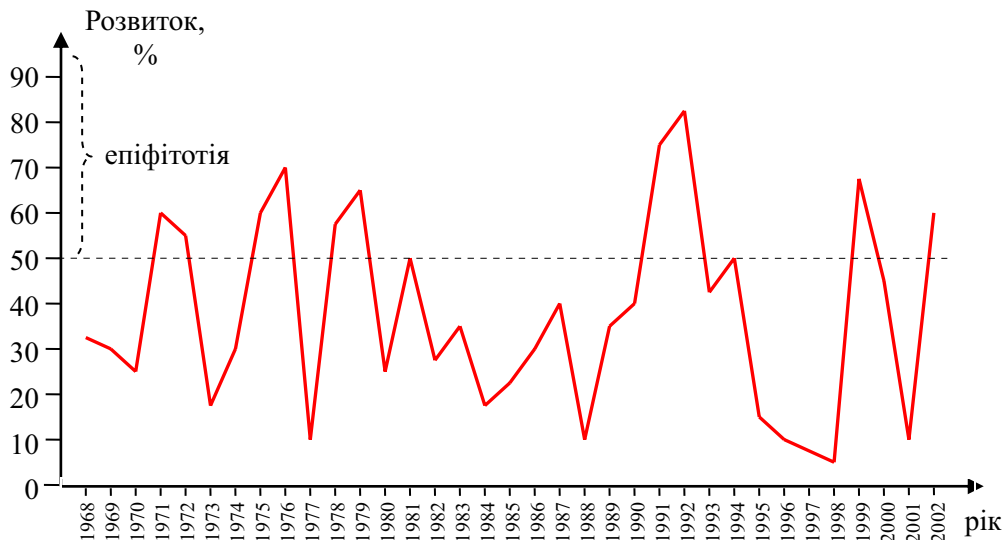


Рис. 4. Залежність розвитку альтернаріозу по роках

$$P(P_1, P_2) = (-0,0025P_1^2 + 0,21P_1 + 8,5) \cdot (-0,0012P_2^2 + 0,04P_2 + 6,48). \quad (4)$$

Кожна із залежностей (1) – (4) з точки зору прогнозування не має явної переваги (див. рис. 1–4), оскільки точки розподілені відносно апроксимуючих кривих приблизно з однаковим відхиленням. У такому разі для визначення прогнозованого рівня розвитку альтернаріозу у поточному році з мінімальною похибкою доцільно використати усі наявні статистичні дані, тобто здійснити усереднення тих рівнів, що були отримані згідно з кожною функцією (1) – (4):

$$\bar{P} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 P_i. \quad (5)$$

У результаті підстановки (1) – (4) у (5) отримаємо

$$\begin{aligned} \bar{P} = & 0,24t_{\text{лс}}^2 - 6,26t_{\text{лс}} + 0,00075w_{\text{лс}}^3 - 0,17w_{\text{лс}}^2 + 12,84w_{\text{лс}} + \\ & + 0,00017m_{30}^3 - 0,027m_{30}^2 + 1,38m_{30} + (-0,0012P_1^2 + 0,11P_1 + 4,2) \times \\ & \times (-0,0006P_2^2 + 0,02P_2 + 3,24) - 260,94. \end{aligned} \quad (6)$$

Отже, вираз (6) є розв'язком задачі прогнозування рівня розвитку альтернаріозу картоплі в Поліссі України. Для визначення цього рівня необхідно у вираз (6) підставити: прогнозовані значення середньої температури ($t_{\text{лс}}$) та вологості ($w_{\text{лс}}$) повітря в липні-серпні; рівні розвитку альтернаріозу, які спостерігались раніше на 1 рік (P_1) та на 2 роки (P_2); прогнозоване (оцінене на початку появи хвороби) значення частки штаму гриба *Alternaria solani* (m_{30}).

У результаті відповідних розрахунків (6) визначається параметр $\bar{P}$, який дорівнює рівню розвитку альтернаріозу в поточному році.

Розроблений підхід до прогнозування рівня розвитку альтернаріозу картоплі в цілому може бути застосований не тільки для Полісся України, а й для інших районів вирощування картоплі. Відмінності для інших районів полягатимуть у використанні других початкових статистичних даних, що призведе до певних змін конкретного вигляду функцій (1) – (6), проте сама методологія прогнозування залишиться такою самою.

Отже, загальний розв'язок задачі прогнозування рівня розвитку альтернаріозу картоплі (для довільного району) включає: збирання всіх початкових статистичних даних для заданого району щодо рівнів розвитку альтернаріозу в різні роки та значень $t_{\text{лс}}$, $w_{\text{лс}}$, m_{30} ; поліноміальна апроксимація залежностей $P(t_{\text{лс}})$, $P(w_{\text{лс}})$, $P(m_{30})$, $P(P_1, P_2)$; узагальнення математичної моделі прогнозування для всіх розглянутих чинників (5); розрахунок рівня розвитку альтернаріозу в поточному році аналогічно (6).

Висновки:

1. Доведено, що задачі прогнозування появи та розвитку альтернаріозу картоплі є окремими і непов'язаними між собою, оскільки статистичний зв'язок між датою появи альтернаріозу та його розвитком у цьому році відсутній.
2. Обґрунтовано основні параметри, які слід враховувати при прогнозуванні рівня розвитку альтернаріозу картоплі в поточному році – як традиційні для грибних хвороб (середньодобова температура та вологість повітря в липні та серпні), так і специфічні, що властиві лише цьому захворюванню (частка штаму гриба *Alternaria solani*, рівень розвитку хвороби за два попередні роки).
3. Розроблено математичні моделі, які пов'язують рівень розвитку альтернаріозу картоплі з кожним із предикторів, які на неї впливають. Здійснено об'єднання результатів прогнозування за усіма предикторами, що дозволяє зменшувати похибку прогнозу розвитку альтернаріозу картоплі в поточному році.
4. На основі вирішення завдання прогнозування розвитку альтернаріозу для Полісся України розроблено загальний підхід до такого прогнозування для будь-якого заданого району вирощування картоплі.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку полягають у прогнозуванні рівня розвитку альтернаріозу картоплі з урахуванням похибок попереднього визначення часткових предикторів, що надає можливість підвищувати точність кінцевого прогнозу.

Список використаних джерел

1. Журавська І. А. Альтернаріоз картоплі, прогнозування та обмеження його розвитку в умовах Полісся України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.11 «Фітопатологія» / І. А. Журавська. – Київ, 2013. – 22 с.
2. Положенець В. М. Фунгіциди проти альтернаріозу картоплі / В. М. Положенець, Л. В. Немерицька, І. А. Журавська // Карантин і захист рослин: наук.-вироб. журнал. – К.: НААЕУ, 2012. – № 6. – С. 24–26.

3. Кваснюк Н. Я. Определение степени поражения растений картофеля *Alternaria solani* (ELL. ET MART.) в зависимости от погодных условий / Н. Я. Кваснюк, Б. И. Гуревич // Сельскохозяйственная биология. – 1985. – № 12. – С. 109–111.
4. Наумова Н. А. Фитофтора картофеля / Н. А. Наумова. – Л. : Колос, 1965. – 192 с.
5. Положенець В. М. Прогнозування дати появи альтернarioзу картоплі в Поліссі України / В. М. Положенець, Л. В. Немерицька, І. А. Журавська // Вісн. ЛНАУ. – 2012. – № 16. – С. 361–367.
6. Иванюк В. Г. Гифомицеты – возбудители пятнистостей паслёновых культур (особенности патогенеза и способы подавления паразитической активности) : дис. на соиск. уч. степ. д-ра биол. наук. – Минск, 1978. – 255 с.
7. Иванюк В. Г. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков / В. Г. Иванюк, С. А. Банадысев, Г. К. Журомский. – Минск : Белпринт, 2005. – 696 с.
8. Тэтэ Л. Г. Макроспориоз картофеля и разработка мер борьбы с ним в Полесье Украины : дис. на соиск. уч. степ. канд. сел.-хоз. наук. – Киев, 1972. – 158 с.
9. Марютін Ф. М. Фітопатологія: Навчальний посібник / Ф. М. Марютін, В. К. Пантелєєв, М. О. Білик. – Харків : Еспада, 2008. – 552 с.
10. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1968. – 716 с.
11. MathCAD 12. Самоучитель. – М. : Вильямс, 2006. – 224 с.

Mathematical models are developed for prognostication of alternaria potatoes development, which bind the level of his development to the average daily temperature and humidity of air in July-August, refill the strain of M-30 of mushroom of Alternaria solani, by the development level of disease for two previous years. The association of results of prognostication is made after all of the indicated predictors, that allows to diminish the error of prognosis. On the basis of decision of task of prognostication of alternarioza development for Ukraine's Polissya of general approach is developed to such prognostication for any set district of potato growing.

Key words: potato, alternarioz, prognostication, development, Ukraine's Polissya, mathematical design.

Разработаны математические модели для прогнозирования развития альтернarioза картофеля, которые связывают уровень его развития со среднесуточной температурой и влажностью воздуха в июле-августе, долей штамма М-30 гриба Alternaria solani, уровнем развития болезни за два предыдущих года. Осуществлено объединение результатов прогнозирования по всем указанным предикторам, что позволяет уменьшать погрешность прогноза. На основе решения задачи прогнозирования развития альтернarioза для Полесья Украины разработан общий подход к такому прогнозированию для любого заданного района выращивания картофеля.