

УДК 004.94

Грод І.М.

ПРОГНОЗУВАННЯ ЧИСЕЛЬНОСТІ ОКРЕМИХ ПОПУЛЯЦІЙ В ОДНІЙ ЕКОЛОГІЧНІЙ ЗОНІ

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль

В роботі розглядається моделювання процесів зміни динаміки популяцій під впливом різних факторів навколишнього середовища. Зроблено спробу спрогнозувати чисельність окремих популяцій в умовах нерівномірного розподілу видів і ресурсів, а також провести чисельне дослідження можливих сценаріїв співіснування і витіснення одного виду іншим. Конкуренцію можна визначити як використання якогось ресурсу (страви, води, світла, простору) яким-небудь організмом, який тим самим зменшує доступність цього ресурсу для інших організмів. Сутність міжвидової конкуренції полягає в тому, що у особин одного виду зменшується плодючість, виживання і швидкість відтворення. Для отримання результатів використовували обчислення швидкості зростання живої речовини в популяціях та обчислення коефіцієнтів максимально можливої біомаси. Прогнозовані показники відображено у вигляді графіків. Проведені обчислення дозволяють припустити, що при різних коефіцієнтах і певних значеннях параметрів можна добитися виходу на стійкі стаціонарні розподіли.

Ключові слова: модель, комп'ютерне моделювання, популяція, динаміка популяції, популяційна екологія, моделюючий об'єкт, двовимірні моделі, дискретні моделі, середовище Mathcad, мова програмування C#.

Постановка проблеми

Незалежно від того, що лежить в основі міжвидової конкуренції – використання одних і тих же ресурсів, боротьба за територію – вона може привести або до взаємного пристосування видів, або до витіснення одного виду іншим.

У реально існуючих природних екосистемах налічують десятки видів (популяцій, угруповань), що взаємодіють між собою.

Сукупність популяцій, що функціонують як цілісна одиниця у відведеному їй просторі фізичного природного середовища, являє собою біотичне угруповання.

Чисельність (щільність) цих популяцій з часом зазнає змін. Навіть якщо популяцію та екосистему вважають незмінними, щільність (кількість особин на одиницю площі або об'єму), народжуваність, рівень виживання (смертність), вікова структура, інтенсивність росту та інші характеристики, як правило, змінюються залежно від сезону, клімату, інших факторів навколишнього середовища.

Центральною проблемою в екології співтовариств є відшукання умов, що забезпечують

довготривале співіснування співтовариства як цілого чи вимирання деяких видів, яке призводить до нових довготривало-співіснуючих співтовариств. Варто враховувати, що тип взаємодії між різними видами популяцій може змінюватися від умов життя або стадій їх життєвих циклів, тобто він не є постійним.

Моделювання динаміки популяцій застосовується для вирішення таких, актуальних на сьогодні, завдань:

- збереження зникаючих і рідкісних видів;
- прогнозування чисельності промислових популяцій;
- розробка оптимальних стратегій промислу;
- вивчення міжвидової взаємодії;
- вивчення впливу антропогенних факторів на чисельність біологічних видів, тощо.

Екологічна криза сьогодні – це вже не проблема одного регіону чи країни – це проблема всього людства. Тільки знищивши, більшою мірою за останні два століття, флору і фауну планети, нас турбують проблеми виживання наступних поколінь.

Мета дослідження

Зазначені аргументи обумовили мету дослідження:

- змодельювати процес зміни динаміки певних популяцій під впливом різних факторів навколишнього середовища;
- дослідити антропогенний вплив на зміну чисельності цих популяцій;
- висвітлити проблеми популяційної динаміки;
- спрогнозувати зміну чисельності окремих популяцій.

Для розв'язання поставлених завдань було використано комплекс взаємопов'язаних методів:

- теоретичних – аналізу та узагальнення науково-педагогічної літератури з метою виявлення сучасного стану досліджуваної проблеми;
- емпіричних – спостереження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Жодне дослідження, включаючи і дослідження з біології та екології, не може бути повним і точним, якщо воно не супроводжується побудовою, хоча б найпростішою, але все ж таки математичної моделі досліджуваного об'єкта чи процесу. При цьому, чим складнішим є об'єкт чи процес, який розглядається, тим складніше знайти математичні абстракції, які підходять для його опису.

Математичні моделі описують клас об'єктів, явищ чи процесів, які мають спільні, подібні властивості або є ізоморфними. Багато класиків науки незалежно висловлювали одну і ту ж думку: «Область знання становиться наукою, коли вона висловлює свої закони у вигляді математичних співвідношень» [1]. Саме перші спроби математично описати біологічні процеси відносяться до процесів популяційної динаміки. Вивчення закономірностей динаміки чисельності популяцій необхідне для раціонального використання природних ресурсів. Основним припущенням, яке використовується при побудові математичних моделей динаміки зміни чисельності популяцій, є балансове співвідношення між різними групами у структурі популяції, враховуючи при цьому вплив різної природи факторів.

Побудова балансових співвідношень базується на основі простих припущень: приріст чисельності хижаків пов'язаний із швидкістю споживання жертв, врахувавши те, що при такому споживанні є неминучою втрата біомаси, а тому кількість народжених хижаків в жодному разі не може перевищувати кількість споживаних жертв. Кількість мігруючих популяцій з даної

території не може перевищити число популяцій, які проживають на ній.

Якщо вважати, що зовнішніх впливів на популяцію немає, тоді баланс чисельності популяції складається з таких основних факторів: народжуваність; смертність; імміграція; еміграція.

Для зручності вважатимемо, що чисельність деякого виду популяції є неперервною величиною. Такий клас задач на сьогоднішній день має розроблені математичні моделі, які використовують апарат диференціальних рівнянь.

Процес зміни чисельності популяції за невеликий проміжок часу Δt можна описати рівнянням:

$$x(t + \Delta t) = x(t) + B(t, x(t))\Delta t - D(t, x(t))\Delta t, \quad (1)$$

де $B(t, x(t))$ – кількість народжених і таких, що емігрували; $D(t, x(t))$ – кількість померлих і таких, що іммігрували.

Очевидно, що $B(t, 0) \equiv 0$, $D(t, 0) \equiv 0$.

Перейшовши до границі при $\Delta t \rightarrow 0$, одержимо диференціальне рівняння:

$$\Delta t = B(t, x(t)) - D(t, x(t)).$$

Для сучасного моделювання систем «хижак-жертва» або «споживач-ресурс» широко застосовують таку систему рівнянь:

$$\frac{dR}{dt} = Q - V(R, N)N, \quad (2)$$

$$\frac{dN}{dt} = -mN + kV(R, N)N, \quad (3)$$

де R – кількість ресурсу; N – кількість (біомаса) особин популяції споживачів; Q – швидкість надходження ресурсу в систему; $V(R, N)$ – функція, яка моделює швидкість споживання ресурсу однією особою популяції (питома швидкість споживання); $k < 1$ – частина ресурсу, використовувана за продуктивних цілей; m – коефіцієнт смертності, обернено пропорційний середній тривалості життя особин в певних умовах навколишнього середовища.

Негативне ставлення одного виду до іншого, пов'язане з боротьбою за існування, за домінування, за їжу, простір та інші ресурси між організмами з однаковими потребами. У результаті конкуренції один вид скорочує ресурси іншого виду, який внаслідок цього повільніше росте, залишає менше число нащадків і має мен-

ше шансів вижити.

Для вивчення таких питань обов'язково використовуються математичні методи, зокрема, комп'ютерне моделювання. Актуальною темою на сьогоднішній день залишається розробка адекватного математичного апарата для вивчення чисельності динаміки популяцій.

В західних регіонах України, зокрема, поряд з суто фауністичними дослідженнями проводилися також екологічні дослідження тих чи інших популяцій (І.М. Грод, Л.О. Шевчик [2], В.І. Здун [3], А.П. Старниченко [4]).

Виклад основного матеріалу

Будемо розглядати сукупність взаємодіючих між собою популяцій. Під популяцією розуміється сукупність особин, що можуть давати життєздатне потомство й піддаються впливу однакових зовнішніх і внутрішніх факторів середовища існування. Вважатимемо, що ареал проживання особин популяції обмежений.

Сутність міжвидової конкуренції полягає в тому, що у особин одного виду зменшується плодючість, виживання і швидкість відтворення.

Так як маємо справу з різними популяціями, то звернемося до логістичного рівняння і спробуємо врахувати міжвидову конкуренцію.

Розглядаючи динаміку чисельності популяцій, екологи насамперед намагаються зрозуміти її закономірності, при якій особини одного виду впливають на особини іншого виду, і пояснити різницю між типами динамік.

Метою числового експерименту є аналіз

чисельності трьох видів. Для побудови математичної моделі використаємо вхідні дані: кількість трав'янистих – 100; кількість рослин – 200; кількість хижаків – 110; кількість рослин, які з'їдає одна особина популяції трав'янистих тварин – 1; кількість рослин на квадратний метр – 10; кількість трав'янистих, які з'їдає одна особина популяції хижака – 0,5; швидкість розмноження популяції трав'янистих тварин – 0,1; швидкість росту рослин – 40%; швидкість розмноження популяції хижака – 0,10001; доступна площа для розмноження рослин – 19; тривалість життєвого циклу – 12.

В роботі зроблено спробу спрогнозувати чисельність окремих популяцій (багаторічні трави, молюски (слимаки), дикі кабани) в умовах нерівномірного розподілу видів і ресурсів, а також провести чисельне дослідження можливих сценаріїв співіснування і витіснення одного виду іншим.

Числове моделювання здійснювалося на базі двох рівнянь:

1) рівняння для обчислення показника приросту популяції:

$$V_n = rN - \frac{r}{k} N^2, \text{ де } r = \frac{\ln(N_2) - \ln(N_1)}{t_2 - t_1};$$

2) рівняння для обчислення показника максимально можливої біомаси $N(t) = N_0 e^{r(t-t_0)}$.

Прогнозовані показники відображено у вигляді графіків (рис. 1), які отримали з допомогою системи програмування C#.

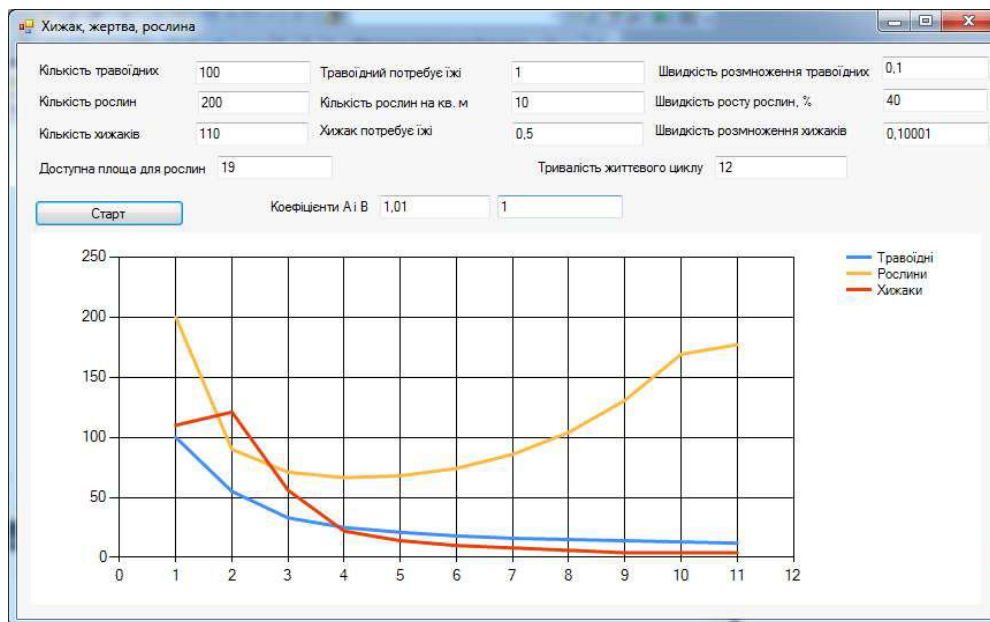


Рис. 1. Модель співвідношення популяцій на визначеній території (Microsoft Visual Studio C#)

Побудована модель (рис. 2) дає підстави зробити висновки, що згідно постановки задачі було правильно описано математичний функціонал, який дозволяє отримати її розв'язок. У обох розроблених комп'ютерних моделях отримали однаковий результат.

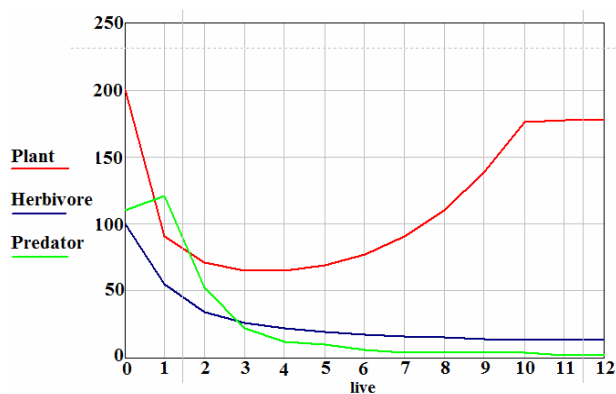


Рис. 2. Модель співвідношення популяцій на визначеній території (Mathcad)

Верифікацію розроблених моделей проведено за даними моніторингу певного виду популяцій, що були отримані студентами природничого факультету під час весняно-літньо-осінніх польових практик та звіти лісництва Чортківського району Тернопільської області (результати надані на рис. 1 та рис. 2).

Для того, щоб довести правильність постановки задачі та отриманого розв'язку цієї ж задачі засобами Microsoft VisualStudio C# 2010, побудовано комп'ютерну модель у середовищі Mathcad (рис. 2).

Висновки та перспективи подальших досліджень

Будь-яка популяція рослин, тварин чи мікроорганізмів – це досконала жива система, їй властива саморегуляція, відновлення своєї динамічної рівноваги. Але вона існує не ізольовано, а разом з популяціями інших видів, утворюючи таким чином біоценози.

Тому при математичному моделюванні динаміки популяції необхідно враховувати вплив багатьох факторів.

Розроблена математична модель адекватно описує основні фактори, які впливають на динаміку розвитку популяцій, що розглядаються.

Отримані результати знайшли підтвердження в процесі досліджень під час польових практик. Проведені обчислення дозволяють припустити, що при різних коефіцієнтах і певних значеннях параметрів можна добитися виходу на

стійкі стаціонарні розподіли. Вважаємо, що отримані результати можна застосовувати для прогнозування поведінки конкуруючих біосистем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондарчук С.С., Перевозкин В.П. Математическое моделирование в популяционной экологии. – Томск: Томский государственный педагогический университет, 2014. – 233 с.
2. Грод І.М., Шевчик Л.О. Моделювання динаміки коливання біомаси та продуктивності популяцій виноградно-го слимака (*Helix pomatia*) у складі лісового біоценозу // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем: Збірник доп. I Всеукр. науково-техн. конф. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ. – 2015. – Ч.1. – С.60-64.
3. Здун В.І. До фауни молюсків Закарпаття // Наук. зап. наук.-природозн. музею УРСР. – 1960. – С.83-95.
4. Старниченко А.П., Старниченко Ю.А. К фауне і екології пресноводних молюсків (*Gastropoda, Bivalvia*) Українського Полесья // Гидробиол. журн. – 1984. – Т.20. – № 2. – С.36-40.
5. Моделювання і прогнозування стану довкілля: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / Лаврик В.І., Боголюбов В.М., Полетаєва Л.М., Ільїна В.Г., Юрасов С.М. – К.: Академія, 2010. – 397 с.

Надійшла до редакції: 10.10.2016

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Боднар Д.І.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ В ОДНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Грод І.Н.

В работе рассматривается моделирование процессов изменения динамики популяций под воздействием различных факторов окружающей среды. Сделана попытка спрогнозировать численность отдельных популяций в условиях неравномерного распределения видов и ресурсов, а также провести численное исследование возможных сценариев сосуществования и вытеснения одного вида другим. Конкуренция можно определить как использование какого-то ресурса (еда, воды, света, пространства) каким-нибудь организмом, который тем самым уменьшает доступность этого ресурса для других организмов. Сущность конкуренции заключается в том, что у одной особи уменьшается плодовитость, выживаемость и скорость воспроизведения. Для получения результатов использовались вычисления скорости роста живого вещества в популяциях и вычисления коэффициентов максимально возможной биомассы. Прогнозируемые показатели отображены в виде графиков. Проведенные вычисления позволяют предположить, что при разных коэффициентах и определенных значениях параметров можно добиться выхода на устойчивые стационарные распределения.

Ключевые слова: модель, компьютерное моделирование, популяция, динамика популяции, популяционная экология, моделируемый объект, двумерные модели, дискретные модели, среда Mathcad, язык программирования C#.

OF PREDICTING THE SIZE OF INDIVIDUAL POPULATIONS IN ONE SAME ECOLOGICAL ZONE**Hrod I.N.**

This paper describes the modeling of the changes in the dynamics of populations under the influence of various environmental factors. An attempt is made to predict the number of individual populations in terms of the uneven distribution of species and resources, as well as to conduct a numerical study of possible scenarios of coexistence and displacement of one species by another. Competition can be defined as the use of some resource (food, water, light, space) any organism that reduces the availability of that resource to other organisms. The essence of interspecific competition is that individuals of one species reduce the fecundity, survival rate and playback speed. Used calculation formula of the rate of growth of living matter in the populations and the coefficients of the maximum possible biomass. The projected figures are displayed in graphs. At different coefficients and the specific values of the parameters it is possible to achieve stable stationary distributions.

Keywords: model, computer modeling, population, population dynamics, population ecology, modeling facility, two-dimensional model, discrete model, Mathcad environment, programming language C#.