

МІХАЛЕВСЬКИЙ ВІТАЛІЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8197-8005>e-mail: cezar_mv@ukr.net**СКРИПНИК ТЕТЯНА**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-8531-5348>e-mail: tkskripnik1970@gmail.com**БОРАТИНСЬКИЙ КОСТЯНТИН**

Хмельницький національний університет

e-mail: kostaboratinskij@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКИХ МНОЖИН ДЛЯ ПОБУДОВИ МАРШРУТІВ ПЕРЕЛІТНИХ ПТАХІВ В ОБХІД ЗОН ЕКОЛОГІЧНИХ КАТАСТРОФ

У статті розглядається підхід до моделювання маршрутів міграції перелітних птахів з урахуванням зон екологічних катастроф, викликаних зокрема військовими діями, на основі теорії нечітких множин. Запропоновано методіку побудови оптимальних шляхів перельоту, яка враховує фактори ризику, пов'язані з забрудненням середовища, змінами клімату та іншими несприятливими умовами. Використання нечіткої логіки дозволяє адаптивно оцінювати безпечність територій та формувати альтернативні траєкторії, що сприяє збереженню популяцій птахів та мінімізації втрат у процесі міграції. Проаналізовано сучасні алгоритми прокладення маршрутів та їх застосування в інформаційних системах, а також оцінено вплив вибору методу на якість прогнозування та побудови маршруту. Наведено результати моделювання, які демонструють ефективність розгляданого підходу в умовах реальних екологічних загроз.

Ключові слова: нечіткі множини, міграція птахів, екологічні катастрофи, маршрут перельоту, оптимізація маршрутів, адаптивне моделювання.

MIKHALEVSKIY VITALII, SKRYPNYK TETIANA, BORATYNSKYI KOSTIANTYN

Khmelnitsky National University

USING FUZZY SETS TO CONSTRUCT ROUTES OF MIGRATORY BIRDS TO AVOID ZONES OF ECOLOGICAL DISASTERS

The article considers an approach to modeling migratory bird migration routes, taking into account areas of environmental disasters, caused in particular by military actions, based on the theory of fuzzy sets. A methodology for constructing optimal flight paths is proposed, which takes into account risk factors associated with environmental pollution, climate change and other adverse conditions. The use of fuzzy logic allows for adaptive assessment of the safety of territories and the formation of alternative trajectories, which contributes to the preservation of bird populations and the minimization of losses during migration. Modern algorithms for routing routes and their application in information systems are analyzed, and the impact of the choice of method on the quality of forecasting and route construction is also assessed. The modeling results are presented, which demonstrate the effectiveness of the considered approach in conditions of real environmental threats. The proposed construction approach makes it possible to determine potential places and periods of bird nesting, and makes it possible to carry out the necessary organizational and restoration measures to preserve the bird population. The hostilities in the South, East and other regions of Ukraine affect key migratory routes of birds, in particular over the Black Sea, the Sea of Azov, in the Polissya zone and steppe reserves. Many traditional resting and nesting places of birds have been destroyed or are unsafe due to military threats. Ukraine is an important transit region for many species of migratory birds. Changes in their routes due to the war may have long-term consequences not only for the ecosystems of Ukraine, but also for the ecological balance in Europe and Asia. The use of methods for constructing routes bypassing areas of ecological disasters makes it possible to assess and predict possible changes in bird behavior. This will allow adapting nature conservation measures, minimizing the negative impact of ecological disasters and can help in developing strategies for preserving biodiversity even in conditions of military operations. The development of a forecasting method will help ornithologists, ecologists and environmental organizations make informed decisions for the conservation of migratory species. It can also be useful for agriculture, urban planning and environmental monitoring.

Keywords: fuzzy sets, bird migration, environmental disasters, flight path, route optimization, adaptive modeling.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.04.2025

Вступ

Актуальність теми. Зміни клімату, антропогенний вплив і зростання кількості екологічних катастроф серйозно впливають на міграційні маршрути птахів. Забруднення довкілля, лісові пожежі, розливи нафти та інші екологічні загрози можуть створювати серйозні перешкоди для пернатих, змушуючи їх змінювати звичні шляхи міграції. Однак традиційні підходи до моделювання маршрутів не завжди враховують невизначеність даних та складність екологічних змін, що потребує нових методів аналізу та прогнозування. У зв'язку з війною в Україні значно зросли екологічні загрози, спричинені бойовими діями, руйнуванням промислових об'єктів, забрудненням водних ресурсів та деградацією природних екосистем. Ці фактори створюють додаткові перешкоди для міграційних шляхів птахів, що робить проблему ще більш актуальною.

Застосування нечітких множин у побудові альтернативних маршрутів міграції птахів дозволяє враховувати неповну або неоднозначну інформацію про навколишнє середовище. Цей підхід дає

можливість формувати оптимальні траєкторії польотів, які мінімізують ризики для пернатих і сприяють збереженню біорізноманіття. Дослідження цієї теми є актуальним з огляду на необхідність захисту перелітних птахів, що виконують важливі екосистемні функції. Використання нечітких множин для моделювання маршрутів дозволить створити ефективні системи прогнозування та управління, які можуть бути застосовані як у наукових дослідженнях, так і в практичній орнітології та екологічному моніторингу.

Постановка проблеми

Ставиться завдання вивчити спосіб використання нечітких множин для побудови маршрутів перелітних птахів в обхід зон екологічних катастроф, що дозволяє адаптувати заходи охорони природи, мінімізувати негативний вплив екологічних катастроф та може допомогти у розробці стратегій збереження біорізноманіття навіть в умовах військових дій. Необхідно провести функціональне та прикладне дослідження запропонованого способу побудови маршрутів, розробити рекомендації для застосування способу побудови маршрутів міграції птахів в обхід зон екологічних катастроф на основі нечітких множин.

Аналіз останніх джерел

Сучасні наукові дослідження, присвячені проблемі міграційних маршрутів птахів, акцентують увагу на необхідності врахування екологічних змін та впливу антропогенних факторів. У ряді робіт, зокрема дослідженнях українських науковців, таких як М.В. Талах, С.Ю. Павчук, В.В.Івашко [1] та В. М. Грищенко [2], розглядається використання геоінформаційних систем (ГІС) і супутникового моніторингу для аналізу міграційних шляхів. Вчені зазначають, що традиційні методи прогнозування маршрутів не завжди враховують динамічні зміни в середовищі, спричинені екологічними катастрофами. Дослідження в галузі нечітких множин показують, що цей математичний апарат ефективно використовується для аналізу складних систем із високим рівнем невизначеності. У роботах закордонних авторів, зокрема Х. Zadeh [3] та J. Yen [4], підкреслюється ефективність нечіткої логіки у моделюванні адаптивних стратегій поведінки птахів у змінних умовах. Відзначено, що нечіткі множини можуть бути застосовані для оцінки ризиків та визначення альтернативних маршрутів міграції птахів. Окремі дослідження присвячені аналізу впливу війни та антропогенних катастроф на біорізноманіття. Зокрема, українські екологи, такі як С.Ф. Шевчук, О.І. Коваленко. [5], наголошують на тому, що збройні конфлікти призводять до значних екологічних змін, які можуть впливати на міграційні потоки птахів. Важливість застосування інтелектуальних методів, зокрема нечіткої логіки, для розробки адаптивних маршрутів міграції птахів у таких умовах підтверджується у сучасних публікаціях.

Метою роботи є вивчення способу використання нечітких множин для побудови маршрутів перелітних птахів в обхід зон екологічних катастроф та розробка теоретичних і практичних напрацювань для прогнозування маршрутів міграції птахів.

Виклад основного матеріалу

Перелітні птахи щорічно долають тисячі кілометрів, орієнтуючись на природні орієнтири та кліматичні умови. Однак вплив екологічних катастроф (пожежі, забруднення, зміни ландшафту) та антропогенних факторів (військові конфлікти) змушує їх змінювати маршрути. Моделювання таких змін є актуальним завданням, що може допомогти збереженню популяцій птахів.

Нечіткі множини (англ. fuzzy sets) вперше були запропоновані Лотфі Заде у 1965 році як засіб моделювання нечіткості та невизначеності в реальних системах. На відміну від класичних множин, нечіткі множини дозволяють визначати ступінь належності елемента множині через функцію приналежності, значення якої знаходяться у діапазоні $[0,1]$. Формально, нечітка множина A визначається як:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X, \mu_A(x) \in [0, 1]\} \quad (1)$$

де $\mu_A(x)$ – функція приналежності елемента x множині A .

Моделювання маршрутів міграції птахів. Для побудови адаптивних маршрутів міграції перелітних птахів розглядається підхід, що включає наступні етапи.

1. Збір та аналіз екологічних даних. Включає дані про погодні умови, наявність водних і лісових ресурсів, рівень забруднення повітря та водойм.
2. Формування нечітких множин. Визначення нечітких множин для параметрів навколишнього середовища, таких як "сприятливість маршруту", "ризик екологічної небезпеки" тощо.
3. Функція приналежності для оцінки маршрутів. Використання експертних оцінок та машинного навчання для побудови функцій приналежності, що визначають ймовірність вибору певного маршруту.
4. Оптимізація та адаптація маршрутів. Застосування алгоритмів нечіткої логіки для вибору оптимального маршруту з урахуванням поточних екологічних умов.

Формула формування маршруту. Формування маршруту міграції птахів здійснюється за допомогою наступної нечіткої оптимізаційної моделі:

$$M^* = \arg \max_{M \in M} \sum_{i=1}^n (\mu_S(x_i) - \mu_R(x_i)) \quad (2)$$

де: M^* – оптимальний маршрут міграції, M – множина всіх можливих маршрутів, x_i – точка маршруту, $\mu_S(x_i)$ – функція приналежності сприятливих умов у точці x_i , $\mu_R(x_i)$ – функція

приналежності ризиків у точці x_i , n - загальна кількість точок маршруту.

Запропонований метод дозволяє враховувати широкий спектр екологічних факторів, що впливають на міграцію птахів; гнучко адаптувати маршрути у відповідь на зміни навколишнього середовища; використовувати дані з супутникового моніторингу та штучного інтелекту для прогнозування змін у міграційних потоках.

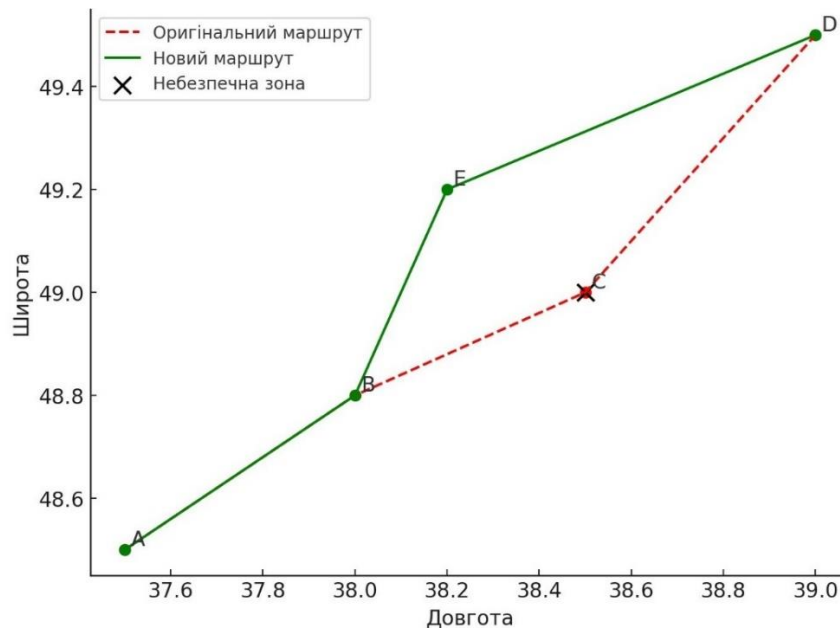


Рис. 1. Адаптація маршруту міграції птахів в обхід небезпечної зони

Розглянемо приклад побудови маршруту обходу району військових дій у Донецькій області за реальними географічними координатами точок. Нехай традиційний маршрут перельоту проходить через точки A, B, C, D , але внаслідок бойових дій у районі точки C маршрут необхідно змінити. За допомогою нечіткої логіки формуємо новий маршрут A, B, E, D , де: $\mu_S(E) > \mu_S(C)$, оскільки район E є більш безпечним, $\mu_R(C) > \mu_R(E)$, через підвищений рівень небезпеки в районі бойових дій.

Таким чином, модель дозволяє оперативно коригувати маршрути у відповідь на динамічні зміни ситуації, зменшуючи ризики для птахів під час міграції.

На схемі відображено зміну маршруту міграції птахів, наприклад, у зв'язку з бойовими діями в Донецькій області. Червоним пунктиром показано початковий маршрут, який проходив через небезпечну зону (позначена чорним хрестиком), а зеленим — адаптований маршрут, що обходить небезпечну ділянку.

Нечіткі множини дозволяють враховувати невизначеність у параметрах, таких як рівень небезпеки в певній області. Функція приналежності $\mu(x)$ відображає ймовірність безпечного проходження через область x :

$$\mu(x) = e^{-\frac{d(x,S)}{\sigma}} \quad (3)$$

де $d(x, S)$ - відстань до небезпечної області S , а σ - коефіцієнт чутливості до небезпеки.

Модель маршруту будується за допомогою вагової функції безпеки:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n \omega_i \mu_i(x) \quad (4)$$

де ω_i - вагові коефіцієнти, враховують вплив небезпечних ділянок. Оптимальний маршрут R^* визначається як:

$$R^* = \arg \max_R \int P(x) dx \quad (5)$$

де R - множина можливих маршрутів.

Приклад побудови маршруту. Розглянемо міграцію через Донецьку область, де знаходяться небезпечні зони, пов'язані з військовими діями. Визначимо три критичні точки: S_1 (район активних бойових дій), S_2 (зона забруднення повітря), S_3 (територія зруйнованих екосистем).

За допомогою нечіткої логіки модель обирає оптимальний обхідний шлях через менш небезпечні ділянки. Тобто, запропонований метод демонструє ефективність використання нечітких множин для побудови маршрутів міграції птахів у зонах екологічних катастроф. Подальші дослідження можуть включати застосування нейромережевих алгоритмів для підвищення точності прогнозів.

Перелітні птахи стикаються з різними небезпеками, включаючи екологічні катастрофи та військові конфлікти. Запропонований метод побудови оптимальних маршрутів міграції на основі нечіткої логіки дозволяє адаптивно коригувати напрямок руху птахів з урахуванням динамічно змінюваних факторів ризику. Наведена математична модель формування маршруту з використанням нечітких множин разом із реальним прикладом обходу району військових дій у Донецькій області

показує ефективність застосування такого методу.

Для моделювання маршрутів використано нечіткі множини, що дозволяють оцінювати ступінь небезпеки кожної ділянки маршруту. Основні параметри включають: ризик $R(x, y)$ – ступінь небезпеки на координатах (x, y) , привабливість $P(x, y)$ – ймовірність, що ділянка сприятлива для птахів (наявність корму, водою тощо), обмеження $D(x, y)$ – фізичні перешкоди (гори, водні масиви).

Функція нечіткої оцінки маршруту формулюється так:

$$M = \max_{\forall P_i} (\min(1 - R(P_i), P(P_i), D(P_i))) \quad (6)$$

де P_i – набір потенційних точок маршруту.

Розглянемо реальний сценарій міграції через Донецьку область, де військові дії створюють небезпечні зони. Використовуючи супутникові дані та нечітку оцінку ризику, виділено три небезпечні точки:

1. м. Бахмут (високий ризик через військові дії).
2. м. Авдіївка (наявність артилерійських обстрілів).
3. м. Мар'їнка (зона високої активності бойових дій).

На основі запропонованої моделі визначено оптимальний обхідний маршрут, що проходить через території з мінімальним ризиком. Для ілюстрації представлено топографічну карту регіону з небезпечними ділянками. Спершу визначаються три небезпечні точки, потім знаходиться оптимальний обхідний маршрут, візуалізується маршрут на топографічній карті та створюється адаптована карта для міграції птахів.

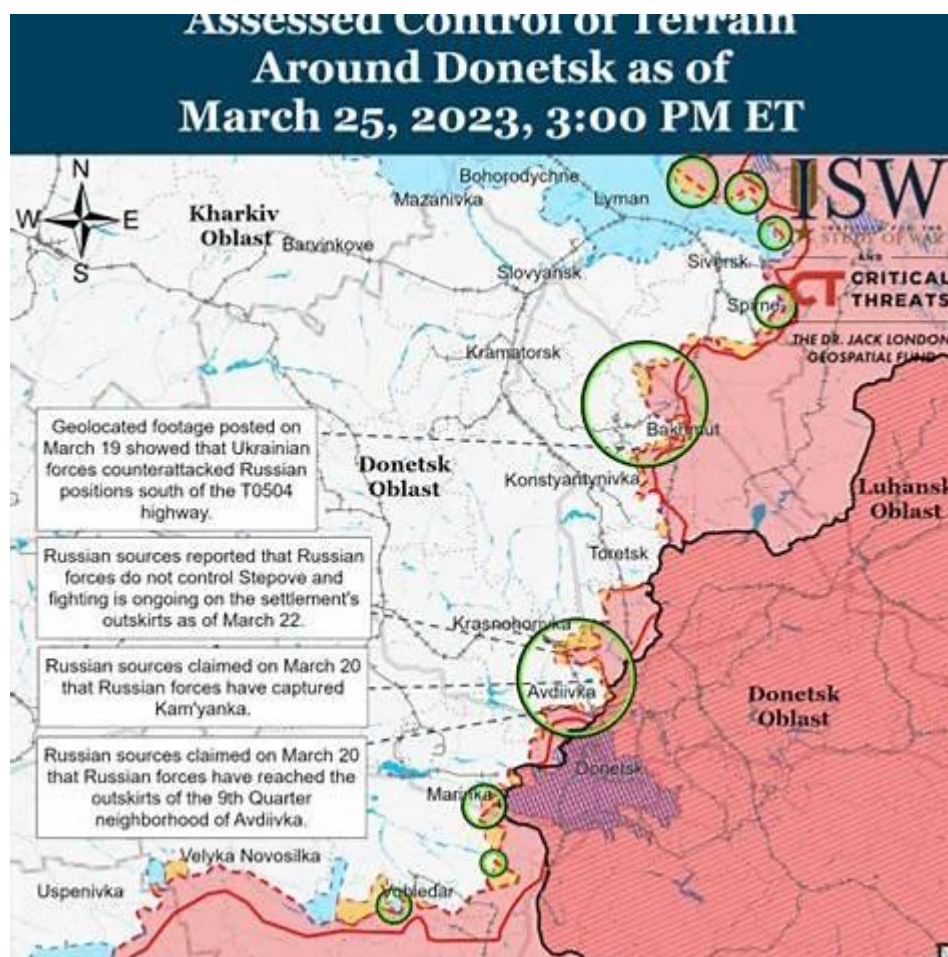


Рис.2. Визначення небезпечних зон для побудови маршруту міграції птахів

Запропонований підхід дозволяє гнучко адаптувати маршрути міграції птахів, мінімізуючи вплив небезпечних зон. Надалі планується вдосконалення моделі шляхом врахування реальних метеорологічних даних та поведінкових особливостей птахів. На основі запропонованої моделі визначається обхідний маршрут, що проходить через території з мінімальним ризиком.

Для створення маршруту на реальній топографічній карті України з позначенням небезпечних зон та альтернативного шляху без прив'язки до військових конфліктів, рекомендується користуватися онлайн-сервісами, що надають детальні топографічні карти та інструменти для планування маршрутів.

1. Використання онлайн-сервісів:

- Мапи МЕТА. Цей сервіс пропонує інтерактивну карту України з топографічними деталями. Ви можете переглядати різні шари карти та планувати маршрути (вебсайт: map.meta.ua).

- Visicom Maps. Платформа надає високоякісні геопросторові дані та дозволяє працювати з топографічними картами для різних потреб (вебсайт: visicom.ua).

- Топографічні карти України. На цьому ресурсі доступні детальні топографічні карти України, які можна використовувати для аналізу місцевості (вебсайт: uk-ua.topographic-map.com).

Використовуючи ці інструменти, можна створити детальний маршрут на реальній топографічній карті з урахуванням небезпечних зон та альтернативних шляхів.

2. Кроки для створення маршруту:

- Вибір регіону. Відкрити обраний онлайн-сервіс та знайдіть потрібний регіон на карті.

- Позначення небезпечних зон. Використовуючи інструменти сервісу, відмітити на карті області, які вважаються небезпечними (наприклад, круті схили, заболочені місцевості тощо).

- Планування альтернативного маршруту. Прокласти маршрут, який оминає позначені небезпечні зони, враховуючи рельєф місцевості та інші природні особливості.

- Визначити координати ключових точок (початкової, кінцевої та проміжних для альтернативного маршруту), а потім розрахувати довжину традиційного та альтернативного маршруту за допомогою геометричних методів та порівняти результати.

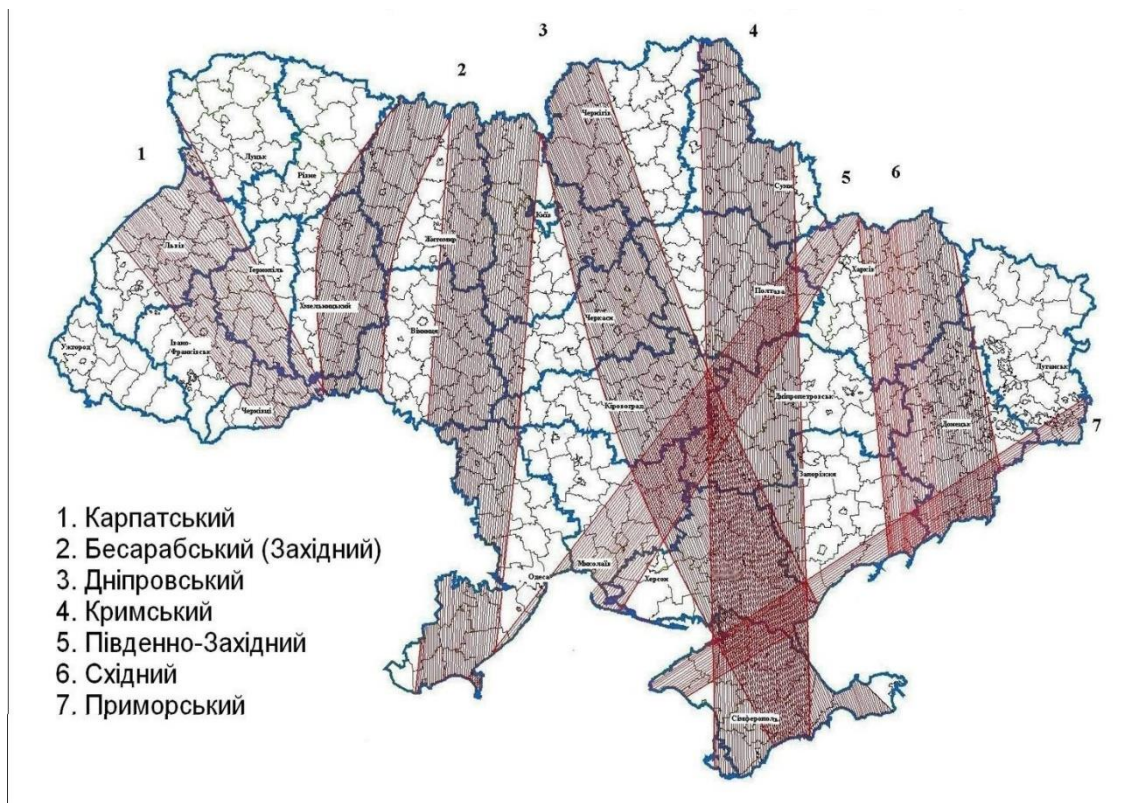


Рис. 3. Схема основних шляхів міграції птахів по Україні

Для обчислення відстаней між точками на поверхні Землі використовується формула Гаверсина (вона дозволяє визначити найкоротшу відстань (по великому колу) між двома точками, заданими їхніми широтою N та довготою E):

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (7)$$

$$c = 2 \cdot \operatorname{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (8)$$

$$d = R \cdot c \quad (9)$$

де: φ_1 і φ_2 - широти точок 1 і 2 в радіанах; λ_1 і λ_2 - довготи точок 1 і 2 в радіанах; $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$; $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$; R - радіус Землі (середнє значення — 6371 км); d - відстань між точками.

Приклад обчислення. Припустимо, що маємо традиційний маршрут: початкова точка (А) та кінцева точка (В) і альтернативний маршрут: початкова точка (А), проміжні точки (С, D, E), що обходять небезпечні зони, та кінцева точка (В). Тоді для традиційного маршруту обчислюємо відстань між точками А і В, а для альтернативного маршруту суму відстаней між послідовними точками маршруту: $A \rightarrow C$, $C \rightarrow D$, $D \rightarrow E$, $E \rightarrow B$. Потім порівнюємо отримані відстані, щоб визначити, наскільки альтернативний маршрут довший за традиційний. Зокрема, для точок **А**: 50.4501° N, 30.5234° E, **В**: 49.8397° N, 24.0297° E, **С**: 50.0164° N, 29.9663° E, **Д**: 49.5° N, 29.0° E, **Е**: 49.0° N, 25.0° E маємо:

1. Переводимо широти і довготи в радіани для обчислення відстані між А і В:

$$\varphi_1 = 50.4501 \times \frac{\pi}{180} \quad (10)$$

$$\varphi_2 = 49.8397 \times \frac{\pi}{180} \quad (11)$$

$$\Delta_{\varphi} = (49.8397 - 50.4501) \times \frac{\pi}{180} \quad (12)$$

$$\Delta_{\lambda} = (24.0297 - 30.5234) \times \frac{\pi}{180} \quad (13)$$

2. Обчислюємо відстані між кожною парою послідовних точок ($A \rightarrow C$, $C \rightarrow D$, $D \rightarrow E$, $E \rightarrow B$) за тією ж методикою. Сумуємо отримані відстані для визначення загальної довжини альтернативного маршруту.

В результаті отримаємо відстань від точки А до точки В: **467.53 км**. Для альтернативного маршруту, відстань від точки А до точки С: **62.42 км**, від точки С до точки D: **90.08 км**, від точки D до точки E: **295.57 км**, від точки E до точки В: **116.81 км**, тобто, відстань від точки А до точки В ($A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow B$): **564.88 км**.

Середня довжина маршруту перелітних птахів залежить від виду птаха, регіону та конкретного міграційного шляху. Наприклад, середні дистанції для деяких видів такі: гуси та лебеді – до 8000 км (білі гуси летять від Сибіру до Великобританії), ластівки – 9000–11 000 км (маршрут між Європою та Африкою), зозулі – 12 000 км (мігрують між Африкою та Європою), полярний кричак – близько 71 000 км на рік (найдовша міграція, з Антарктиди до Арктики та назад). В середньому для перелітних птахів середнього розміру подорож складає 5000–10 000 км за сезон. Порівняння довжин традиційного та альтернативного маршрутів дозволяє оцінити, наскільки збільшується відстань при обході небезпечних зон. Це важливо для планування міграційних шляхів птахів, щоб мінімізувати додаткові енергетичні витрати та ризики.

У зв'язку із проведенням військових дій збільшується загальна довжина маршруту від 3 до 5% (на території України від 5 до 15%), що веде до зміни місць гніздування та скорочення періоду вирощування потомства. Нове покоління не встигає повністю зміцніти і пройти обліт, що викликає більший відсоток втрат при міграції. В деяких випадках це приводить до унеможливлення вильоту, птахи залишаються на зимівлю, що приводить до розбалансування екологічної рівноваги як в місцях гніздування, так і в місцях постійної зимівлі. До негативних факторів також відносяться зміна клімату, меліорація земель, використання пестицидів тощо.

Для прийняття мір із збереження популяції птахів необхідно знати як місця і періоди гніздування, так і основні характеристики видів. Середня швидкість і тривалість перельоту у птахів залежить від виду, погодних умов та маршруту. За день вони пролітають відстань 100–1200 км залежно від виду та умов. Наприклад, лелеки можуть пролетіти 500 км/день, а гуси – 800–1000 км/день. Тривалість перельоту становить 10–20 днів (з періодами відпочинку). Розглянемо таблицю для перелітних птахів, де враховані різні характеристики міграції.

Таблиця 1

Характеристики маршрутів перелітних птахів

Категорія	Відстань перельоту (км)	Тривалість перельоту (днів)	Час перельоту (годин)	Час відпочинку (днів)	Середня швидкість (км/год)	Природні втрати (%)	Тривалість гніздування (міс.)	Дата прильоту в Україну	Дата відльоту з України
Малі птахи (ластівки, дрозди)	5000–10 000	10–20	10–15	5–10	30–50	20–30	2–3	Квітень–травень	Вересень–жовтень
Середні птахи (гуси, качки)	3000–8000	7–15	7–12	3–8	50–80	10–20	2–4	Березень–квітень	Жовтень–листопад
Великі птахи (орли, лелеки)	5000–12 000	15–25	12–20	5–10	80–100	5–15	3–4	Березень–квітень	Вересень–жовтень

Ці дані є середніми та можуть відрізнятися залежно від конкретного виду, погодних умов і маршруту. Міграція птахів у Хмельницькій області відбувається відповідно до загальних закономірностей для України, але з урахуванням місцевих особливостей. Зокрема, лелеки та гуси часто зустрічаються в регіоні під час міграційних періодів. Лелеки прилітають у другій-третьій декадах березня, мігруючи невеликими зграями і майже не затримуючись до прибуття на місця гніздування. Гуси сірі активно мігрують наприкінці березня – початку квітня, летючи на висотах близько 200 м. Ластівки також є звичними мешканцями Хмельниччини, прилітаючи навесні для гніздування та відлітаючи восени. Конкретні дати можуть змінюватися залежно від погодних умов та інших факторів. Збереження природних місць проживання та створення заповідних територій у Хмельницькій області сприяє підтримці популяцій цих перелітних птахів. Більшість білих лелек залишають Хмельницьку

область у серпні, хоча деякі можуть залишатися до вересня. Точні дати відльоту можуть варіюватися залежно від погодних умов та інших факторів. Наприклад, у Летичівському та Старосинявському районах Хмельницької області в 1989–1997 роках середня дата відльоту з гнізд становила 23 липня, з діапазоном від 7 липня до 16 серпня. Це свідчить про те, що в деяких випадках лелеки можуть починати міграцію раніше, залежно від конкретних умов.

Висновки

Перелітні птахи стикаються з численними загрозами, включаючи екологічні катастрофи, військові конфлікти та зміну клімату. Стандартні моделі міграції не враховують динамічні зміни середовища, тому використання нечіткої логіки може допомогти створити гнучкіші маршрути. Застосування теорії нечітких множин у моделюванні маршрутів міграції перелітних птахів є перспективним напрямком, що дозволяє підвищити точність прогнозів та адаптацію до змін екологічної ситуації. Використання цього підходу може сприяти покращенню заходів із захисту мігруючих видів і збереженню їх природних місць існування. У статті розглядається використання теорії нечітких множин для моделювання маршрутів перелітних птахів у зв'язку з екологічними катастрофами. Запропоновано математичний апарат для адаптації маршрутів, що дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з військовими діями та іншими небезпечними факторами. Наведено приклад побудови маршруту для обльоту району військових дій у Донецькій області.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення інформаційних систем моніторингу міграції птахів, побудові очікуваних маршрутів міграції, визначення та проведення необхідних організаційно-природних заходів для збереження популяції птахів.

Література

1. Талах М.В. Інтелектуальні геоінформаційні системи. Частина 2 / М.В. Талах, С.Ю. Павчук, В.В. Івашко – Чернівці: Технодрук, 2023. – 312 с.
2. Фенологічні закономірності осінньої міграції птахів на території України :/ Грищенко В. М.; Київський ун-т ім. Тараса Шевченка. - К., 1994. - 230 с.
3. Zadeh L. A. Fuzzy sets. Information and control, vol. 8 (1965), pp. 338–353.
4. Yen J. Fuzzy logic and ecological modeling. Journal of Ecological Informatics, 2018.
5. Шевчук С.Ф. Антропогенний вплив на навколишнє середовище у військовий час / С.Ф. Шевчук, О.І. Коваленко. – Київ: Екологія України, 2022. – 256 с.