



Original researches

**Prediction of Populational Dynamics of Phytophages
in Agroecosystems Using Markov Chains****A. V. Fokin, N. N. Dolya, V. F. Drozda***National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine*Received: 26 March 2019
Revised: 09 April 2019
Accepted: 10 April 2019National University of Life and Environmental
Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony Str., 15,
Kyiv, 03041, UkraineTel.: +38-097-595-84-98
E-mail: dr_andreyfok@ukr.net**Cite this article:** Fokin, A. V., Dolya, N. N.,
& Drozda, V. F. (2019). Prediction of
populational dynamics of phytophages
in agroecosystems using Markov chains.
Agrology, 2(2), 100–105. doi: 10.32819/019014

Abstract. It is shown that the effectiveness of protective technologies can be predicted using Markov chains, that is, on the basis of the application of probabilistic approaches in the phase transitions of the dynamics of the abundance of insect phytophages population (outbreak of number, depression, etc.) and assuming that changes in the state of the system occur at certain moments of time. The probability of transitions between states corresponds to the sum of the effectiveness of insecticides and the parameters of the system of predictors, which will allow to take into account the problem of incompleteness in accordance with the second theorem of Gödel (Gödel incompleteness theorem). One of these problems is the prediction of the dynamics of the number of insects, since it is impossible to construct a predictive model of the dynamics of the total number, based only on the number data, depending on the system level (population, agrocenosis, biocenosis, etc.); to solve this problem, it is necessary to involve the external predictors (modifying and regulating). In this context, it is important the right choice of predictors to obtain an adequate prediction of the behavior of the system at one level or another. Therefore, it is quite possible to use the basic provisions of the factorial dynamics of population theories (parasitic, biocenotic and climatic), the stochastic and the regulation theory of the dynamics of the population, the trophic and biogeocenotic theory of dynamics of populations. It is important to correctly estimate the level of the predictable system and to form the complex of additional predictors that are not its elements, in order to maximize the intensification of the predictive model. Based on the data on the abundance of the population and the effectiveness of the selected measure (chemical protection, biological agent, agrotechnical measure), it is possible to predict the probability of the population transition to a steady depressive state and the multiplicity of application of means for controlling the number of phytophages for its achievement.

Keywords: number of insects; agrocenosis; modeling; plant protection; depressive state of the population.

**Прогнозування популяційної динаміки фітофагів в агроекосистемах
за допомогою ланцюгів Маркова****А. В. Фокін, М. М. Доля, В. Ф. Дрозда***Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна*

Анотація. Показано, що результативність захисних технологій може прогнозуватися за допомогою ланцюгів Маркова, тобто на основі використання ймовірнісних підходів у фазових переходах динаміки чисельності популяції комах-фітофагів (спалах чисельності, депресія тощо) і припускаючи, що зміни стану системи відбуваються в певні моменти часу. Ймовірність переходів між станами відповідає сумі ефективності інсектицидів і параметрів системи предикторів, які дозволять врахувати проблему неповноти відповідно до другої теореми Геделя. Однією з таких проблем є прогнозування динаміки чисельності комах, оскільки неможливо побудувати прогностичну модель динаміки чисельності, ґрунтуючись тільки на даних чисельності, залежно від рівня системи (популяція, агроценоз, біоценоз і т.д.); для вирішення цього завдання потрібно залучати зовнішні предиктори (модифікуючі і регулюючі). У цьому контексті важливим є правильний вибір предикторів для отримання адекватного прогнозу поведінки системи того чи іншого рівня. Тому цілком можливе використання основних положень факторіальних теорій динаміки популяцій (паразитарної, біоценогічної та кліматичної), теорії стохастизму і регуляціонізму динаміки чисельності, трофічної й біогеоценогічної теорії динаміки популяцій. Важливо правильно оцінити рівень прогнозованої системи і сформувати комплекс додаткових предикторів, які не є її елементами, для максимального посилення прогностичної моделі. ґрунтуючись на даних чисельності популяції і ефективності обраного заходу (хімічного захисту, біологічного агента, агротехнічного заходу), можна спрогнозувати ймовірність переходу популяції до стійкого депресивного стану і кратність застосування засобів регулювання чисельності фітофагів для його досягнення.

Ключові слова: чисельність комах; агроценоз; моделювання; захист рослин; депресивний стан популяції.

Вступ

Необхідність системного підходу до адаптивного захисту рослин як багатоваріантної складової адаптивної інтенсифікації виробництва очевидна (Kolomeichenko & Lysenko, 2001). Можливі різні сценарії оптимізації, залежно від фази динаміки чисельності фітофага. Наприклад, екологізація захисту рослин на фоні низької чисельності комах, або такої, що несуттєво відрізняється від неї. У цьому випадку людина “отримує” чисте навколишнє середовище та врожай на рівні середнього. Наведено декілька прикладів. Непоганою ілюстрацією є підвищення ролі клопів-сліпняків (*Psallus ambiguus*, *Campylomma kerbasici*, *Deraeocoris ruber*, *Malacocoris chlorirans*) як регулювального фактора в необроблених пестицидами садах Центрально-Чорноземної зони за низької щільності популяції попелиць та плодкових кліщів.

Інший варіант – інтенсивний хімічний захист та агротехніка на фоні відносно низької чисельності популяції шкідника. Як результат такого вибору – додаткове пестицидне навантаження та високий урожай. Прикладами може бути система захисту томатів у Бразилії від *Tuta absoluta* і *Neoleucinodes elegantalis*, яка базується на щотижневій обробці плантації пиретроїдними інсектицидами (на основі бета-циперметрину, циперметрину, дельтаметрину або перметрину) з початку періоду цвітіння й до кінця вегетації (Mascarette et al., 1999; 1999a), подвійна обробка цибулі-порею в Бельгії проти *Trips tabaci* (Buysens et al., 2000), одна зі систем захисту картоплі в Росії, цілком побудована на хімічних заходах (гербіцид Зенкор, інсектициди Ф’юрі та Актара, фунгіциди Акробат МЦ та Пенкоцеб) (Kostriyukov et al., 2001). Ще один варіант – на фоні масового розмноження шкідника зроблена ставка на біологічний метод та “легку” агротехніку. Узагальненим результатом такого підходу буде низький урожай, але чистий від пестицидів агроценоз. Доцільність підходу активно обговорюється фахівцями-практиками і вченими. Найбільше дискутування викликає економічна складова цього сценарію (Olfert, 1999; Schmitz & Wronka, 2000). Інтересними прикладами впливу “легкої” агротехніки на популяцію шкідника є зростання чисельності клопів *Miridae* та *Pentatomidae* на полях Глосине мах у Болгарії при збільшенні відстані між рядами рослин (Nikolova, 2003) та збільшення пошкоджень від клопів *Anasa tristis* при застосуванні в США (Колорадо) на гарбузах мульчі (Stanshaw et al., 2001). Застосування безвідвальної обробки при вирощуванні олійного ріпаку в Англії підвищило регулювальну роль личинкових ендопаразитів (*Phradis interstitialis* і *Tersilochus heteroceris*) *Meligethes aeneus* (Williams, 2006). Подібна стратегія зменшила економічну привабливість культури, але мала значення для охорони агентів біологічної боротьби. Ще один приклад з Мексики. Тут застосування протигерозійної обробки ґрунту на кукурудзі підвищувало пошкодження рослин довгоносом *Nicentrus testaceipes* на 11% відносно звичайного, неочікувано також зростала чисельність совки *Pseudaletia unipuncta*, що спричинило пошкодження 52,7% нижніх листків кукурудзи (Bolanos-Espinoza et al., 2001). Четвертий, найбільш вживаний сценарій передбачає тотальне застосування хімічних засобів захисту рослин на фоні спалаху чисельності фітофага. Результатом такого антропогенного тиску буде відносно низький урожай та забруднений хімією агроценоз. Так, у Швеції рентабельність обробки афіцидами посівів ячменю та вівса в роки спалаху чисельності *Rhopalosiphum padi* не перевищує 70% (Sigvald, 2003). У Росії, на озимих колосових культурах Кубані (Слав’янський район), ефективність інсектицидів за підвищеної чисельності шкідників не перевищує 70–75%, а в Саратовській області на гірчиці відносно хрестоцвітних блішок – 77,4% (Vereshchagina & Veretelnik, 2004), у Західному Сибіру, на Кавказі та Підмосков’ї застосування пестицидів на обліпсі відносно мухи *Rhagoletis batava obscuriosa* показало їх слабку ефективність та наявність значних залишкових кількостей препаратів у плодах (Shamanskaya et al., 2005). У США

(Канзас) при протруюванні насіння озимої пшениці препаратами на основі імідаклоприду, тіаметоксаму та фіпронілу для захисту сходів від попелиць *Schizaphis graminum*, *Diuraphis noxia* та мухи *Mayetiola destructor* ефект спостерігався лише частково і взагалі не вплинув на врожайність (Wilde et al., 2001). У Краснодарському регіоні застосування хімічних засобів захисту на черешні та вишні проти вишневої мухи протягом двох років поспіль дозволило знизити шкідливість до господарської невідчутного рівня, але вже через рік запас зимуючої стадії шкідника відновився (Vasilieva & Niyazov, 2007). У Китаї на плантаціях огірків при застосуванні для регулювання чисельності *Bemisia tabaci* хімічних препаратів урожайність становить 0,1017 кг/рослину, а в агроценозах, де застосовують екологізовану систему захисту – 1,0816 кг/рослину (Shen & Ren, 2003). У Китаї тотальне застосування інсектицидів на звичайнику призвело за період з 1950 по 1990 рік до потрійної змовни комплексу шкідників (Li et al., 2005). Тобто проблема залишилася, змінилися лише “діючі особи”.

Крім того, застосування хімічних засобів знижує ураженість шкідників паразитоїдами, як це показано відносно *Trichogramma cacoeciae*, на 80–95% (Youssef et al., 2004) та золотоочки *Chrysoperla carnea* (Medina et al., 2004).

Звернемо увагу, що кваліфікація (користь чи шкідливість) результатів застосування хімічного методу (сценарії 2 та 4) залежить від популяційної динаміки фітофагів, що підтверджують і результати досліджень зарубіжних учених (Reichmuth, 2000).

“Важка” агротехніка виявляється також не є панацеєю. Про це свідчать дуже показові приклади. У США на плантаціях щиткової чорниці проти личинок японського жука *Popillia japonica* застосовувалася оранка міжрядь, що дозволяло зменшувати щільність популяції шкідника на 72%, але в крайових зонах зораних і незораних полів чисельність личинок виявлялась однаковою, що свідчить про дуже високі адаптаційні властивості виду до антропогенного навантаження (Szendrei et al., 2005). В Ірландії культивування просапних культур у другій половині сезону (липень–серпень) не була ефективною відносно комплексу твердокрилих (Purvis et al., 2001).

Застосування оптимізованих технологій захисту рослин та результатів фітосанітарної діагностики на основі фракталів, зокрема даних, що екстраполюються на весь агроценоз, укриваючи його матричною “клаптиковою ковдрою” (Fokin, 2011, 2015), дозволяє здійснювати прогнозування фітосанітарного стану, наприклад, динаміки чисельності популяції фітофагів, використовуючи ймовірнісні підходи у фазових переходах динаміки (спалах чисельності, депресія тощо) і приймаючи, що зміни стану системи відбуваються в певні моменти часу. Такі процеси описуються дискретними ланцюгами Маркова. Взагалі марковським називається процес, у якому ймовірність стану системи в певний час у майбутньому залежить лише від її стану тепер. Дискретні ланцюги Маркова передбачають перехід з одного стану до іншого у певні моменти часу (такти – часові інтервали між відліками). Перехід відбувається на кожному такті, що дозволяє визначити послідовність станів, які проходить процес у своєму розвитку – у сукупності вони і є ланцюгом Маркова.

Метою досліджень було створити модель прогнозування кількості інсектицидних обробок для переведення популяції цільового об’єкта з поточного стану динаміки чисельності у фазу депресії.

Матеріал і методи досліджень

Моделювання динаміки чисельності фітофагів в агроєкосистемі проводили за допомогою марковських процесів (Kelbert & Sukhov, 2010) на основі використання ймовірнісних підходів у фазових переходах динаміки чисельності популяції комах-фітофагів і припускаючи, що зміни стану системи відбуваються в певні моменти часу.

Результати

Якщо прийняти класичну динаміку чисельності як систему станів мінімальної і максимальної чисельності ентомологічних об'єктів із різномірними переходами між станами E (фазами динаміки чисельності), то можна побудувати марковські графи переходів. Підкреслимо, що процес не розгалужується, тобто передбачається перехід популяції фітофагів до різних станів динаміки чисельності, але не її загибель. Відправною точкою повинна бути чисельність фітофага X_1 у певний момент часу. Залежно від локалізації X_1 на кривій динаміки чисельності можливі чотири сценарії переходів, а саме: чи наближується до піку $X_1 \rightarrow \max$ (зростання чисельності) або депресії $-X_1 \rightarrow \min$ (спад чисельності); чи збігається з ними $X_1 = \max$ або $X_1 = \min$. При цьому чисельність доцільно розглядати з позиції імовірності. Тоді $p_{1..n} = X_{1..n}^{-1}$ при $X_{1..n} \geq 1$.

На ймовірності переходів між станами E потрібно зупинитися детальніше. Ми вважаємо, що вона буде відповідати сумі ефективності інсектицидів та параметрів системи предикторів, які дозволяють врахувати проблему неповноти відповідно до другої теореми Геделя (Uspenskij, 1982) – логічна повнота (неповнота) будь-якої системи аксіом не може бути доведена в межах цієї системи. Для її доведення чи спростування потрібні додаткові аксіоми (посилення системи). Іншими словами, в межах системи існують проблеми, які не можна вирішити, використовуючи лише елементи цієї системи, навіть якщо вони істинні. Однією з таких проблем, відносно динаміки чисельності комах є прогнозування їх чисельності. Тобто неможливо побудувати прогностичну модель динаміки чисельності, ґрунтуючись лише на даних чисельності, хоча сама можливість побудови такої моделі класичною теорією моделей не заперечується – висновком з теореми Геделя про повноту є існування моделей у будь-яких несуперечливих теоріях. Залежно від рівня системи (популяція, агроценоз, біоценоз тощо) для вирішення цього завдання потрібно долучати зовнішні предиктори (модифікуючі та регулюючі). У цьому плані важливим є правильний вибір предикторів для отримання адекватного прогнозу поведінки системи того чи іншого рівня. З огляду на це не такими архаїчними виглядають факторіальні теорії динаміки популяцій (паразитарна, біоценологічна та кліматична), теорії стохастизму і регуляціонізму динаміки чисельності, трофічна та біогеоценологічна теорії динаміки популяцій (Beletsky & Stankevich, 2018). Головне – правильно оцінити рівень прогнозованої системи і сформулювати комплекс додаткових предикторів, що не є її елементами, для максимального посилення прогностичної моделі.

Сума всіх переходів з кожного стану $E_{1..n}$ до $E_{n+1..n+k}$ повинна дорівнювати 1. Імовірність переходу зі стану E_1 у напрямку більшої чисельності вважається як значно менша 0,5 і є результатом правильно обраних стратегії та тактики захисту рослин за умови не проявлення резистентності фітофагів до засобів захисту, а також адекватних рівню прогнозованої системи предикторів. І, навпаки, якщо за вектором зростання чисельності ймовірність переходу значно перевищує 0,5, то це є результатом неправильного вибору та порушення технології застосування інсектициду або проявлення явища резистентності комах до його діючої речовини, неправильно обраних додаткових предикторів.

За сценарію $X_1 \rightarrow \max$ (рис. 1, табл. 1), у випадку досягнення популяцією стану максимальної чисельності E_2 , її перехід до E_1 буде менш витратним, тобто $P_{21} \gg 0,5$. Із меншою ймовірністю можливий перехід до E_3 : $P_{23} \ll 0,5$, а також вона може залишитися в стані E_2 з ймовірністю $P_{22} \ll 0,5$. Із стану депресії більш ймовірним буде перехід в E_1 $P_{31} = 1$. Узагалі для цього та інших сценаріїв і для динаміки чисельності комах у цілому характерні тяжіння фаз динаміки до найбільш стійких положень – мінімуму чи стабільної чисельності. Це доводить відносно низьку частоту зустрічальності спалахів розмноження комах порівня-

но з іншими фазами динаміки. Тобто можна обговорювати існування атракторів динаміки чисельності – точок фазового простору динамічної системи, до яких вона прагне згодом, а отже, відповідно до теорії нелінійних динамічних систем, підданих детермінованому хаосу – чутливість до початкових умов, більш відомих як “ефект метелика”. На цьому етапі в агроecosystemі, як в системі нестабільній, особливої значущості набуває антропогенний фактор: будь-яке порушення агротехнології може стати початком ланцюга подій, який в кінцевому результаті призведе до масового розмноження комах-фітофагів. Небезпечність чутливості до початкових умов полягає в тому, що для спостерігача поведінка системи здається хаотичною і непрогнозованою, навіть якщо модель системи є детермінованою.

Таким чином, при застосуванні методів регуляції чисельності фітофагів за початкового стану динаміки – зростання чисельності, депресії популяції можна досягти або 100%-во за три такти – часових інтервалів між застосуванням засобів захисту рослин, або за один – але з ймовірністю, меншою за 1 (рис. 2). Марковські ланцюги для обох варіантів будуть мати вигляд:

$$E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow E_2 \rightarrow E_2 \rightarrow E_3 \text{ для } P = 1;$$

$$E_1 \rightarrow E_3 \text{ для } P < 1.$$

За сценарію $X_1 \rightarrow \min$ (рис. 3, табл. 2) зі стану E_2 найбільш ймовірним буде перехід у фазу депресії. Перехід P_{12} такий же малоймовірний, як і за попереднього сценарію. Значна ймовірність того, що, досягнувши депресії, популяційна динаміка і залишиться в ній, проте існує і малоймовірний перехід до E_1 . Прямий перехід з депресії до масового розмноження неможливий для обох розглянутих сценаріїв.

Отже, за сценарію, коли початковий стан збігається з фазою зниження чисельності, досягти депресії популяції фітофага можна також, як і за попереднього сценарію, або за три інтервали часу з ймовірністю, що дорівнює 1, або за один – з ймовірністю, меншою 1 (рис. 4). Марковські ланцюги для цього сценарію будуть мати вигляд:

$$E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow E_3 \rightarrow E_3 \text{ для } P = 1;$$

$$E_1 \rightarrow E_3 \text{ для } P < 1.$$

Таблиця 1. Матриця ймовірностей переходу за сценарію $X_1 \rightarrow \max$

із \ у	E_1	E_2	E_3
E_1	0	$P_{12} \rightarrow 0$	$P_{13} \rightarrow 1$
E_2	$P_{21} \rightarrow 1$	$X_2^{-1} \rightarrow 0$	$P_{23} \rightarrow 0$
E_3	1	0	0

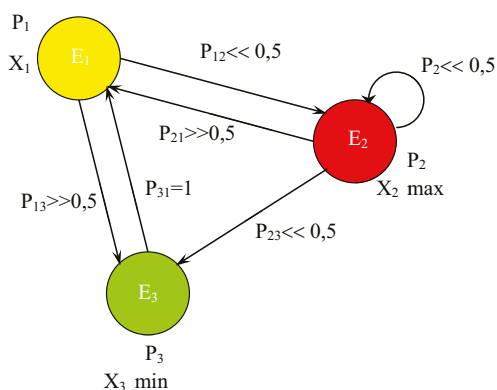


Рис. 1. Сценарій марковського переходу у фазі зростання чисельності ($X_1 \rightarrow \max$)

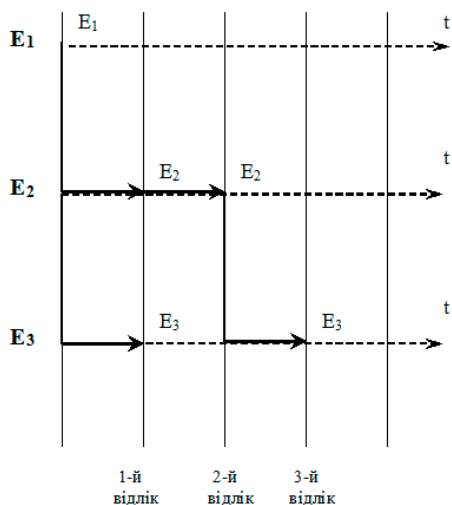


Рис. 2. Діаграма переходів у марковському графі з урахуванням часу: сценарій $X_1 \rightarrow \max$

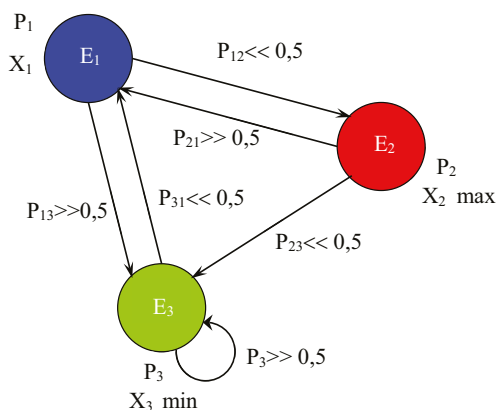


Рис. 3. Сценарій марковського переходу у фазі зниження чисельності ($X_1 \rightarrow \min$)

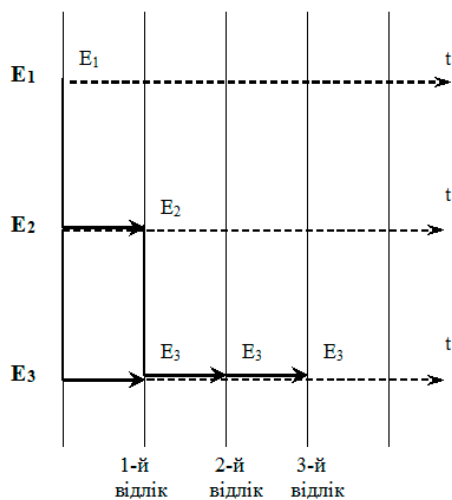


Рис. 4. Діаграма переходів у марковському графі з урахуванням часу: сценарій $X_1 \rightarrow \min$

Таблиця 2. Матриця ймовірностей переходу за сценарієм $X_1 \rightarrow \min$

у \ із	E_1	E_2	E_3
E_1	0	$P_{12} \rightarrow 0$	$P_{13} \rightarrow 1$
E_2	$P_{21} \rightarrow 1$	0	$P_{23} \rightarrow 0$
E_3	$P_{31} \rightarrow 0$	0	$X_3^{-1} \rightarrow 1$

Якщо популяційна динаміка знаходиться у фазі зростання чисельності, то малоймовірно, що вона буде залишатися в стані E_1 та E_3 , а у випадку спаду – в E_1 та E_2 . В останньому випадку пояснення вимагає стан E_2 : масове розмноження за тяжіння динаміки до депресивного стану може бути локальним наслідком порушення технології застосування засобів захисту рослин та логістики, але на фоні загального зменшення чисельності популяції він нестабільний і переходить до E_3 .

За сценарію $X_1 = \max$ найбільш ймовірним розвитком подій для популяції є перехід до депресивного стану і тривале перебування в ньому (рис. 5, табл. 3).

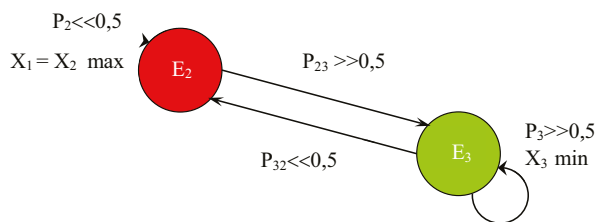


Рис. 5. Сценарій марковського переходу у фазі максимуму чисельності ($X_1 = \max$)

Таблиця 3. Матриця ймовірностей переходу за сценарію $X_1 \rightarrow \max$

у \ із	E_2	E_3
E_2	$X_2^{-1} \rightarrow 0$	$P_{23} \rightarrow 1$
E_3	$P_{32} \rightarrow 0$	$X_3^{-1} \rightarrow 1$

Для початкового стану, що збігається з максимальною чисельністю (спалах чисельності) стану депресії популяції, можна досягти за два інтервали часу (рис. 6). Марковський ланцюг буде мати вигляд:

$$E_2 \rightarrow E_2 \rightarrow E_3 \text{ для } P = 1.$$

За сценарію $X_1 = \min$ рівноймовірними для популяції фітофагів є як перебування в стані E_1 чи E_2 , так і переходи між ними (рис. 7, табл. 4).

Для цього сценарію діаграми переходів з урахуванням часу не мають сенсу, оскільки початковий стан популяції фітофагів збігається з депресивним станом. Регуляція чисельності в даному випадку не проводиться.

Таким чином, побудовані нами моделі дозволяють прогнозувати кратність застосування засобів регулювання чисельності фітофагів для досягнення фази депресії популяції (табл. 5). Прийняття управлінського рішення в алгоритмі фрактальної фітосанітарної діагностики доцільно доповнити вибором тактики

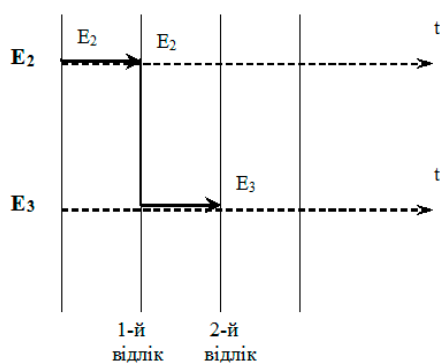


Рис. 6. Діаграма переходів у марковському графі з урахуванням часу: сценарій $X_1 = \max$

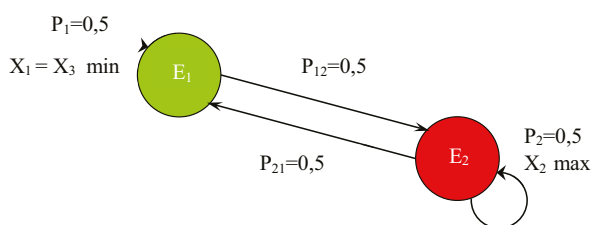


Рис. 7. Сценарій марковського переходу у фазі максимуму чисельності ($X_1 = \max$)

Таблиця 4. Матриця ймовірностей переходу за сценарієм $X_1 \rightarrow \min$

	із	E_1	E_2
E_1		$P_1 = 0,5$	$P_{12} = 0,5$
E_2		$P_2 = 0,5$	$P_{21} = 0,5$

Таблиця 5. Прогноз кратності застосування засобів регуляції за різних фаз динаміки чисельності популяції

Ймовірність, P	Фаза динаміки чисельності			
	$X_1 = \min$	$X_1 = \max$	$X_1 \rightarrow \min$	$X_1 \rightarrow \max$
1	Регуляція чисельності не проводиться	2	3	3
< 1	Те саме	-	1	1

захисних заходів, результативність яких буде прогнозуватися за допомогою ланцюгів Маркова. Іншими словами, ґрунтуючись на чисельності популяції фітофага та ефективності обраного заходу (хімічного пестициду, біологічного агента, агротехнічного заходу), можна прогнозувати ймовірність переходу популяції фітофага до стійкого депресивного стану. Повертаючись до наших моделей, стійкість депресії обумовлюється високою ймовірністю перебування популяції у стані E_3 . Це працює за сценаріїв $X_1 = \max$ та $X_1 \rightarrow \min$, тобто у фазах максимуму та зниження чисельності. У випадку сценарію $X_1 \rightarrow \max$, навіть за досягнення стану депресії, він не стабільний і прагне перейти

до E_1 , оскільки зберігається комплексна дія факторів, які обумовлюють дану фазу динаміки чисельності.

Висновки

На чисельності популяції фітофага та ефективності обраного заходу (хімічного пестициду, біологічного агента, агротехнічного заходу) прогнозується ймовірність переходу популяції фітофага до стійкого депресивного стану. Запропоновані моделі дозволяють також планувати кратність застосування засобів регулювання чисельності фітофагів для досягнення фази депресії популяції.

References

Beletsky, E. N., & Stankevich, S. V. (2018). Politsiklichnost', sinkhronnost' i nelineynost' populyatsionnoy dinamiki nasekomykh i problemy prognozirovaniya [Polycyclicality, synchronicity and non-linearity of insect population dynamics and problems of prediction]. Premier Publishing s.r.o., Vienna (in Russian).

Bolanos-Espinoza, A., Bravo-Mojica, H., Equihua-Martinez, A., Trinidad-Santos, A., Ramirez-Valverde, G., & Dominguez-Valenzuela, J. A. (2001). Densidad y danos de plagas del maiz, bajo labranza convencional y de conservacion. Acta zool. mex, 83, 127–141.

Buysens, S., Martens, K., Lefebure, D., De Schoenmakere, M., & Spiessens, K. (2000). Op weg naar een beredeneerde tripsbestrijding (Thrips tabaci Lindeman) in de preiteelt (Allium ampeloprasum L.). Parasitica, 56(2–3), 77–83.

Cranshaw, W., Bartolo, M., & Schweissing, F. (2001). Control of squash bug injury: Management manipulations at the base of Pumpkin. Southwestern Entomologist, 26(2), 147–150.

Fokin, A. V. (2011). Optimizatsiya strukturi zakhistu roslin vid shkidnikiv [Optimization of structure for plant protection of the insects-pests]. Kolobig, Kyiv (in Ukrainian).

Fokin, A. V. (2015). Principles of fractal phytosanitary diagnostics of agrocenosis [Printsipi fraktal'noi fitosanitarnoi diagnostiki agrotsenozu]. Karantin i Zahist Roslin, 4, 16–18.

Kelbert, M. Y., & Sukhov, Y. M. (2010). Veroyatnost' i statistika v primerakh i zadachakh [Probability and statistics in examples and problems]. T. II: Markov chains as the starting point of the theory of random processes and their applications. MTSNMO, Moscow (in Russian).

Kolomeichenko, V. V., & Lysenko, N. N. (2001). Adaptivnyye podkhody k zashchite rasteniy [Adaptive approaches to plant protection]. Agricultural biology. Series “Plant Biology”, 1, 3–12 (in Russian).

Kostruykov, S. P., Arefyev, V. P., & Kvasyuk, N. Y. (2001). Osobennosti zashchity kartofelya ot bolezney, vreditel'ey i sornyakov [Features of potato protection from diseases, pests and weeds]. Potatoes and vegetables, 1, 31 (in Russian).

Li, J., Lu, Z., Wang, D., & Tian, C. (2005). Succession and its mechanism of cotton pests in Xinjiang. Chinese Journal of Ecology, 24(3), 261–264.

Mascarette, L. A., Badiali, C. W., & Raetano, C. G. (1999). Avaliacao da eficiencia de inseticidas para o controle de traca-do-tomateiro Tuta absoluta (Meyrick, 1917) (Lepidoptera – Gelechiidae). Cientifica, 27(1–2), 129–136.

Mascarette, L. A., Badiali, C. W., & Raetano, C. G. (1999a). Avaliacao da eficiencia de inseticidas para o controle de broca-pequena-do-tomateiro Neoleucinodes elegantalis (Guenee, 1854) (Lepidoptera – Pyralidae). Cientifica, 27(1–2), 117–128.

Medina, P., Budia, F., Del Estal, P., Adan, A., & Vinuela, E. (2004). Toxicity of fipronil to the predatory lacewing Chrysoperla carnea (Neuroptera: Chrysopidae). Biocontrol Science and Technology, 14(3), 261–268. doi: 10.1080/09583150410001665141

Nikolova, I. (2003). The impact on nyakoi agrotechnical measures on the arsenal of chromosomals on the harm of harvests (Heter-

- optera: Miridae, Pentatomidae) on the soyate of *Glycine max* L. (Merrill) and on the extent of damage to the seeds. *Acta Entomologica Bulgarica*, 9(3–4), 16–21.
- Olfert, O. (1999). Influence of farming practices on arthropods. *Proc. Entomol. Soc. Mani.*, 55, 36.
- Purvis, G., Fadl, A., & Bolger, T. (2001). A multivariate analysis of cropping effects on Irish ground beetle assemblages (Coleoptera: Carabidae) in mixed arable and grass farmland. *Annals of Applied Biology*, 139(3), 351–360. doi: [10.1111/j.1744-7348.2001.tb00149.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2001.tb00149.x)
- Reichmuth, C. (2000). Es gibt Vor- und Nachteile. *Praktische Schadlingsbekämpfer*, 52(6), 22–23.
- Schmitz, P. M., & Wronka, T. C. (2000). Landwirtschaft ohne Chemie? – Eine ökonomische Betrachtung. *Mitt. Biol. Bundesanst. Land- und Forstwirtschaft*, 371, 25–30.
- Shamanskaya, L. D., Oderova, E. V., & Ludtseva, N. V. (2005). Problemy i perspektivy polucheniya ekologicheskoi chistogo urozhaya oblepikhi [Problems and prospects of obtaining a clean harvest of sea buckthorn]. *Siberian Herald of Agricultural Science*, 1, 64–69 (in Russian).
- Shen, B., & Ren, S. (2004). Impact of various control measures on *Bemisia tabaci* populations and cucumber yields. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 25(5), 728–731.
- Sigvald, R. (2003). Forecasting and warning systems for pests and diseases in Sweden. *Crop Protection Workshop “Pests, Diseases and Weeds”* (St. Petersburg–Pushkin, Oct. 28–29, 2003), 45–46.
- Szendrei, Z., Mallampalli, N., & Isaacs, R. (2005). Effect of tillage on abundance of Japanese beetle, *Papillia japonica* Newman (Coleoptera, Scarabaeidae) larvae and adults in high bush blueberry fields. *Journal of Applied Entomology*, 129(5), 258–264. doi: [10.1111/j.1439-0418.2005.00961.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2005.00961.x)
- Vasilieva, L. A., & Niyazov, O. D. (2007). Integrirovannyi kontrol' chislennosti vishnevoy mukhi – osnovnogo vreditelya cheresni i vishni [Integrated control of the number of cherry flies – the main pest of cherries and cherries]. *Achievements of entomology in the service of the agro-industrial complex, forestry and medicine*. Krasnodar (in Russian).
- Vereshchagina, O., & Veretelnik, E. (2004). Vrediteli ozimnykh kolosovykh v Slavyanskom rayone i perspektivy ikh rasprostraneniya [Pests of winter crops in the Slavic region and the prospects for their distribution]. *Topical issues of plant protection, agrochemistry, agrarian soil science and insect faunistics in the Krasnodar Territory*, 186, 27–29.
- Wilde, G. E., Whitworth, R. J., Claassen, M., & Shufran, R. A. (2001). Seed treatment for control of wheat insects and its effect on yield. *J. Agric. Urb. Entomol.*, 18(1), 1–11.
- Williams, I. H. (2006). Integrating parasitoids into management of pollen beetle on oilseed rape. *Agron. Res.*, 4, 465–470.
- Youssef, A. I., Nasr, F. N., Stefanos, S. S., Elkhair, S. S., Shehata, W. A., Agamy, E., Herz, A., & Hassan, S. A. (2004). The side-effects of plant protection products used in olive cultivation on the hymenopterous egg parasitoid *Trichogramma cacoeciae* Marchal. *Journal of Applied Entomology*, 128(9–10), 593–599. doi: [10.1111/j.1439-0418.2004.00892.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2004.00892.x)
- Uspenskij, V. A. (1982). Teorema Gjodelja o nepolnote [Gödel's incompleteness theorem]. *Nauka, Moscow*.