

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

В.В. Войтенко, Ю.В. Загородній

ВИКОРИСТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ KEIC У ДОСЛІДЖЕННІ ВПЛИВУ ФІТОВІРУСІВ НА РОСЛИННИЙ ОРГАНІЗМ В УМОВАХ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕСТІЙКОСТІ НА ТЕРИТОРІЇ ПІВНІЧНИХ РАЙОНІВ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

У статті доведено, яким чином комп'ютерна екологічна система KEIC 1.0 може бути застосована для дослідження екологічних процесів у різних умовах регіонів, коли область вивчення розбивається на окремі елементи з заданим набором абстрактних підсистем. На конкретному прикладі проілюстровано, яким чином модель розвитку рослини застосовувалася до різних умов України, зокрема на території північних районів Житомирської області.

Ядро функціонування системи KEIC 1.0 – підсистема

Головним завданням екологічного моделювання є те, аби найбільш повно описати кожен складову підсистему – клас об'єктів. Вторинним завданням є опис початкових умов (станів). З цього випливає, що сутність екологічного моделювання така, що користувач визначає модель у термінах опису класу та початкових умов (станів), а потім і повну поведінку системи – на початковій стадії функціонування. Підсистема взагалі – це звичайна абстракція, підкласи якої складають різновиди об'єктів, що являють собою глобальні характеристики будь-якої уявної або реальної функціональної підсистеми. Згідно з таким проектом об'єктів та ієрархії очевидно, що спеціалізації підсистем можуть бути представлені об'єктами похідних класів від абстрактного узагальненого класу.

Підсистема відображає реальний поточний стан шаблону, що відповідає одній з характеристик, скажімо, поточної радіаційної забрудненості з урахуванням розміщення джерел та поглиначів забруднення [4], природно-кліматичних умов, соціально-економічної структури тощо. Кожна з підсистем повністю автономна та незалежна одна від одної, реалізується паралельно.

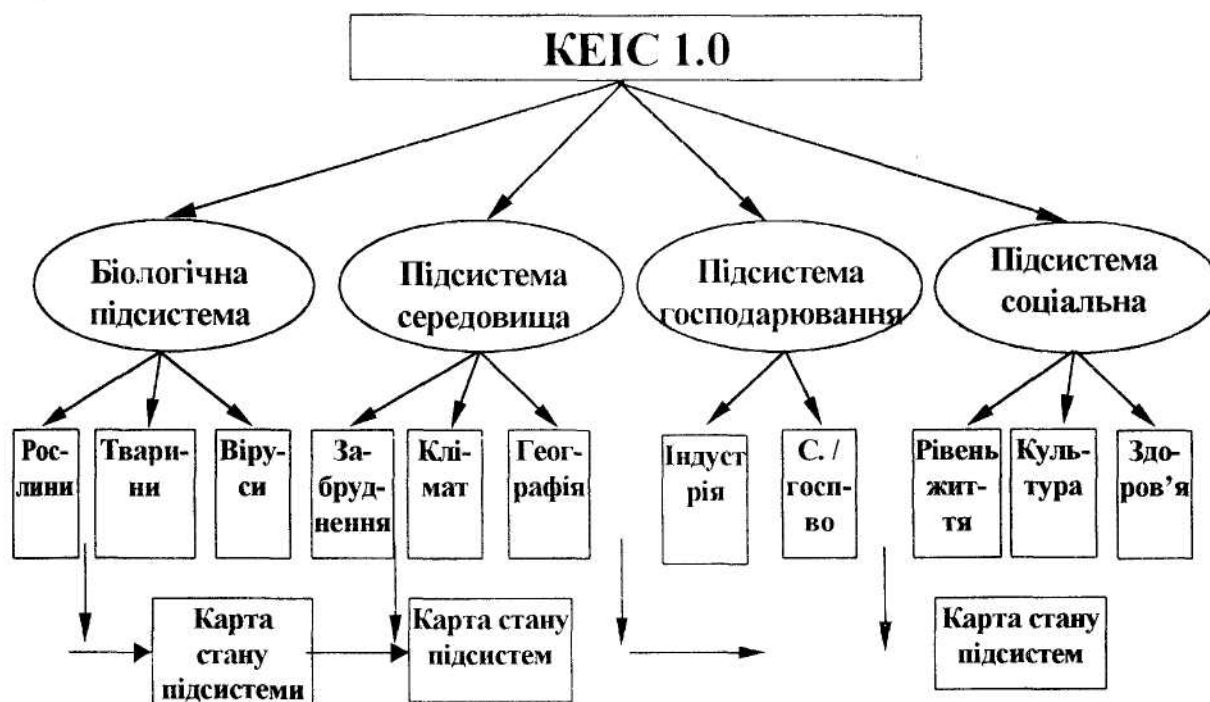


Рис. 1. Концептуальна схема KEIC 1.0

Згенеровані дані, отримані дослідним шляхом, складають банк даних системи. Розглядаючи їх стан у динаміці, з'являється можливість дослідження, використання та аналізу, пошуку деяких важливих впливових факторів для моделей в екології, виявлення цікавих залежностей

між параметрами. Можливість створення зовнішніх файлів даних, що накопичують вихідні результати конкретного шаблону, надає змогу їх подальшого аналізу як в системі KEIC, так і окремо для кожної з підсистем.

Відкритість системи та можливість її застосування до різних за призначенням моделей

Система KEIC 1.0, за своєю загальною суттю, є структурою для формування (генерування) складних екологічних систем. Узагальнене об'єктно-орієнтоване моделювання каркаса для проектування моделей передбачає у майбутньому використання єдиного інтерфейсу для симуляції розвитку досить різних за побудовою підсистем, абстрагуючись від їхньої відмінності у тих місцях, що не є домінуючими при конкретному розгляді. Це дозволяє програмному додатку підтримувати довільне число ієрархічних рівнів розглядуваних підзадач, на кожному з них динамічно визначаючи наповнення змістом та керування процесом розвитку. Використання об'єктно-орієнтованого підходу дозволяє використовувати для опису реальної моделі одні й ті ж самі формалізми, виключаючи зайвий проміжний розгляд моделі, що спрощує її опис та інтерпретацію вихідних результатів. Каркас забезпечує єдиний набір правил для проектування систем будь-якої поведінки – тільки початкові знання (як дані) першочергово визначають життєвий цикл системи.

Використання режиму візуалізації допомагає досить чітко уявити та просто дослідити складні математичні моделі в їх сукупності характеристик, що надає система KEIC. Крім того, є можливість контролювати десятки параметрів, притаманних підсистемам – їх число хоча й фіксоване, проте зовсім необов'язкове для кожного розгляду. Головна з проблем – підбір ознак якраз з таким урахуванням, аби при використанні даних KEIC у зовнішніх моделях була можливість їх адекватного представлення. Найголовніші проблеми, що виникають на етапі практичної реалізації достатньо повних екологічних систем, можна звести у такому порядку:

1. Ступінь адекватності моделі. При сучасному рівні поінформованості досить складно спроектувати справді сильні імітаційні моделі, в яких у повній мірі враховувалися усі існуючі зв'язки та взаємодії, які визначають поведінку екосистем. Цьому, перш за все, перешкоджає недостатня теоретична та експериментальна вивченість таких взаємодій. Тому на практиці вибір компонентів моделі та структурної схеми її взаємодії є компромісом між бажанням як можна точніше та повніше відобразити в моделі природу та тими можливостями, що представлені сучасним рівнем вивченості відповідних процесів. Тому у нашому випадку йде мова про експериментальну модель.

2. Вибір функціональних залежностей та параметрів, що описують процеси обміну між компонентами усього комплексу системи. Складність цієї проблеми ще очевидніша, коли згадати, що процеси у природному середовищі (приміром, біосинтез) являють собою ускладнені біохімічні явища, що тісно переплітаються одне з одним, змінюючись у просторі та часі. Далі моделювання процесів обміну між енергією та речовиною у підсистемах мають ще більшу складність. Отже, якісь аналогії з технічними системами, якщо й можливі, проте найчастіше вельми сумнівні та небажані.

3. У відповідності до формулювання математичної моделі в області розв'язування в початковий момент повинні бути заданими узгоджені між собою дані. Проблема виникає у випадку невідповідності даних між собою – між бажаннями дослідників та їх технічними можливостями.

Біологічна підсистема KEIC 1.0. Вірус як індикатор стану середовища

Однією з найвпливовіших підсистем KEIC є біологічна підсистема. Її складовими вважаються карти розміщень та моделі розвитку популяцій тварин та сімейств рослин. Окремою складовою біологічної підсистеми є карти репродукцій та розповсюдження вірусів. Як відомо, вірус, потрапляючи у клітину господаря, починає процес репродукції. В цей час спостерігаються значні зрушення в метаболізмі рослинного організму. Відомо, що ознаки будь-якого організму залежать як від генотипу, так і від зовнішніх умов існування. Сучасні екологічні дослідження доводять те, що зміна екологічних умов біосфери призводить і до зміни властивостей вірусів. Віруси – дуже мобільні системи, тому сьогодні проблема екологічної нестійкості середовища породжує проблему різких змін властивостей патогенних вірусів. З цього випливає, що дослідники повинні приділяти підвищену увагу можливим спалахам вірусів у екологічно нестійких зонах. У природних умовах розповсюдження епіфітотій вірусів

залежить від багатьох факторів зовнішнього середовища, але на сьогоднішній день вчені ще не мають повного уявлення про механізм дії умов біоценозів на процес репродукції вірусів. За певними екологічними умовами фітовіруси наносять немалий збиток сільськогосподарському виробництву. Доведено, що у природних умовах з рослин можна виділити різні штами певного вірусу, які характеризуються гетерогенністю. При цьому деякі штами уражають одні рослини латентно, а у інших викликають сильні патологічні зміни. Міра ураженості залежить не лише від виду штаму вірусу, стійкості рослини, але й від екологічних факторів. На розповсюдження вірусу у біоценозах сильно впливають температура, вологість, умови вирощування рослин, міри радіаційного, пестицидного та промислового забруднень. Так, наприклад, виявлені шароподібні структури, що локалізуються у клітинах рослин томата, які уражені вірусом тютюнової мозаїки, в умовах чорнобильської зони. Також вивчено, що в тих регіонах України, де рослини квасолі мають більшу інтенсивність процесу бульбашкової азотофіксації, репродукція вірусу жовтої мозаїки квасолі занижена. Цю залежність можна описати формулою $I(Bh)=19.128-0.174Bh$, де Bh – середня кількість бульбашок у здорової рослини в регіоні, $I(Bh)$ – інфекційність хворої рослини (кількість некрозів).

Таким чином, можна вважати, що екологічний стан довкілля діє на процес репродукції вірусів і впливає на структурні зміни віріонів. Це може бути корисним при розв'язуванні теоретичних і практичних задач як в області вірусології, так і в області загальної екології, коли вірус може використовуватися як індикатор екологічного стану природного середовища.

Дослідження впливу фітовірусів на рослинний організм в умовах екологічної нестійкості у складі системи KEIC

Застосування системи KEIC для дослідження побудованої моделі розвитку бульбашкової азотофіксації на коренях інфікованої рослини у різних екологічних умовах пропонуємо у вигляді схеми (рис. 1).

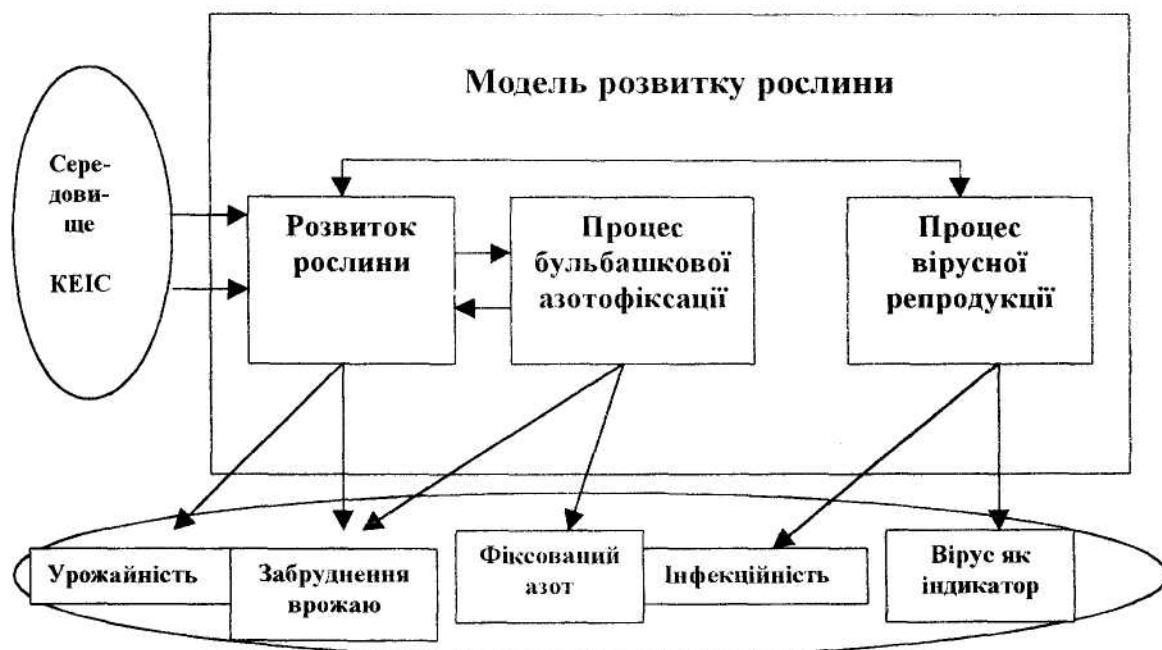


Рис. 2. Роль системи KEIC у дослідженні побудованої моделі розвитку бульбашкової азотофіксації на коренях інфікованої рослини в різних екологічних умовах

Модель розвитку рослини та процесу азотофіксації при вірусному впливі можна відобразити як $M = (X, Q, E, P)$, де X – множина змінних стану моделі; Q – множина процесів, що мають місце у досліджуваній системі; E – множина змінних стану середовища, що ініціалізуються за допомогою системи KEIC; P – множина коефіцієнтів моделі.

Множина змінних стану моделі X поділяється на підмножину величин концентрацій важливих для рослини хімічних сполук і на підмножину величин розвитку окремих органів

організму. Перша підмножина включає концентрації у рослинній клітині наступних речовин: вода, вуглекислота, кисень, АТФ, вуглеводи, аміни, вірус, водень у бульбашках, вуглеводи у бульбашках, протони у бульбашках, АТФ у бульбашках, фіксований азот, бульбашкові аміни, електрони у бульбашках, бульбашковий кисень. Друга підмножина включає показники розвитку хлоропластів, мітохондрій у клітині, показники розвитку стебла та кореня рослини, загальний показник інтегрального розвитку бульбашок на корені рослини.

Множина процесів Q включає в себе наступні процеси: фотосинтез, дихання рослини, побудова хлоропластів, мітохондрій, загальних частин рослини, водяний обмін, вірусна репродукція, руйнування клітинних органел та вірусу, побудова та розвиток бульбашок, азотофіксація, синтез бульбашкової АТФ, обмін між рослиною та бульбашками, розрив молекул водню. Кожний процес моделі має дві змінні, що описують сили інтенсивності – потенційну та реальну. Потенційна сила процесу знаходиться за певною формулою, виходячи з поточного стану рослинного організму (елементів множини X) та з поточного стану оточуючого середовища. Вплив середовища описується за допомогою елементів вектора E , а саме – температури, вологості, освітленості, РН, врожайності, радіаційного і промислового забруднення. Всього сім елементів: $E = (e_1, e_2, \dots, e_7)$. Реальна ж сила процесу будується при урахуванні потенційної сили та законів збереження речовин та енергії.

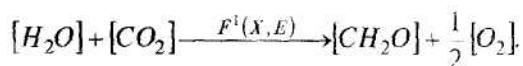
Нехай для процесу $q \in Q$ визначена функція потенційної сили $F^q(X, E)$. Така функція є додатно визначеною для своїх аргументів. Тоді для кожної речовини $x \in X_1$, що витрачається у процесі q , визначається функція витрати $R_q(x) = R_x(F^q(X, E))$. Тоді загальна величина витрат речовини x на процеси з множини Q визначається за формулою

$$R(x) = \sum_{q \in Q} R_x(F^q(X, E)).$$

В моделі повинні виконуватися закони збереження речовин та енергії, тому реальні сили всіх процесів будуються таким чином, щоб виконувалась наступна умова:

$$R(x) \leq x.$$

Як приклад розглянемо процес фотосинтезу. Схематично він записується так:



Його потенційна сила нехай визначається функцією $F^1(X, E)$. У процесі витрачається дві речовини – вода (концентрація – $[H_2O]$) та вуглекислота (концентрація – $[CO_2]$). Тоді реальну силу процесу можна визначити за формулою

$$m_1 = \min \left(\frac{a_{11} F^1(X, E) [H_2O]}{R([H_2O])}, \frac{a_{21} F^1(X, E) [CO_2]}{R([CO_2])} \right),$$

де $a_{11} = a_{21} = 1$.

Якщо у процесі q не витрачається жодної речовини, тоді $m_q = F^q(X, E)$. Так можуть бути побудовані реальні сили всіх процесів моделі. Тоді можна довести, що будуть виконуватися наступні умови:

- сума всіх витрат речовини $x \in X_1$ на всі процеси моделі менша чи дорівнює величині поточної концентрації (закон збереження);
- якщо речовина $x \in X_1$ витрачається у процесі $q \in Q$ та її концентрація дорівнює нулю, тоді і реальна сила процесу дорівнює нулю;
- якщо до моделі додати ще процес $v \in Q_1 = Q + \{v\}$ і на цей процес витрачаються ті ж речовини, що і на процес $q \in Q$, тоді величина реальної сили процесу q зменшиться;
- збільшення величини потенційної сили процесу $q \in Q$ при перерахунку моделі веде до збільшення величини реальної сили.

Таким чином, процес вірусної репродукції можна розглядати як додатковий процес у системі рослини, для якого вступає у дію умова 3. Тому інші процеси гальмуються і розвиток рослини зазнає втрат. Так модель представляється у вигляді системи динамічних дискретних рівнянь:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \sum h_{iq} m_q,$$

де $i = 1, N, k = 0, T, x_i^k$ – значення i -тої компоненти множини X на кроці перерахунку k ; T – кількість днів вегетаційного періоду; $h_{iq} = 1$, якщо величина концентрації речовини x_i зростає протягом процесу q ; $h_{iq} = -1$, якщо величина концентрації речовини x_i зменшується протягом процесу q ; $h_{iq} = 0$, якщо процес q не впливає на величину концентрації речовини x_i .

Інтегральний показник розвитку бульбашок $[S]$ розподіляється на вектор $N = (n_1, n_2, \dots, n_k)$ розвитку кожної азотофіксуючої бульбашки:

$$n_i^{k+1} = n_i^k + \frac{n_i^k}{\left(\sum_{j=1}^k n_j^k + e \right)} \left([S]^{k+1} - [S]^k \right), e > 0, k = 1, T,$$

де $[N]^k$ – кількість бульбашок на кроці k .

При такому розподілі не важко побачити, що

$$\frac{n_i^{k+1}}{n_j^{k+1}} = \frac{n_i^k}{n_j^k}, \forall i, j \leq [N]^k.$$

Ця залежність показує, що швидкість розвитку кожної бульбашки залежить від розвитку інтегрального показника $[S]$, а також від стану бульбашки на попередньому кроці. Наявність у формулі параметра e гарантує розподіл певної частини інтегрального показника на появу нових бульбашок.

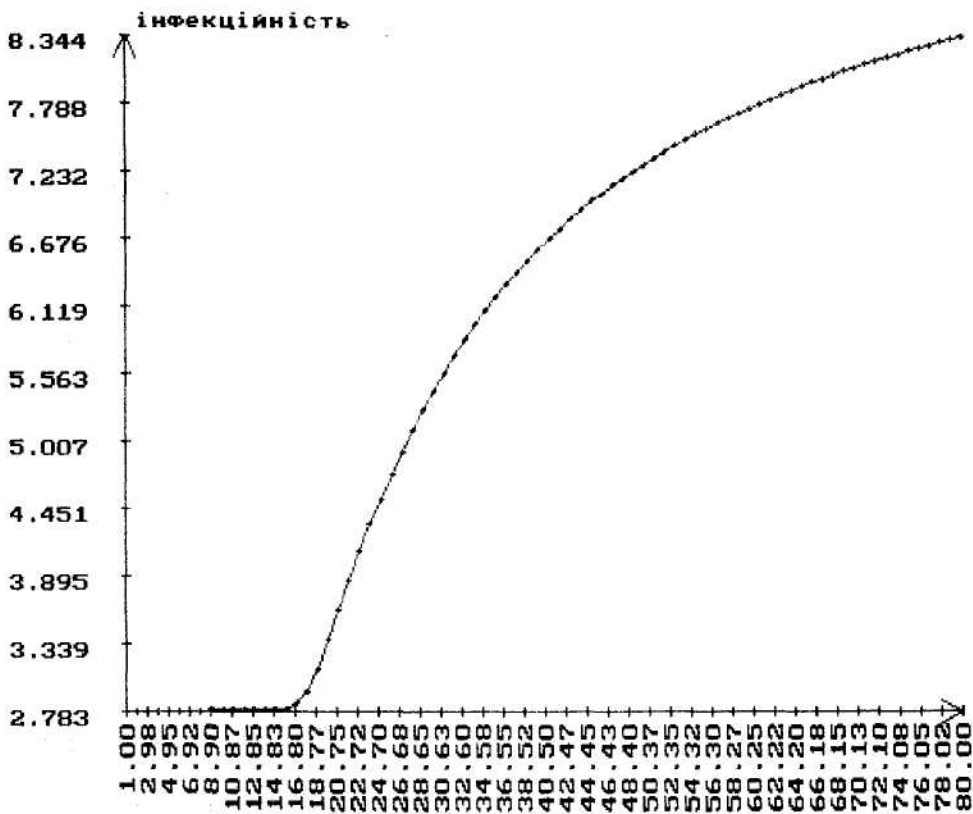


Рис. 3. Розвиток процесу інфекційності за вегетаційний період у знайдених оптимальних умовах

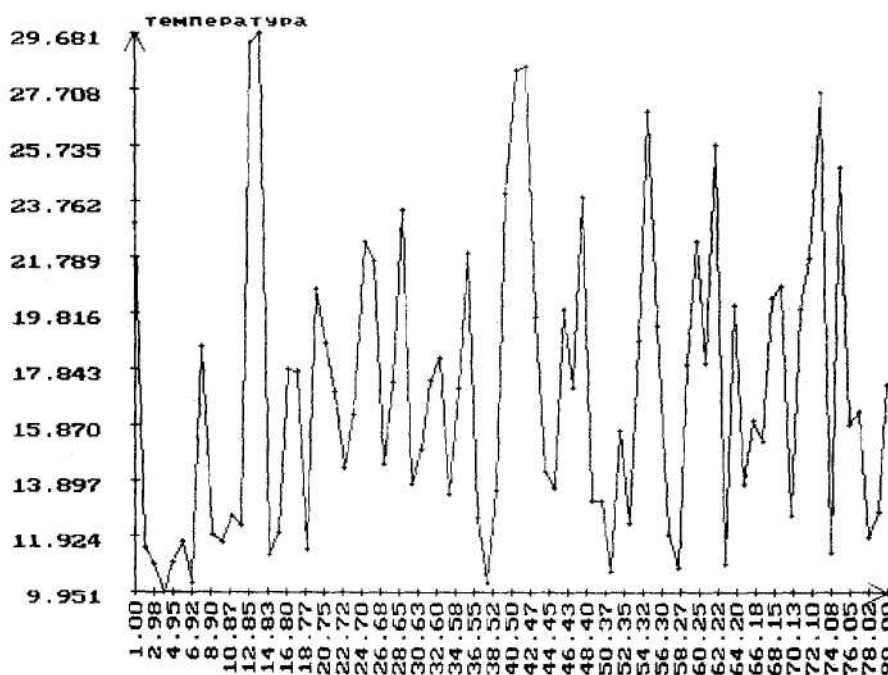


Рис. 4. Зміна температури за вегетаційний період з підсистеми оптимальних умов

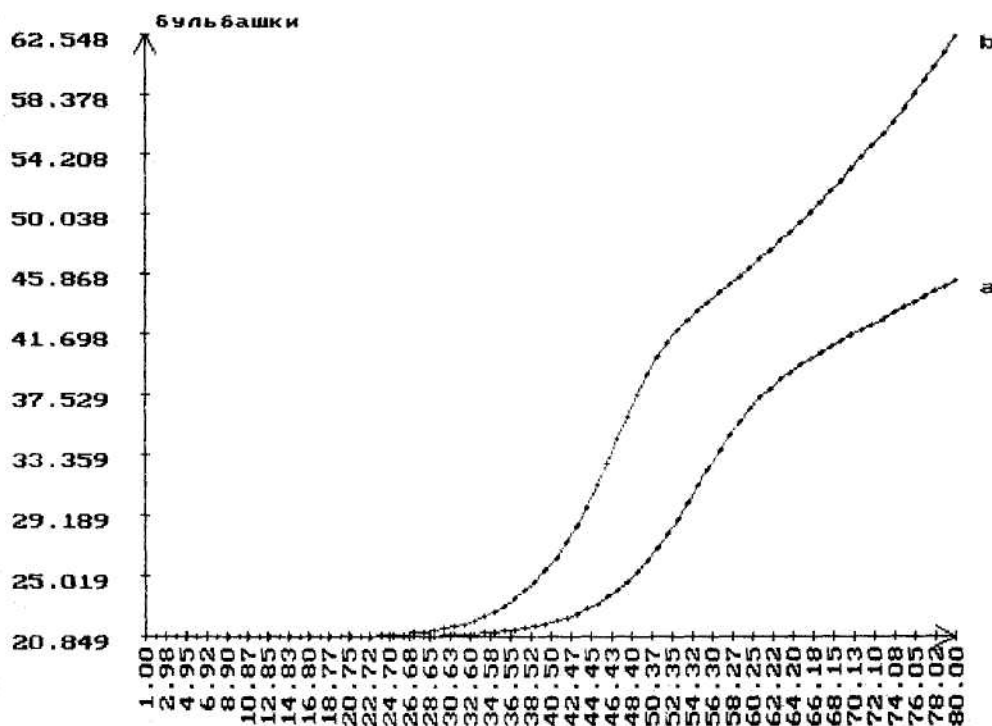


Рис. 5. Динаміка збільшення числа бульбашок за вегетаційний період для здорової (а) та для ураженої (б) рослини

Вихідними показниками моделі можна вважати інфекційність процесу при певних екологічних умовах, що задаються вектором E , урожайність культури, забрудненість врожаю, стан розвитку культурних рослин. Тому, виходячи з рис. 2, можна довести, що функціонування такої моделі у системі KEIC надає можливість будувати нові карти регіонів на основі базових карт, що представлені на рис. 1. Це робить систему KEIC справді відкритою інформаційною системою. Таким чином, при динаміці зміни значень параметрів E в окремій комірці карти, або при дифузії екозабруднень по регіонам, модель буде імітувати процес вірусної репродукції та бульбашкової азотофіксації для нових значень вектора E .

Визначення оптимальних умов розвитку рослинного матеріалу

Модель розвитку рослини була ідентифікована для даних спостережень за процесом бульбашкової азотофіксації на коренях квасолі при ураженості вірусом жовтої мозаїки у семи регіонах України, а також проаналізована для північних районів Житомирської області. Спостереження проводилися протягом трьох років. Після ідентифікації за допомогою моделі можна було визначити оптимальні умови розвитку здорового рослинного матеріалу (рис. 3, 4, 5).

Таким чином, система KEIC може бути успішно застосована для симуляції розвитку екологічних процесів у різних умовах досліджуваних регіонів, коли область розподіляється на географічні елементи з заданим набором абстрактних підсистем. Як приклад вище показано, як модель розвитку рослини застосовувалася до різних умов України.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Бойко А.Л.* Экология вирусов растений. – К.: Вища школа, 1985.
2. *Boyko A.L., Zagorodni Yu. V., Beiko I.V.* Critical State of Plants Under the Influence of Viral Infection and Ecological Disbalance // Arch. Phytopath. Pflanz, 1996. – Vol. 30. – P. 367–370.
3. *Zagorodni Yu., Boyko A., Beiko I., Skrygun S.* Construction of Computer Simulation of Critical Plants State Under Influence of Phytoviruses Infection and Ecological Unstability // Papers of 15th IMACS World Congress on Scientific Computation, Modelling and Applied Mathematics, Berlin / Germany, August 1997.
4. *Войтенко В.В., Загородній Ю.В.* Створення та використання комп'ютерної екологічної інтелектуальної системи KEIC // Вісник ЖІТІ, 1997. – № 6. – С. 160–163.
5. *Бейко І.В., Войтенко В.В., Загородній Ю.В.* Об'єктно-орієнтований метод проектування складних екологічних систем // Вісник ЖІТІ, 1997. – № 5. – С. 74–77.

ВОЙТЕНКО Володимир Володимирович – асистент Житомирського інженерно-технологічного інституту, аспірант Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Наукові інтереси:

- об'єктно-орієнтоване програмування;
- застосування об'єктно-орієнтованої методології при розробці обчислювальних моделей;
- екологія.

ЗАГОРОДНІЙ Юрій Віталійович – кандидат технічних наук, старший викладач Державної агроекологічної академії України.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання складних систем у галузі екології;
- екологія;
- системологія.