

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ВІТАЛІТЕТНОГО СПЕКТРА ТРАВ'ЯНИХ РОСЛИН ЗАСОБАМИ ВІЗУАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Володимир Борисович Гіссовський

Гіссовський В. Б. Аналіз динаміки віталітетного спектра трав'яних рослин засобами візуального комп'ютерного моделювання // Наукові основи збереження біотичної різноманітності. – 2010. – Том 1 (8), № 1. – С. 53-66. – ISSN 2220-3087.

Побудована візуальна імітаційна модель популяції трав'яних рослин, яка враховує їх життєздатність та базується на засадах мультиагентних систем. Отримані результати показують синергетичні властивості динаміки популяції, які мають як теоретичне так і практичне застосування.

Ключові слова: *життєздатність, популяція трав'яних рослин, візуальна модель, мультиагентні системи, синергетичний ефект*

Практика експлуатації природних систем супроводжується різкою зміною параметрів їх функціонування. Критичне відхилення цих значень призводить до порушення їх функціонування. Тому важливо визначити діапазон граничних навантажень, за яких відбувається процес природної адаптації системи у відповідності до своїх можливостей. Дослідженню мусять підлягати не тільки елементи системи, але й породжувані ними структури, характер їх взаємозв'язків, цілісність, організованість і замкнутість. Фундаментальна роль у функціонуванні природних систем належить популяціям трав'яних рослин. Актуальним завданням популяційної теорії і практичної господарської діяльності є дослідження динаміки розвитку рослинних популяцій, закономірностей їх структурної та просторової організації. При цьому необхідно врахувати їх *життєздатність*, як інтегральний ефект популяційних функцій – оновлення, утримання, розселення та збереження еволюційних перспектив (Жиляєв, 2003).

Розв'язок цієї проблеми тільки емпіричними методами, класичними методами диференційних рівнянь і статистичного аналізу практично є неможливим, оскільки в процесі дослідження не враховуються фактори системності, а саме – популяційна геометрія, тенденції її розвитку, специфіка та структура зайнятої території, а також складність вибору та адекватність оцінки інтегральних характеристик змін ознак життєздатності. Додатковими проблемами для проведення комплексного віталітетного аналізу є визначення площі досліджуваної території, оцінка меж часового інтервалу в якому проводяться дослідження та породжувана в процесі розвитку просторова структура. Усі ці труднощі змушують шукати нові підходи до проведення популяційних досліджень.

Для подолання цих проблем був застосований метод комп'ютерного візуального імітаційного моделювання, який урахував засади мультиагентних систем з подальшим проведенням числових експериментів на побудова-

ній моделі. Такий числовий експеримент дозволив розв'язувати проблему часового обмеження і безпосередньо спостерігати процес функціонування моделі, візуалізуючи на комп'ютері просторову динаміку популяції на конкретній території та імітуючи реакцію поведінки системи через зміну як ендогенних, так і екзогенних її параметрів. Адекватність моделі визначали за критеріями наближення якісних тенденцій обчислюваної та фактичної траєкторій розвитку популяції.

Отже, метою роботи є: – базуючись на концепції життєздатності популяції, побудувати візуальну імітаційну модель динаміки розвитку рослинної популяції; – реалізувати системні характеристики процесів відновлення, розселення та розвитку; – провести аналіз динаміки віталітетного спектра; – дослідити процес формування просторової структури, встановити їх синергетичні властивості.

Нагадаємо, що під поняттям *життєвість* ми розуміємо біотично зумовлену різноякісність особин, яка визначає їхні потенції до розвитку. *Життєвий стан* – це ознака реалізації біотичних властивостей особин, їхньої життєвості в конкретних умовах. *Життєздатність* розглядається як інтегральний ефект, який підтримує рівень системної організації популяції і реалізує основні популяційні функції – відновлення, утримання території та експансію, збереження еволюційних перспектив. Умовно, рівні життєвості, які формують віталітетний спектр, розділемо на три категорії. Вища категорія *Ж-1*, проміжна – *Ж-2* та нижча категорія – *Ж-3*, як запропоновано в (Жиляєв, 2005).

У цій роботі під *системою* розуміємо цілісний комплекс взаємопов'язаних елементів, який має певну структуру й взаємодіє із зовнішнім середовищем. А *модель* – це реально існуюча система, яка, заміщаючи і відображаючи в пізнавальних процесах іншу систему-оригінал, знаходиться з нею у відношеннях подібності (Томашевський, 2005). Візуальне імітаційне моделювання – це програмний комплекс, який побудований на засадах комп'ютерної інформаційної системи й реалізує функції моделі системи та проводить експерименти над нею, фіксуючи в базі даних і візуалізуючи на моніторі отримані при цьому результати.

Формальний опис системи є таким. Позначимо через $\Omega(\sim)$ функцію, яка описує стан системи. Тоді динаміка поведінки системи, як процес переходу від одного стану в наступний в момент t , запишемо у такому вигляді

$$\Omega^{t+1}(\sim) = D \Omega^t(\sim).$$

Оператор D називають оператором динаміки системи, який має складну природу і, в нашому випадку, це візуальна імітаційна комп'ютерна модель, яка реалізує динамічні характеристики рослинного угруповання з урахуванням ознак їхньої життєздатності. Функція стану системи визначається як

$$\Omega(\sim) = \Omega(t, x(t), \tau, \lambda, \xi),$$

де: t – системний час; $x(t)$ – вектор змінних, який містить параметри віталітетного спектра, поведінка якого визначається певною множиною аксіом; τ – внутрішні параметри системи, які впливають на її стан залежно від значення t ,

таких як вікова структура популяції, яка визначається періодизацією онтогенезу, реалізація репродуктивної функції; λ – значення зовнішніх параметрів, які називаються параметрами зовнішнього середовища; ξ – значення параметрів зовнішніх збурень, які мають випадковий характер.

Описану вище імітаційну модель реалізували у форматі мультиагентної системи (МАС). Категорія *мультиагентні системи* з'явилася на перетині теорії систем і теорії систем розподіленого штучного інтелекту. Формальне означення МАС за основу бере поняття алгебраїчної системи за А. И. Мальцевим, як представлення у формі

$$МАС = (X, П, \Omega),$$

де X – непушта множина, яку називають основою системи, $П$ – множина предикатів, Ω – множина операцій (Мальцев, 1970). Сучасна формалізація МАС представлена в роботі В. Б. Тарасова (Тарасов, 2002). Для розв'язку поставленої задачі застосували опис мультиагентної системи, яка обґрунтована в роботі К. Цетнаровича (Cetnarowicz, 1997). Ідея такого представлення МАС-системи та її архітектури полягає у тому, що окреслюється простір в якому живе агент; визначається тип самого агента; встановлюються взаємозв'язки між різними типами агентів і їх взаємодія з простором, у якому вони проживають. *Архітектура агента* розглядається з двох різних точок зору: як інтелектуальний ресурс, який функціонує відповідно до опису у поставленій задачі; як енергетичний ресурс, який ураховує енергетичні ресурси життєздатності агента для розв'язку поставленого завдання. Крім цього, кожному агенту мінімально притаманні такі властивості: певна автономність; можливість взаємодіяти з іншими агентами; реактивність – адекватна реакція на зміну середовища; набір методів, у рамках яких відбувається допустима зміна властивостей самого агента (Гісовський, 2010).

Додатково, виходячи з такої постановки задачі й способу її розв'язку, отримуємо можливість візуалізувати на моніторі саму віталітетну структуру популяції та визначити співвідношення особин різної життєвості. У свою чергу, віталітетна диференціація популяції в моделі породжує мозаїку локальних неоднорідностей простору, які змінюються у часі. Характер і динаміка їх відображають специфічні видові відмінності життєздатності трав'яних багаторічників. На нашу думку, порівняно з аналізом вікового складу популяцій, аналіз віталітетної структури має свої особливості й переваги. Віталітетний аналіз виявляє *первинні* зміни стану особин і популяції, які передують змінам у їх віковому стані. Цей підхід є більш *індикативний*, оскільки співвідношення у рівнях життєвості є чутливішим до еколого-ценотичного середовища і, нарешті, він дає *оцінку* особинам і популяції у момент дослідження, тоді як вікові спектри відображають уже минулі впливи на популяцію. Ця оцінка є придатна для популяцій як однорічних, так і багаторічних видів рослин.

Окрім категорії життєздатності в моделі задіяна концепція онтогенезу, як відображення хронологічних послідовностей фаз розвитку особин. Класифікація вікових станів, які були запропоновані Т. А. Роботновим (Роботнов, 1966) та доповнені А. А. Урановим (Уранов, 1965), ураховують такі періоди:

латентний, віргінільний, генеративний та сенільний. Застосовуючи їх крізь призму категорії життєвості особин, концепція онтогенезу неминуче узагальнюється і трансформується в поняття *синонтогенезу*, який інтерпретується як сукупність онтогенезів особин певного виду всіх поколінь, які послідовно змінюються, перші з яких виникли з зіготи (Жиляєв, 2005).

Не менш важливим завданням була формалізація опису моделі з реалізацією процесу репродуктивної функції рослин. Відомо, що рослини відтворюються насіннево та вегетативно. Ураховували, що під час насінневого способу розмноження, репродуктивно зрілі особини різного рівня життєвості породжують насіння усього віталітетного спектра, а саме, вищу категорію *Ж-1*, проміжну – *Ж-2* та нижчу категорію – *Ж-3* в певних пропорціях у відповідності до врожаю. Під час характеристики їх розселення застосовано коефіцієнт приживання особин та переважний напрямок вітру. Радіус віддалення особини насінневого походження від материнської залежить від приналежності насіння до групи життєвості.

У разі вегетативного розмноження в моделі реалізовані такі особливості: аналізували умови, за яких відбувається виділення дочірньої особини; вегетативно породжена дочірня особина успадковує від своєї материнської рівень життєвості та віковий стан; процес заселення незайнятої території залежить від геометрії розміщення самих репродуктивно зрілих особин і рівня їхньої життєвості.

Моделювання динамічних процесів у моделі базується на понятті “виділена елементарна просторова одиниця”, яку займає тільки одна особина. Тому, у програмній реалізації передбачено, що все фітоценотичне поле розбито на квадрати – елементарні просторові одиниці – *i*, при цьому, у кожному квадраті може перебувати в один і той самий часовий інтервал тільки одна особина. Оскільки кожна популяція займає обмежену територію, то незалежно від типу розселення (з вегетативним, без вегетативного або з неявно поліцентричним характером), з точки зору геометрії, їх динаміка в моделі розглядається як зміна характеристик особин певного типу, кожна з яких займає свою елементарну просторову одиницю, які в сукупності формують просторове розташування, тобто топологію.

Під час побудови імітаційної моделі динаміки трав'яних рослин були враховані основні засади функціонування популяції рослин, а також дискретний характер віталітетного спектра *Ж-1*, *Ж-2*, *Ж-3* і синонтогенезу, як узагальнення онтогенезу особин, що дало підставу сформулювати та реалізувати таку *систему аксіом*: популяційна роль кожної особини визначається приналежністю її до множин життєвості – *Ж-1*, *Ж-2*, *Ж-3*; динаміка розвитку особин визначається послідовністю зміни вікових станів, які базуються на віковому спектрі синонтогенезу; для кожної вікової групи в синонтогенезі характерний часовий інтервал, який залежить від приналежності особини до множини життєвості й стратегії життя; як модельну стратегію життя обрано *R*-стратегію, характерну рудеральним організмам; залежно від приналежності до множини життєвості, у системі реалізується принцип внутрішньопопуля-

ційної конкуренції; у моделі відтворюється вегетативне розмноження за умови, коли в репродуктивному віковому стані сама материнська особина здатна заселяти сусідні вільні території дочірніми особинами; дочірні особини належать до тієї ж групи життєвості що й материнські; приживання дочірніх особин залежить від коефіцієнту приживання, геометрії розміщення сусідніх особин і приналежності їх до множини життєвості; у певні часові інтервали моделюється насінневе відтворення, якщо насінина потрапляє у вільну елементарну просторову одиницю; особина набуває початкового вікового стану й може належати різним множинам життєвості; дистанція розсіву диференціюється залежно від групи життєвості; у програмі реалізовані також можливості навантажувати модель додатковими екзогенними параметрами (дистанція розсіву, коефіцієнт приживання, реакція системи на щільність заселення, вимерзання особин у міжсезонний період), які впливають на динаміку процесів розвитку популяції.

Комп'ютерному експерименту передувало визначення стратегії його проведення. Для цього був сформований такий порядок дій. Первинно встановлювали значення екзогенних параметрів (рис. 1). Визначали координати стартового розсіву й приналежність особин до груп життєвості.

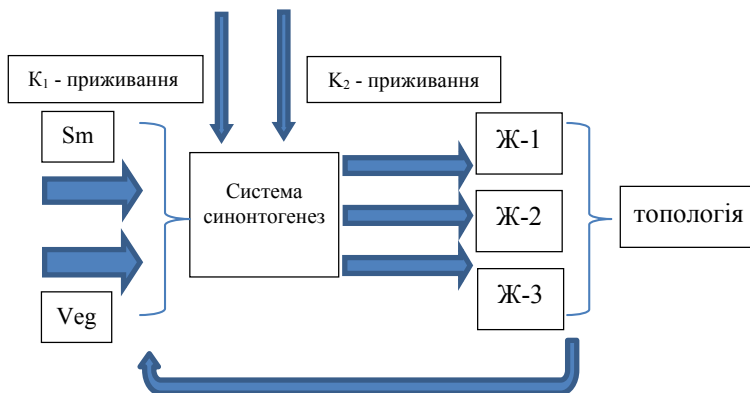


Рис. 1. Узагальнена схема функціонування моделі. Тут і далі: K_1 , K_2 – коефіцієнти приживання; Sm , Veg – особини, відповідно, насінневого і вегетативного походження; Ж-1, Ж-2, Ж-3 – рівні життєвості.

Процес проведення обчислювального експерименту відбувався шляхом визначення динаміки формування топології популяції, аналізом структури рівнів життєвості й процесів розселення з одночасною можливістю спостереження за ними.

Первинний посів відбувався шляхом занесення особини у вільну елементарну просторову одиницю з координатами (30,50) для особини Ж-1, (35,40) для особини Ж-2 і (40,30) для особини Ж-3. Розсів локалізовано концентровано в лівому верхньому куті фітоценотичного поля. Екзогенні параметри – коефіцієнт насінневого та вегетативного приживання становлять 7% та 95%, відповідно.

Схема синонтогенезу представлена таким чином (рис. 2).

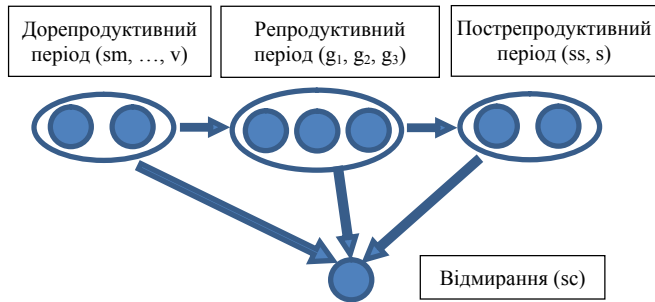
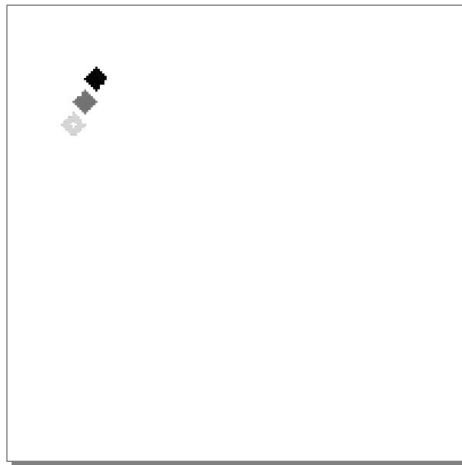


Рис. 2. Схема синонтогенезу.

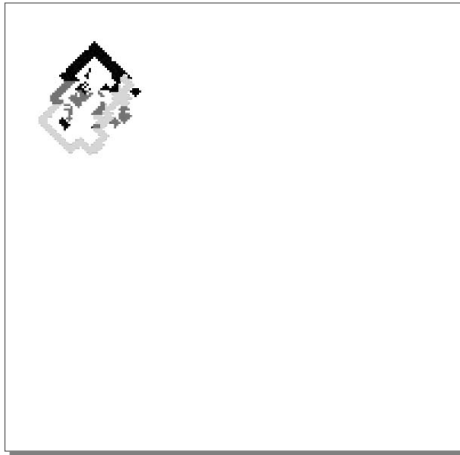
Після проходження 5-ти річного терміну, геометрія модельованого об'єкта набуває такого вигляду – рис. 3, а через десять років (15-та ітерація) – рис. 4.



ІТЕРАЦІЯ – 5		Ж-1	Ж-2	Ж-3
ЩІЛЬНІСТЬ – 0,29				
врожай	855	428	256	171
насіннєве поповнення	5	3	1	1
вегетативне поповнення	42	14	14	14
загальна кількість особин	117	41	40	36

Рис. 3. Стан системи на третьому році імітації.

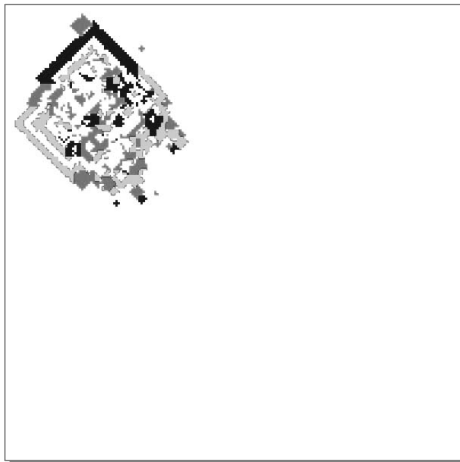
Вже на первинних етапах захоплення території чітко відображається формування інвазійних хвиль та їх контуру. Переважно у цьому процесі домінують роль відіграє група життєвості Ж-1. На 25-му модельному році – рис. 5 чітко помітний і вторинний контур інвазійних хвиль, а на 45-му році починається формування ядра системи – рис. 6. Динамічним процесам на цьому етапі розвитку характерна висока активністю групи життєвості Ж-1 та, зі збільшенням щільності розселення особин, проявляється тенденція до активізації і Ж-2.



ІТЕРАЦІЯ – 15		Ж-1	Ж-2	Ж-3
ЩІЛЬНІСТЬ – 1,66				
врожай	3675	1838	1102	735
насі́ннєве поповнення	20	11	6	3
вегетативне поповнення	176	92	48	36
загальна кількість особин	665	289	149	227

Рис. 4. Стан системи на 15-му році імітації.

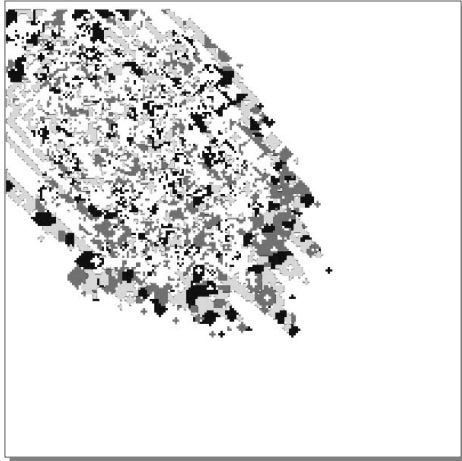
Нескладно зауважити, що первинний контур є потужніший і становить 7-8 особин завширшки, а вторинні контури – 4-6. Формування фронту інвазійної хвилі значною мірою відбувається під впливом переважного напрямку вітру. Фронтальна хвиля є потужніша й становить від 10 до 17 особин. Джерелом формування таких хвиль переважно є вегетативне поповнення популяції, а насіннєве поповнення постійно “збиває” амплітуду хвиль, змінюючи їх регулярність та періодичність і тим самим підсилюючи стійкість цієї популяції рис. 7.



ІТЕРАЦІЯ – 25		Ж-1	Ж-2	Ж-3
ЩІЛЬНІСТЬ – 4,83				
врожай	10275	5138	3082	2055
насі́ннєве поповнення	54	31	15	8
вегетативне поповнення	402	181	131	30
загальна кількість особин	1932	724	641	567

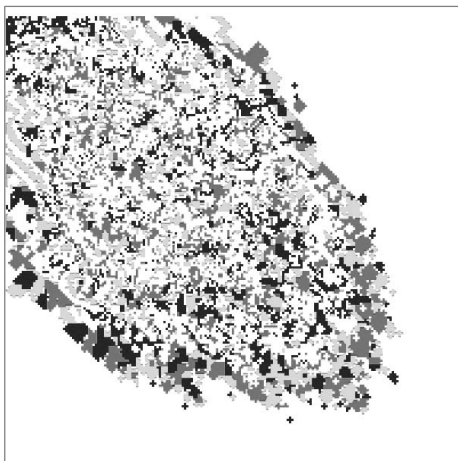
Рис. 5. Стан системи на 25-му році імітації.

Співвідношення груп життєвості є 1 : 0,6 : 0,4. Повне освоєння території відбувається на 90 ітерації рис. 8.



ІТЕРАЦІЯ – 45		Ж-1	Ж-2	Ж-3
ЩІЛЬНІСТЬ – 18,78				
врожай	37905	18952	11372	7581
насіннєве поповнення	201	114	57	30
вегетативне поповнення	1596	743	515	338
загальна кількість особин	7512	2911	2487	2114

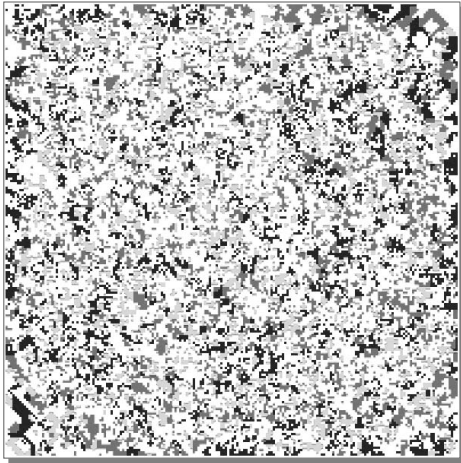
Рис. 6. Стан системи на 45-му році імітації.



ІТЕРАЦІЯ – 55		Ж-1	Ж-2	Ж-3
ЩІЛЬНІСТЬ – 29,33				
врожай	58985	29492	17696	11797
насіннєве поповнення	312	177	88	47
вегетативне поповнення	2385	955	847	583
загальна кількість особин	11731	3949	3994	3788

Рис. 7. Стан системи на 55-му році імітації.

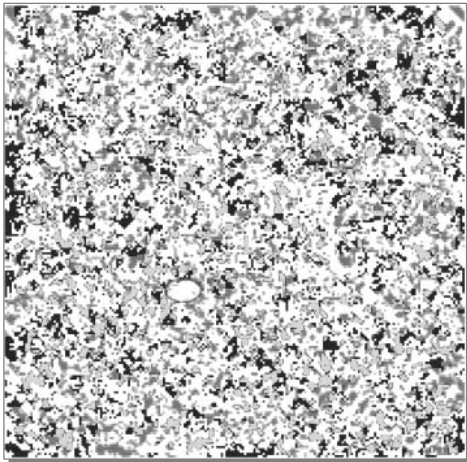
Під впливом інвазійних хвиль формується ядро системи. Динаміка його розширення пропорційна території, яку захопило угруповання. Саме ядро системи – це різної розмірності клони, в яких характер змін набув ознак пульсації (рис. 9 та рис. 10, де представлено регулярне періодичне збільшення або зменшення розміру клонів). Наприклад, на рис. 9 відображена ситуація модельованої системи на 100 році (ітерації), де вільна територія оконтурена еліпсом. Вигляд цієї ж території на 130 ітерації представлений на рис. 10. Територія, оконтурена еліпсом, повністю захоплена й заселена особинами Ж-1 та Ж-2 рівнів життєвості. В ядрі системи вегетативне поповнення переважно призводить до захоплення території, а насіннєве – надає стійкості системі.



ІТЕРАЦІЯ – 90 ЩІЛЬНІСТЬ – 43,35		Ж-1	Ж-2	Ж-3
врожай	84910	42455	25473	16982
насіннєве поповнення	450	255	127	68
вегетативне поповнення	3365	1302	1213	850
загальна кількість особин	17340	5430	6163	5247

Рис. 8. Стан системи на 90-му році імітації.

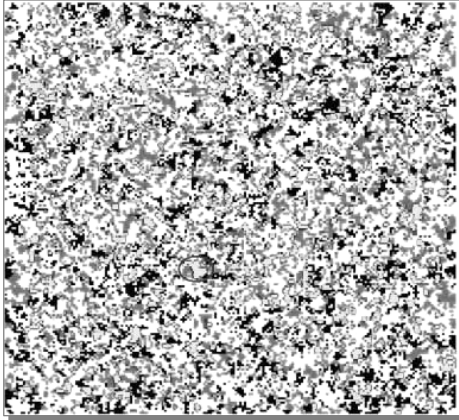
Завершується процес моделювання на 210 ітерації (рис. 11). Загальна сукупність особин цієї популяції представлена графіком на рис. 12, а з урахуванням диференціації на групи життєвості – рис. 13.



ІТЕРАЦІЯ – 100 ЩІЛЬНІСТЬ – 43,76		Ж-1	Ж-2	Ж-3
врожай	85840	42900	25752	17168
насіннєве поповнення	456	258	129	69
вегетативне поповнення	3451	1335	1167	949
загальна кількість особин	17503	5607	6137	5759

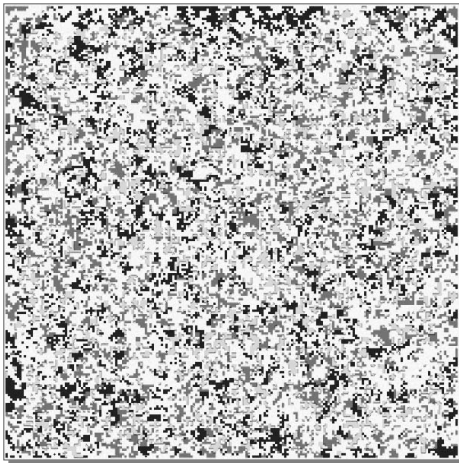
Рис. 9. Стан системи на 100-му році імітації.

Аналіз отриманих у результаті експерименту даних показує коливальний характер розвитку моделі, що підтверджує результати представлені в роботі Г.Г. Жилиєва, В. Б. Гісовського (Жилиєв, Гісовський, 1998). Стрімкий підйом демографічної кривої на початкових етапах зумовлений вільним простором для розселення рис. 12. Ознаки вичерпання просторового ресурсу на демографічній кривій можна зауважити вже на 71 ітерації, хоча візуально в моделі ще видно резерв вільного простору для розселення.



ІТЕРАЦІЯ – 130		Ж-1	Ж-2	Ж-3
ЩІЛЬНІСТЬ – 44,41				
врожай	85725	42862	25718	17145
насіннєве поповнення	455	257	129	69
вегетативне поповнення	3369	1361	1141	847
загальна кількість особин	17762	6004	5873	5885

Рис. 10. Стан системи на 130-му році імітації.



ІТЕРАЦІЯ – 210		Ж-1	Ж-2	Ж-3
ЩІЛЬНІСТЬ – 43,16				
врожай	84100	42050	25230	16820
насіннєве поповнення	445	252	126	67
вегетативне поповнення	3347	1359	1072	916
загальна кількість особин	17265	5616	5771	5878

Рис. 11. Стан системи на 210-му році імітації.

Етапу захоплення території характерне формуванням інвазійних хвиль, амплітуда яких залежить від переважного напрямку вітру. У R -стратегів це вказує на факт, що на початкових етапах заселення відбувається необмежене зростання чисельності. Диференційований вклад у процес інвазії проявляється у різних рівнях життєвості рис. 13.

Найбільший вклад належить беззаперечно групі життєвості $Ж-1$. Активність $Ж-2$ на другому місці й найпасивніша $Ж-3$ група. Завершальному етапу захоплення вільного просторового ресурсу характерна інтеграцією кривих і підготовка до проявів внутрішньовидової конкуренції.

Проведемо аналіз отриманих даних. Визначимо абсолютний приріст особин за формулою $\Delta_i = y_i - y_{i-1}$. Отриманий набір даних представимо у ви-

гляді гістограми рис. 14. Дел-1, Дел-2, Дел-3 – це прирости по групам життєвості Ж-1, Ж-2, Ж-3, відповідно. Ціна відліку по вісі абсцис дорівнює 25 ітерацій. Зауважимо, що вже після 50 ітерацій активність груп Ж-1, Ж-2 зменшується, а на 71 ітерації приріст Ж-1 стає від'ємний, що свідчить про вичерпання просторового ресурсу. Після 71 ітерації гістограма відображає коливальний характер розвитку.

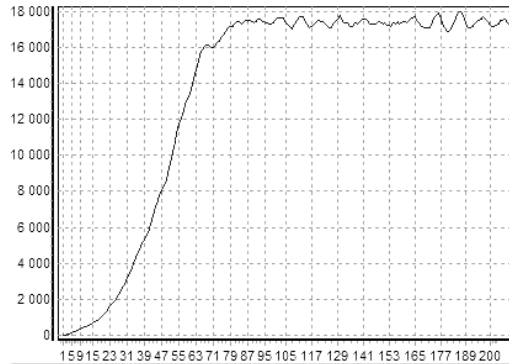


Рис. 12. Логістична крива стану моделювання на 210 ітераціях: динаміка чисельності особин (вісь ординат); часові інтервали (вісь абсцис).

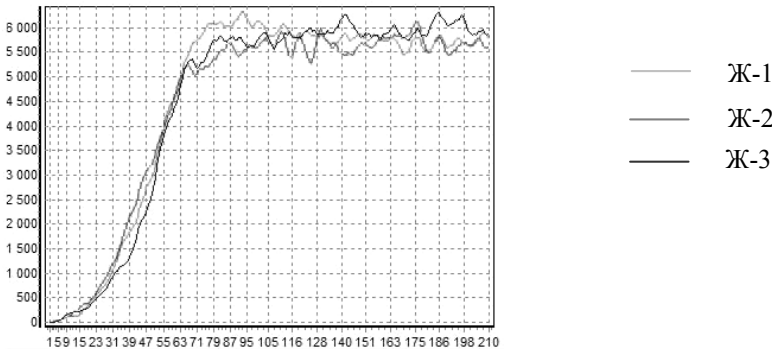


Рис. 13. Логістична крива стану моделювання на 210 ітераціях з урахуванням динаміки по групах життєвості: динаміка чисельності особин (вісь ординат); часові інтервали (вісь абсцис).

Темп збільшення популяції визначається за формулою $\Delta_{wi} = y_i/y_{i-1}$. Отриманий масив представимо у вигляді гістограми на рис. 15. Графічне зображення показує, що починаючи від 80 ітерації, приріст Δ_{wi} по групам життєвості є сталим. Що забезпечує цю сталість, не дивлячись на перманентні коливальні процеси, які відображені графічно на рис. 12, 13, 14? На нашу думку, фактор гетерогенності, як іманентна властивість віталітетного спектра, та аналіз демографічних даних доводять, що коливальні процеси та різна реак-

ція груп життєвості на утворену просторову топологію породжують *синергетичні властивості* системи, які забезпечують реалізацію емерджентності системи загалом.

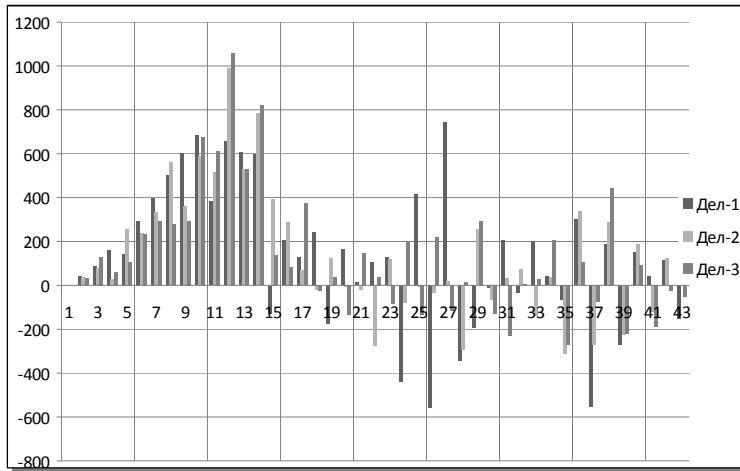


Рис. 14. Абсолютний приріст особин за інтервал моделювання: вісь абсцис – часовий інтервал; вісь ординат – абсолютний приріст.

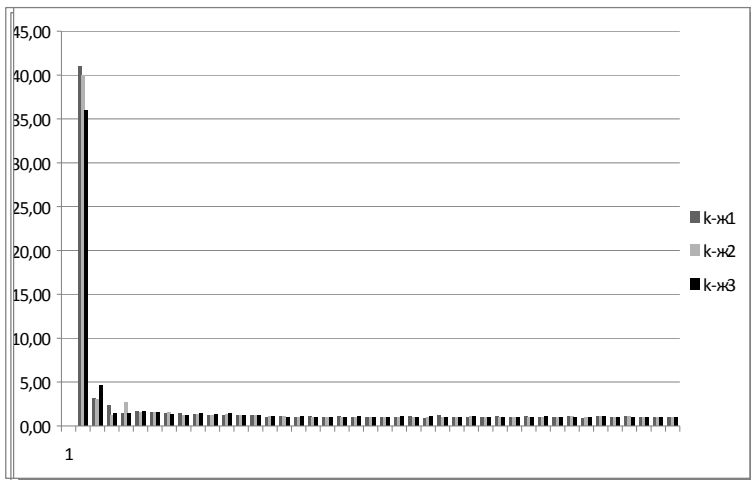


Рис. 15. Відносний приріст особин за інтервал моделювання: вісь абсцис – часовий інтервал; вісь ординат – абсолютний приріст.

Підсумовуючи, у загальному циклі розвитку популяції можна виділити два неоднакових за тривалістю та динамічними характеристиками періоди. Інвазійний – первинне заселення і стабілізаційний – збільшення чисельності особин. Для них характерне формування інвазійних хвиль та субпопуляційних локусів з переважанням розподілу в них *Ж-1* та *Ж-2* груп життєвості. В

інвазійному періоді популяція ще не є цілісною функціональною системою із загальним популяційним полем. Стабілізаційний період визначається за ознакою припинення необмеженого росту популяції внаслідок відсутності доступного для заселення простору. У цей період для чисельності особин різних груп життєвості властиві флуктуаційні процеси, просторові контури зливаються в загальне гетерогенне поле за характеристикою життєздатності. Обом етапам властива реалізація ефектів самоорганізації з метою впорядкування системи та підтримання стабілізаційних властивостей. При цьому різномірні за групами життєвості та синонтогенезом популяції можна представити як зкорельовану систему гетерогенних структур, які беруть участь у динамічних процесах. Але, при цьому, ця ж система зберігає і внутрішню когерентність, не зважаючи на свою гетерогенність і постійний вплив екзогенних параметрів. Отже, реалізація стабілізаційних функцій, які діють на засадах синергетичних ефектів, відбувається завдяки фактору двоїстості у системі взаємодії структур, породжений властивостями віталітетного спектра, та синонтогенезу. Вони проявляються через ці структури й виступають як два взаємодоповнювальні фактори єдиного живого організму.

-
- ГІССОВСЬКИЙ В. Б. Мультиагентні системи, як інструментарій побудови візуальних імітаційних моделей популяцій трав'янистих // Матер. наук. практ. конф., "Ресурси природних вод Карпатського регіону" – Львів, 2010. – С. 201-205.
- ЖИЛЯЄВ Г. Г., ГІССОВСЬКИЙ В. Б. Дослідження елементів стратегії просторового розвитку популяцій // Наук. запис. НТШ. Екологія. – Львів: Вид. НТШ.-1998. – Т. II, розділ IV. – С. 455-465.
- ЖИЛЯЄВ Г. Г. Новые аспекты концепции жизнеспособности популяций (по результатам многолетнего мониторинга на территории Карпатского национального природного парка) // Матер. наук. конф. "Роль природно-заповідних територій у підтриманні біорізноманіття" (Канів, 9-11 вересня 2003 р.). – Канів, 2003. – С. 314-315.
- ЖИЛЯЄВ Г. Г. Жизнеспособность популяций растений. – Львів: ЛПМ НАНУ, 2005. – 450 с.
- МАЛЬЦЕВ А. И. Алгебраические системы. – М.: Наука, 1970. – 392 с.
- РОБОТНОВ Т. А. Об эколого-биологическом и ценотическом своеобразии видов на примере луговых растений // Бюлл. МОИП. Отд. биол. – 1966.– 27. – С. 139-153.
- ТАРАСОВ В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям - философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 351 с.
- ТОМАШЕВСЬКИЙ В. М. Моделивання систем. – К.: Видавнична група BVH., 2005. – 347 с.
- УРАНОВ А. А. Фитогенное поле // Проблемы современной ботаники. – М.-Л.: Наука, 1965. – Т. 1. – С. 251-254.
- СЕТНАROWICZ K., NAWARECKI E., ZABINSKA M. M-Agent Architecture and its Application to the Agent Oriented Technology // Proceeding of the DAIMAS'97. International workshop Distributed Artificial Intelligence and Multi-Agent Systems. – St. Petersburg, Russia, 1997.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВИТАЛИТЕТНОГО СПЕКТРА ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ СРЕДСТВАМИ ВИЗУАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В. Б. ГИССОВСКИЙ

Построена визуальная имитационная модель популяции травянистых растений, учитывающая их жизнеспособность и базирующая на принципах мультиагентных систем. Полученные результаты показывают синергетические свойства динамики популяции, что имеет как теоретическое, так и практическое применение.

Ключевые слова: *жизнеспособность, популяция травянистых растений, визуальная модель, мультиагентные системы, синергетический эффект*

ANALYSIS OF VIABILITY OF PLANTS POPULATION BY MEANS OF COMPUTER VISUAL SIMULATION

V. B. GISSOVSKY

Visual simulation model of a plant population uses tools of multiagent systems located on a plane based on analysis of viability of populations is presented. The results show new possibilities of applications of discrete simulation modeling for analysis of plant populations and community dynamics with practical aspects of the analysis of viability of populations.

Key words: *viability, plant population, visual simulation, multiagent systems, self organization*

Надійшла 16.12.2010

Прийнята до друку 27.12.2010

ГІССОВСЬКИЙ В. Б. Інститут екології Карпат НАН України, вул. Козельницька, 4, м. Львів, 79026, Україна; e-mail: gnovina@gmail.com

GISSOVSKY V. B. Institute of Ecology of the Carpathians NAS of Ukraine, 4 Kozelnytska St., Lviv, 79026, Ukraine; e-mail: gnovina@gmail.com