

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ПОПУЛЯЦІЙ РІДКІСНИХ ТА ЗНИКАЮЧИХ ВИДІВ ФАУНИ НА ТЕРИТОРІЇ ПРИРОДНИХ ЗАПОВІДНИКІВ УКРАЇНИ

Марта Машевська, к.т.н., Трушевич Максим, M.Sc. in CS, Головатий Ярослав, бакалавр,
студент

Національний університет «Львівська політехніка», Україна;

e-mail: marta.v.mashevska@lpnu.ua

Анотація

Стаття присвячена опису процесу та результатів розроблення моделі для оцінювання ризику та причин зникнення рідкісних видів фауни на території заповідників західної частини України з врахуванням умов навколишнього середовища. Розроблено інформаційну модель системи, яка включає збір даних з GPS-пристроїв та картографічних ресурсів для створення інтерактивної карти з показниками популяцій. Також описано процес оцінки стану популяцій на основі нечіткої логіки, яка дозволяє враховувати невизначеність у вхідних даних і робити більш точні прогнози щодо стану видів. Реалізовано систему за допомогою сучасних технологій, таких як React для фронтенду, Node.js для серверної частини, Mapbox для інтерактивних карт і MongoDB для зберігання даних.

Ключові слова:

моніторинг, нечітка модель, біорізноманіття, екологічне управління, проектування системи.

1. Вступ

Зникаючі види фауни є однією з найактуальніших екологічних проблем [1], що постійно набирає обертів через вплив змін у навколишньому середовищі. Біорізноманіття, яке є основою стабільності екосистем, піддається серйозним загрозам через зменшення чисельності та вимирання видів. Зниження різноманіття видів впливає на всі рівні екосистеми, від популяцій рослин до хижаків, і призводить до порушення природних зв'язків між видами, що спричиняє негативні наслідки для стабільності екологічних процесів.

Основними причинами зникнення видів є втрата природних середовищ [2, 3, 4], внаслідок чого зникають умови для їхнього існування та розмноження. Земельна урбанізація, вирубка лісів, забруднення водойм, знищення природних територій через сільськогосподарську діяльність – це все фактори, що порушують екологічний баланс і зменшують площу природних середовищ [5]. Для деяких видів, які мають обмежені ареали або специфічні вимоги до середовища, навіть незначні зміни в природі можуть бути катастрофічними.

Крім того, кліматичні зміни стають все більш відчутними, надаючи додаткове навантаження на популяції фауни. Підвищення температури, зміни у режимі опадів, затоплення або висихання водойм створюють нові умови, до яких тварини не завжди встигають адаптуватися. Це призводить до зміщення ареалів, скорочення кількості їжі та зниження шансу на відтворення у багатьох видів.

Таким чином, проблеми, пов'язані з зникненням видів, вимагають комплексного підходу до їхнього вивчення та постійного моніторингу [6]. Для ефективного управління популяціями необхідно мати науково обґрунтовані інструменти для оцінки стану видів та факторів, що на них впливають. Моніторинг є важливою складовою частиною цих заходів [7], адже він дозволяє своєчасно виявляти зміни в чисельності та стані популяцій, що дає змогу коригувати стратегії охорони та відновлення біорізноманіття.

2. Мета

Метою роботи є розробка системи моніторингу стану популяцій рідкісних та зникаючих видів фауни на території заповідників Західної України. Система покликана забезпечити науково обґрунтоване управління біорізноманіттям та сприяти збереженню цих видів через оцінку популяцій, визначення факторів ризику та ефективності охоронних заходів.

Для досягнення мети досліджень необхідно виконати наступні завдання:

1. провести аналіз існуючих систем моніторингу стану популяцій рідкісних та зникаючих видів фауни;
2. проаналізувати та виокремити основні чинники навколишнього середовища, що можуть призвести до вимирання фауни;
3. розробити модель оцінювання стану популяцій на основі нечіткої логіки;
4. реалізувати програмне забезпечення системи для представлення даних моніторингу стану популяцій, управління та оцінювання у зручному для користувача вигляді.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробленні моделі на основі нечіткої логіки для оцінювання ризику та причин зникнення рідкісних видів фауни на території заповідників Західної України, беручи до уваги умови навколишнього середовища.

3. Інформаційна модель об'єкта дослідження

Для того, щоб створити ефективну та надійну систему моніторингу стану популяцій рідкісних та зникаючих видів фауни на території заповідників Західної України, потрібно розуміти, якими вхідними та вихідними параметрами буде оперувати система.

Вхідні дані для системи беруться з кількох джерел, що представлені нижче.

1. База даних популяцій – дані про популяції рідкісних та зникаючих видів, розташування та обсяг популяцій, а також статистика щодо розподілу видів.
2. Система геолокації – картографічні дані про території заповідників та маркування місцезнаходження популяцій з їх міграційними маршрутами.
3. Статистичні дані – це дані про фауну, які були отримані протягом певного періоду часу, наприклад, за попередні роки. Ці дані будуть корисними для перегляду динаміки змін популяцій.
4. Дані з GPS-пристроїв – використовують супутникову технологію для визначення точної географічної позиції пристрою. GPS-пристрої можуть бути прикріплені до тварин або використовуватися для визначення розташування гнізд, кормових місць, територій міграцій тощо.
5. Дані з топографічних карт – корисні дані для вивчення великих територій та великих ссавців, таких як хижаків чи мігруючі види. Такі "топографічні карти тварин" можуть стати ефективним інструментом у наукових дослідженнях і у заходах з охорони природи.

Вихідними результатами цієї системи будуть:

- загальна інформація про рідкісних та зникаючих тварин – інформаційні дані про тварин у західній частині України;
- візуалізація даних за допомогою карти переміщень – представлення інформації про переміщення тварин у вигляді графічного зображення на карті, – цей метод дозволяє легко сприймати та розуміти маршрути та рух тварин у їхньому природному середовищі;
- геопросторові дані – координати місць виявлення тварин, отримані з GPS-пристроїв, а також топографічні дані та картографічні матеріали;
- відображення даних на діаграмах – включає в себе представлення інформації про тварин у вигляді графічних діаграм або графіків, що дозволяє ефективно здійснювати аналіз та порівняння даних.

4. Методи збору та організації даних в системі

Під час розробки системи для оцінювання стану популяцій рідкісних та зникаючих видів фауни насамперед необхідно визначити основні параметри та показники, за якими цей стан визначається.

Вимирання тварин може мати багато причин [1, 5, 8], які взаємодіють між собою:

- втрата природного середовища – знищення природних місць існування тварин через забудову, вирубування лісів, землеробську діяльність і інші антропогенні втручання може призвести до втрати необхідного середовища для виживання та розмноження;
- зміни клімату – глобальні зміни клімату, викликані людською діяльністю, можуть впливати на розподіл тварин, доступ їм до їжі та сховищ, що може стати причиною вимирання деяких видів;
- брак захисту – незаконне полювання, торгівля тваринами та відсутність ефективного захисту можуть призвести до зменшення популяцій і вимирання видів;
- перенаселення – збільшення чисельності людського населення призводить до збільшення використання природних ресурсів і конкуренції за простір та ресурси, що може призвести до витіснення тварин і втрати біорізноманіття.

Якщо ми говоримо про проблему втрати природного середовища, зазвичай, це зумовлено конкретними показниками [1, 4, 6]. Нижче наведено загальні приклади метрик, які можуть бути враховані при встановленні гранично допустимих втрат природного середовища для тварин:

- збереження природного середовища для розмноження – не менше 90% природного середовища, необхідного для розмноження та відтворення популяцій;
- забезпечення доступу до водних ресурсів – збереження доступу до природних водойм не менше ніж на 80% території, на якій проживає певний вид;
- запобігання фрагментації природних місць – максимальний розмір інфраструктурних проектів, які можуть розривати природні місця, не повинен перевищувати 5% від загальної площі території;
- збереження харчових ресурсів – забезпечення доступу до природних джерел їжі в розмірі не менше ніж на 70% площі житлового простору тварин.

Що стосується проблеми зміни клімату, – існують гранично допустимі показники в температурних межах, а саме:

- температура повітря – мінімальна температура не повинна сягати менше ніж -20 градусів Цельсія. В свою чергу теж не повинно бути високих температур, наприклад, більше ніж 40-45 градусів Цельсія;
- температура води – мінімальна температура води повинна бути приблизно 5 градусів Цельсія.

Максимальна температура води не повинна бути більше ніж 30-35 градусів Цельсія.

Для того, щоб розуміти деякі параметри, потрібно знати, яким чином тварини переміщуються і змінюють своє місцезнаходження. Відслідковувати переміщення тварин можна за допомогою різних методів [9, 10, 11], таких як GPS-датчики, радіопеленгація, мітки з чіпами, а також використання сучасних технологій, як-от супутникові системи, фотопастки, камери спостереження, а також технології для моніторингу через мобільні додатки. Такі параметри як втрата природного середовища та перенаселення визначаються за допомогою GPS-пристроїв [12, 13].

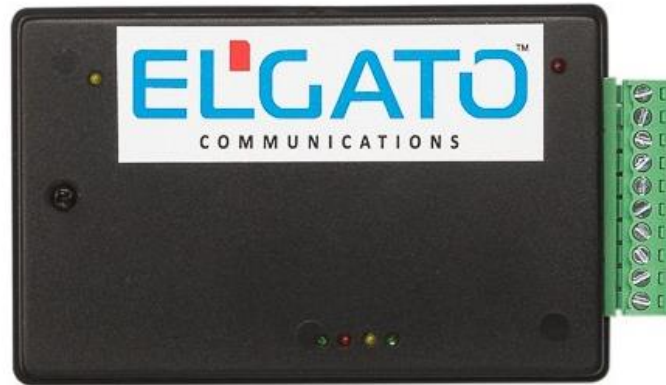


Рис. 1. GPS-трекер

GPS-трекер (Рис. 1) призначений для відстеження руху та місцезнаходження об'єкта в режимі реального часу. Використовується для відстеження тварин і в цілому будь-яких рухливих об'єктів. GPS-трекер активно відстежує та передає дані про рух об'єкта в реальному часі.



Рис. 2. GPS-приймач

GPS-приймач (Рис. 2) призначений для отримання сигналів від супутників та визначення місцезнаходження в конкретний момент часу. Зазвичай використовується для визначення місцезнаходження, отримання координат та навігації. Також GPS-приймачі використовуються як компоненти в більш складних системах або пристроях, таких як смартфони, автомобільні навігатори тощо.

5. Розроблення моделі системи на основі нечіткої логіки

Нечітка логіка представляє собою розширення класичної логіки, де істинність розглядається як лінгвістична змінна, що може приймати значення типу "дуже істинно", "більш-менш істинно", "не дуже хибно" і т.д. Ці лінгвістичні значення виражаються у вигляді нечітких множин. На відміну від класичної логіки, де "Істина" і "Хибність" мають два можливих стани, в нечіткій логіці використовується ступінь істинності, що знаходиться від 0 (Хибність) до 1 (Істина). Таким чином, логічні операції більше не представляються таблицями істинності, а визначаються функціями, які враховують невизначеність у значеннях. Тільки в окремих випадках, коли значення змінних дорівнюють 0 або 1, ці функції можуть зводитися до таблиці істинності класичної логіки [14, 15].

Для оцінювання стану популяцій рідкісних та зникаючих видів фауни на основі побудови нечіткої моделі будуть використовуватись наступні параметри:

- показник збереження природного середовища для розмноження;
- показник забезпечення доступу до водних ресурсів;
- показник збереження харчових ресурсів;
- температура повітря;
- температура води.

Для усіх параметрів терми будуть задані як low (низький), moderate (середній) та high (високий) показники. Загальна схема структури даних для нечіткої моделі представлена на Рис. 3.

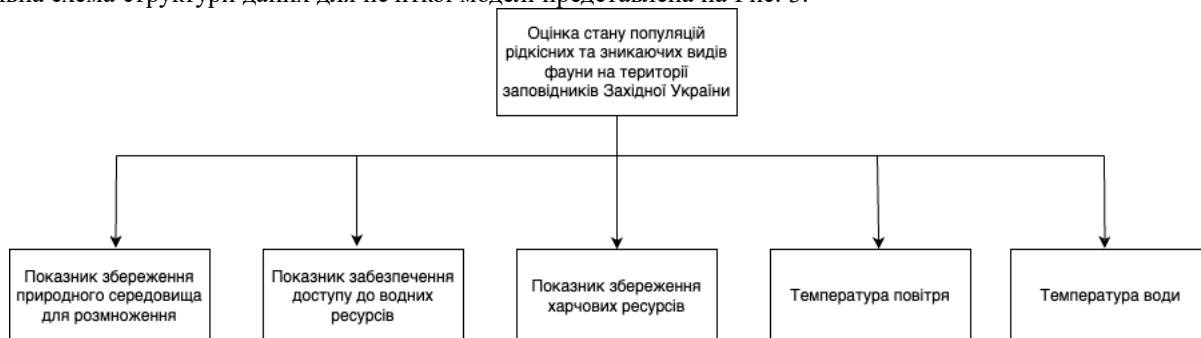


Рис. 3. Загальна система структури даних для нечіткої моделі

Дана діаграма ілюструє, що оцінка екологічної безпеки фауни на території Західної України буде вирахована відповідно до значень цих вхідних параметрів із застосуванням засобів для реалізації нечіткої логіки. Вихідний параметр буде визначений за допомогою термів здоровий (healthy), помірний (moderate), та шкідливий (harmful).

Розроблення моделі для контролера нечіткої логіки.

Система призначена для оцінки екологічної безпеки фауни на території Західної України з використанням методів нечіткої логіки. Система враховує п'ять ключових вхідних параметрів та надає оцінку екологічного стану за допомогою трьох вихідних термів.

Для представлення вхідних і вихідних параметрів нечіткої моделі було обрано трикутні функції належності.

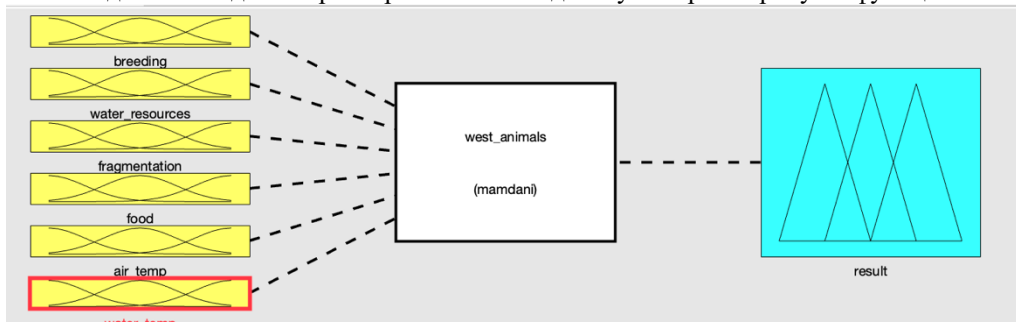


Рис. 4. Вхідні та вихідні параметри системи

Функції належності.

1. Показник збереження природного середовища для розмноження.

Функція відображає якість середовища для розмноження тварин, де високий рівень представлений більш широким діапазоном значень для забезпечення стабільності популяції.

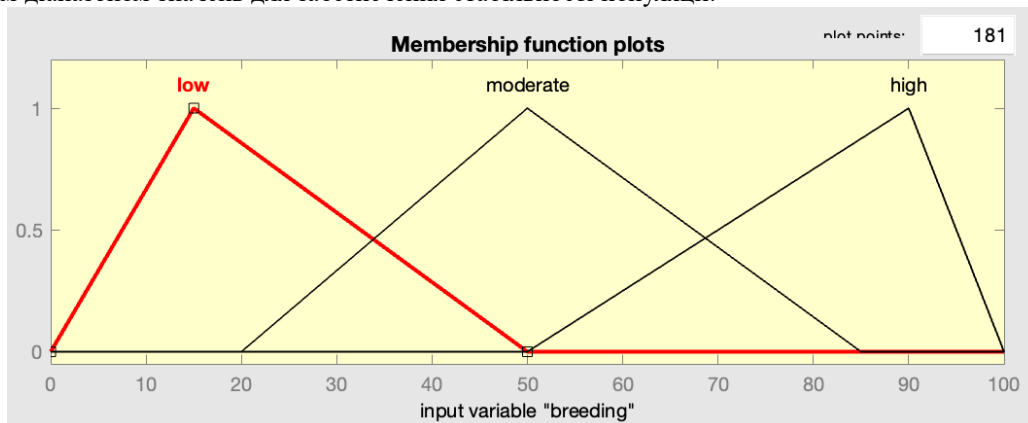


Рис. 5. Функція належності параметру «збереження природного середовища для розмноження»

2. Показник забезпечення доступу до водних ресурсів.

Графік демонструє плавний перехід між термами, що відображає реальну ситуацію з доступністю води для тварин.

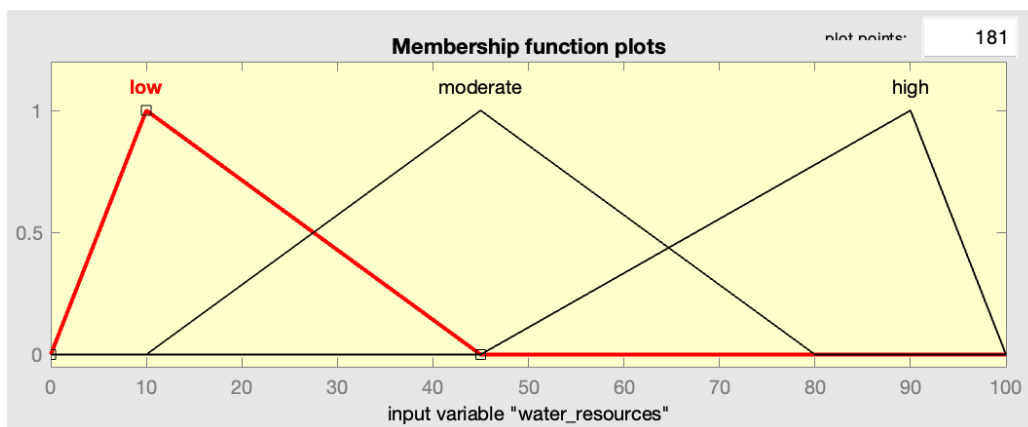


Рис. 6. Функція належності параметру «забезпечення доступу до водних ресурсів»

3. Показник збереження харчових ресурсів.

Функція враховує сезонні коливання доступності харчових ресурсів.

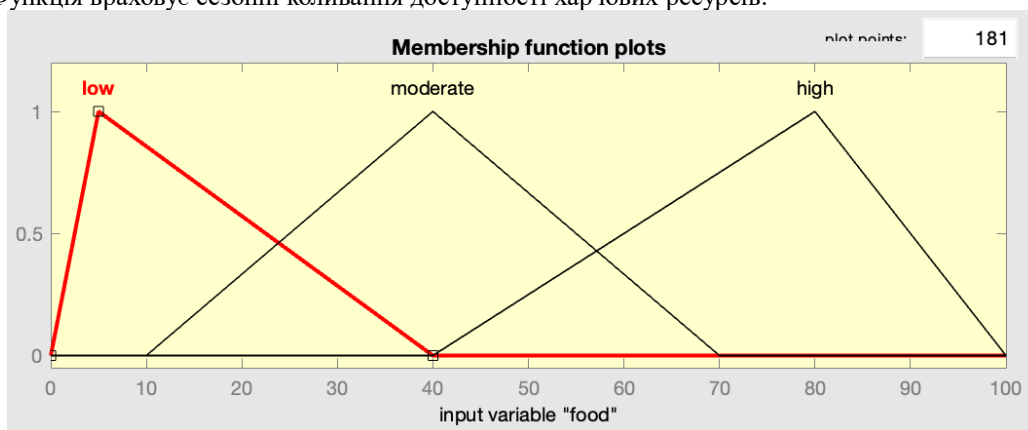


Рис. 7. Функція належності параметру «збереження харчових ресурсів»

4. Температура повітря.

Враховує комфортний температурний діапазон для більшості видів фауни регіону. Низька температура (нижче 5°C) змушує тварин витратити більше енергії на підтримання теплового балансу організму та може призвести до міграції або зимової сплячки деяких видів. Нормальна температура (5-25°C) створює оптимальні умови для активності більшості видів фауни, забезпечуючи ефективний метаболізм та сприятливі умови для розмноження і вигодовування потомства. Висока температура (вище 25°C) може викликати тепловий стрес у тварин, змушуючи їх шукати затінені місця та водойми для охолодження, а також може негативно впливати на доступність кормової бази через висихання рослинності.

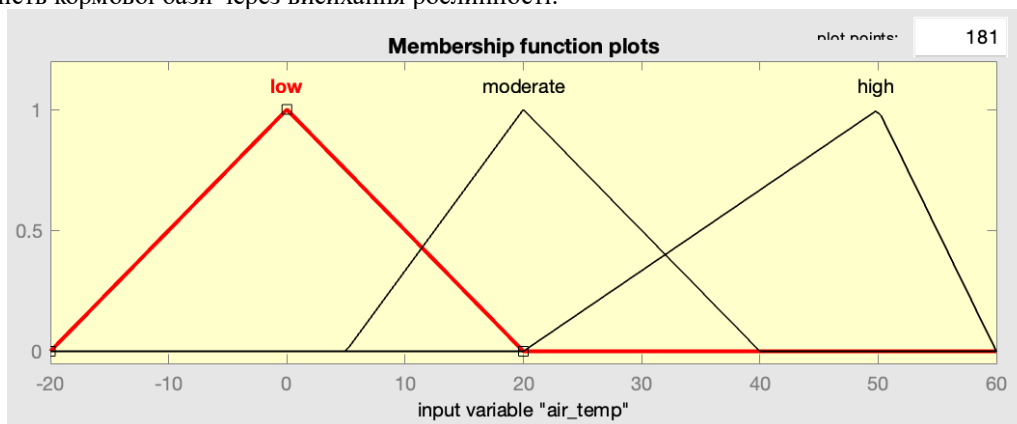


Рис. 8. Функція належності параметру «температура повітря»

5. Температура води.

Відображає оптимальні температурні режими водойм для водних та наводноводних видів. Холодна вода (нижче 10°C) може сповільнювати метаболізм водних організмів та зменшувати їх активність, особливо в період розмноження. Помірна температура (10-20°C) забезпечує оптимальні умови для більшості видів риб та земноводних, сприяючи їх нормальному розвитку та життєдіяльності. Тепла вода (вище 20°C) може призвести до зменшення вмісту розчиненого кисню у воді та створити стресові умови для холодолюбних видів, хоча деякі види можуть віддавати перевагу саме таким температурам.

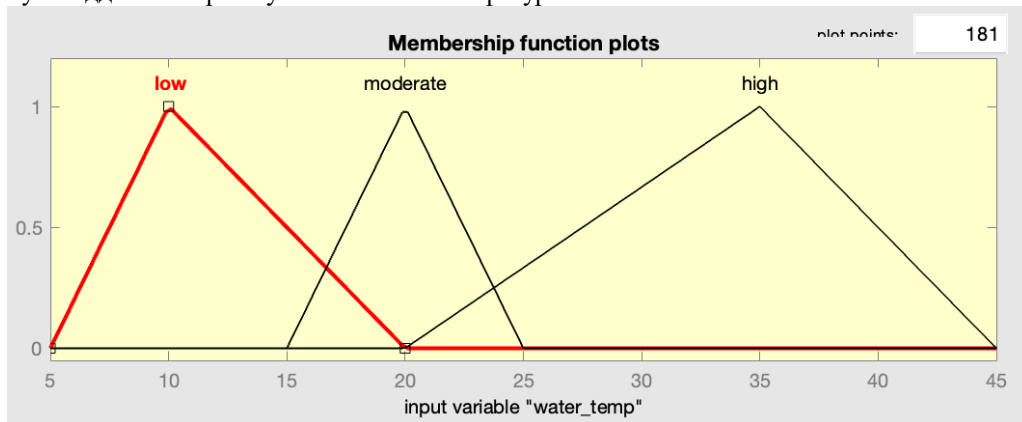


Рис. 9. Функція належності параметру «температура води»

Після фазифікації (визначення терм-множин та функції залежності), були сформовані правила логічного виведення з врахуванням всіх визначених терм-множин, вхідних лінгвістичних змінних для кожного терму вихідної змінної.

Система використовує комплексний набір правил, що враховують взаємозв'язки між усіма вхідними параметрами. Правила сформовані таким чином, щоб забезпечити:

- точну оцінку екологічного стану;
- врахування критичних комбінацій параметрів;
- збалансованість впливу різних факторів.

Рис. 10. Правила логічного виведення

Графічне представлення правил демонструє взаємозв'язки між вхідними параметрами та їх вплив на кінцеву оцінку екологічної безпеки. Це дозволяє візуально оцінити роботу системи та перевірити коректність встановлених залежностей.

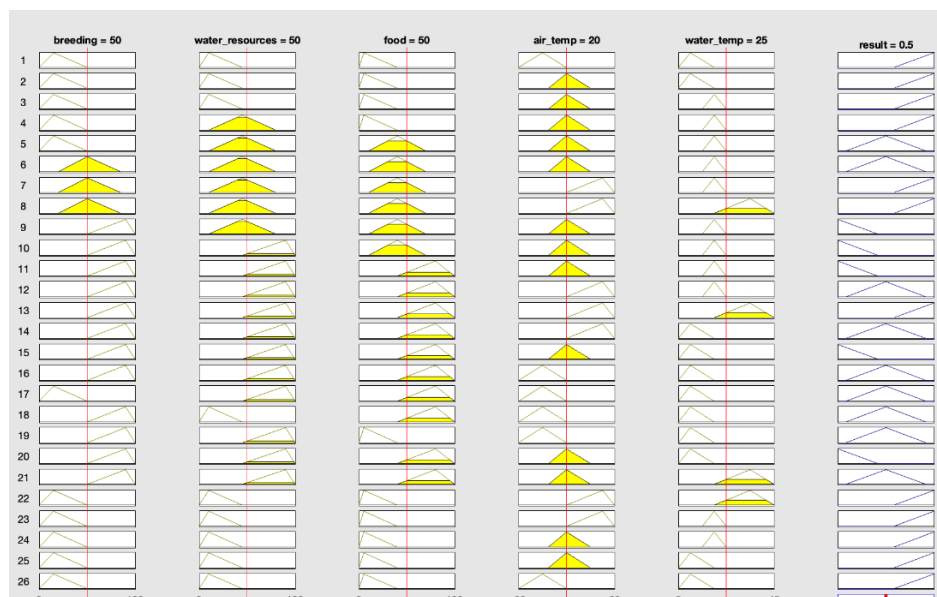


Рис. 11. Графічне представлення правил

Розроблена система правил нечіткої логіки дозволяє здійснювати комплексну оцінку екологічного стану, враховуючи взаємозв'язки між параметрами та їх критичні комбінації. Графічне представлення правил забезпечує візуальний контроль коректності встановлених залежностей та полегшує процес налаштування системи.

6. Компоненти розробленої системи

Створена нечітка модель є компонентом реалізованої системи моніторингу та оцінювання стану популяцій рідкісних та зникаючих видів фауни на території заповідників західної частини України. На Рис. 12 показано діаграму варіантів використання для цієї системи, що зображає дії актора (користувача), які він може виконувати у системі. Опис акторів та специфікація варіантів використання представлені в таблицях.

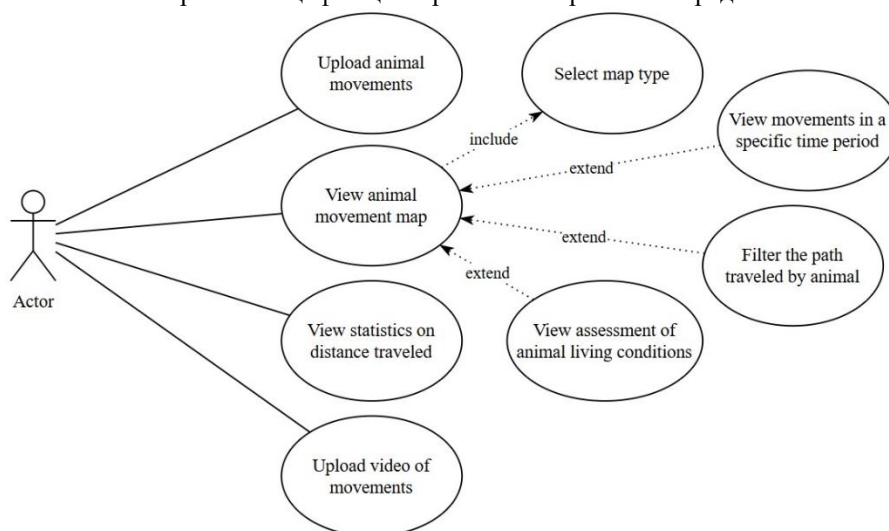


Рис. 12. Діаграма варіантів використання

Табл. 1. Специфікація акторів

Актор	Опис
Користувач	Користувач системи моніторингу стану популяцій рідкісних та зникаючих видів фауни на території заповідників. Користувачем можуть бути: - освітні установи та студенти: система може слугувати навчальною платформою для університетів та навчальних закладів для проведення досліджень та навчання студентів; - громадяни та туристи: широка громадськість та туристи

	також можуть бути користувачами, отримуючи інформацію про стан та різноманіття фауни у заповідниках.
--	--

Табл. 2. Специфікація варіантів використання

Варіант використання	Опис
Upload animal movements	Користувач має змогу завантажити свої власні дані з переміщення тварин.
View animal movement map	Користувач може перегляди карту з переміщеннями тварин. Включає можливість зміни виду карти та розширюється переглядом переміщень в конкретний проміжок часу та фільтром пройденого шляху по тварині, а також можливістю оцінити стан умов проживання тварини.
View statistics on distance traveled	Користувач може переглянути статистику по пройдений твариною дистанції. Це містить графік з пройденою дистанцією у кілометрах залежно від часу.
Upload video of movements	Користувач може вивантажити переміщення тварин на карті у форматі відео та поширити.

Дані в системі зберігаються за допомогою документо-орієнтованої системи керування базами даних MongoDB. Вона представляє собою базу даних, яка забезпечує гнучкість та масштабованість при роботі з даними. На відміну від традиційних реляційних баз даних, MongoDB зберігає дані у форматі BSON (Binary JSON), що дозволяє працювати зі складними структурами даних та легко адаптуватися до змін у схемі даних без необхідності попереднього визначення структури [16].

База даних системи моніторингу стану популяцій рідкісних та зникаючих видів фауни на території заповідників Західної України складається з одної таблиці, яка містить в собі інформацію про тварин та їх переміщення.

Animal	
PK	<u>animal_id (INT)</u>
	species (varchar)
	timestamp (timestamp)
	lon (decimal)
	lat (decimal)
	alt (decimal)
	image_url (varchar)
	breeding (decimal)
	water_resources (decimal)
	food (decimal)
	air_temperature (decimal)
	water_temperature (decimal)

Рис. 13. Таблиця animal

Цієї таблиці достатньо, щоб зберігати всю необхідну інформацію про переміщення тварин. Вона містить такі атрибути:

- animal_id – ідентифікатор таблиці з типом integer, містить унікальне цифрове значення;
- species – вид тварини з типом varchar;
- timestamp – час, коли тварина була помічена на карті, типу timestamp та повинен бути у форматі – 2025-01-01 12:00:00;

- lon – локація тварини по довготі (longitude), тип decimal;
- lat – локація тварини по широті (latitude), тип decimal;
- alt – локація тварини по висоті (altitude), тип decimal;
- image_url – веб посилання на зображення тварини, тип varchar;
- breeding – значення збереження природного середовища для розмноження на конкретній локації (використовується в нечіткій моделі; тип decimal);
- water_resources – показник забезпечення доступу до водних ресурсів на конкретній локації (використовується в нечіткій моделі; тип decimal);
- food – показник збереження харчових ресурсів на конкретній локації (використовується в нечіткій моделі; тип decimal);
- air_temperature – показник температури повітря на конкретній локації (використовується в нечіткій моделі; тип decimal);
- water_temperature – показник температури води на конкретній локації (використовується в нечіткій моделі; тип decimal).

Користувачий інтерфейс системи розроблений з використанням JavaScript-бібліотеки React. React розбиває інтерфейс на невеликі компоненти. Компонент – це незалежна одиниця, яка має власний стан (state) та може відображати вміст.

Розглянемо стартовий вигляд системи (Рис. 14), коли користувач тільки починає з нею взаємодіяти. На мапі відображена перша початкова точка переміщень тварин, у нашому випадку це Бізон і його початок переміщень.

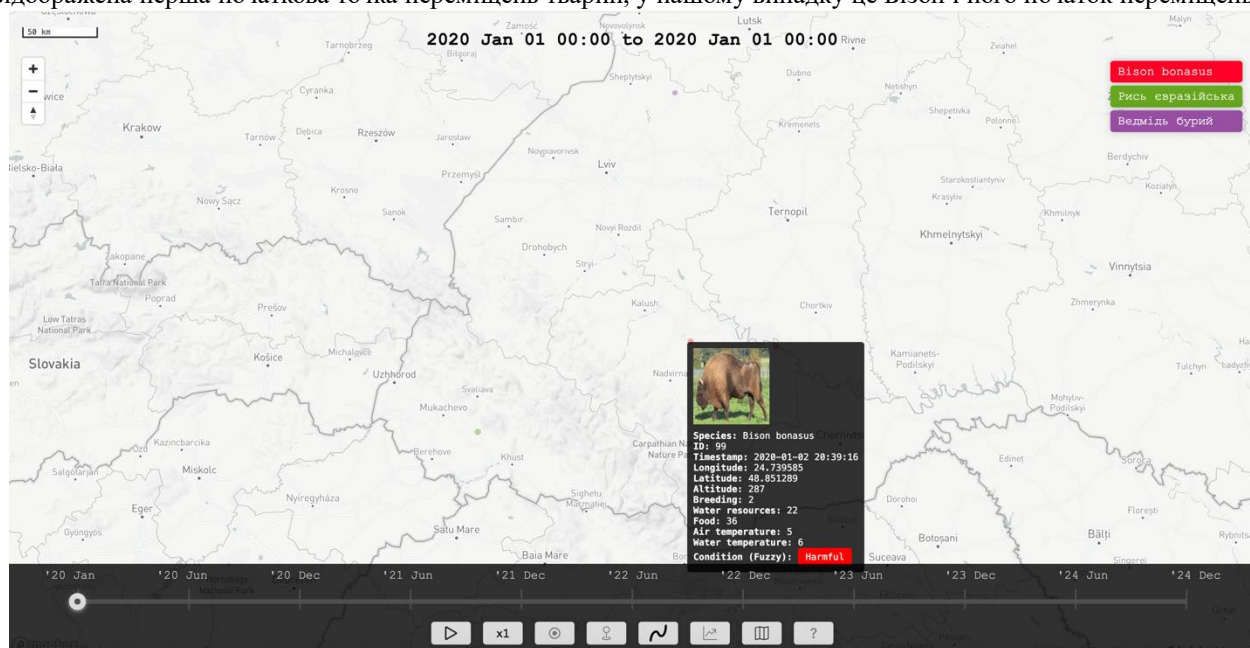


Рис. 14. Інформація про точку на мапі

При наведенні на точку на мапі (Рис. 14), можна побачити віконце, на якому видна коротко інформація про точку, а саме:

- вид тварини;
- тег, або ідентифікатор;
- час, коли тварина перебувала на цій точці;
- координата широти;
- координата довготи;
- координата висоти;
- значення збереження природного середовища для розмноження;
- показник забезпечення доступу до водних ресурсів;
- показник збереження харчових ресурсів;
- показник температури повітря;
- показник температури води.

Внизу цього віконця є важливий показник, а саме, значення умов, в яких перебувала тварина на цій координаті. Воно визначається через складні алгоритмічні обчислення, які закладені в нечітку модель. Цей показник може містити три значення – harmful, moderate, та healthy, що означає шкідливі, помірні та здорові умови для проживання тварини відповідно (Рис. 15).

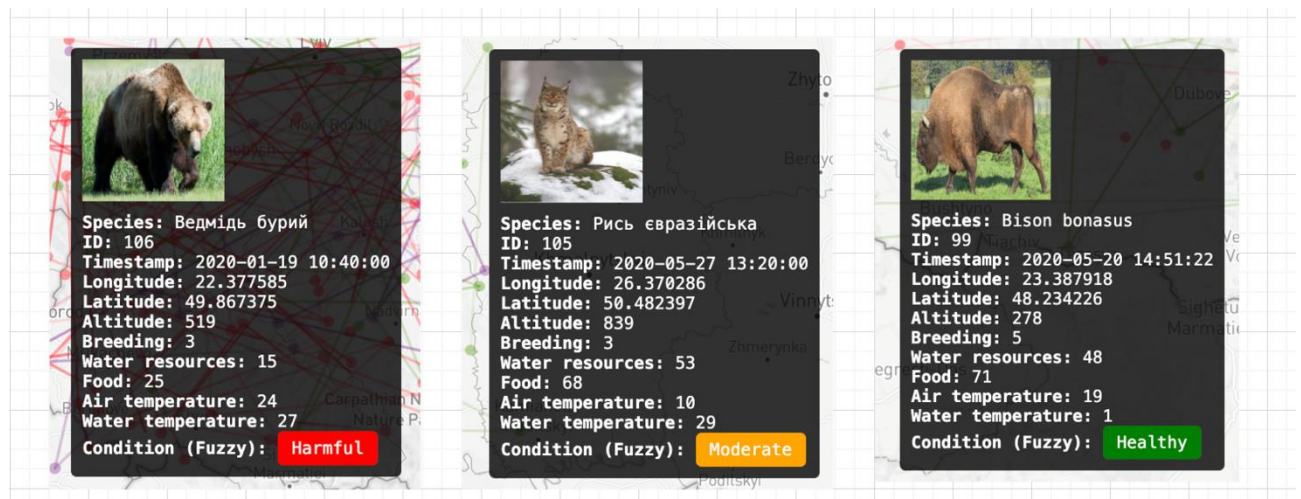


Рис.15. Три різні показники умов перебування тварини

Внизу екрану (Рис. 14) є шкала прогресу, над якою відображаються дати переміщень Бізона. Ми можемо цю шкалу перетягувати і таким чином буде оновлюватися наша мапа новими точками. Також, перетягуючи цю шкалу, можна чітко бачити як змінюється локація тварини відносно певного періоду часу. Давайте перетягнемо цю шкалу до кінця (Рис. 15) і подивимося як змінилася наша мапа.

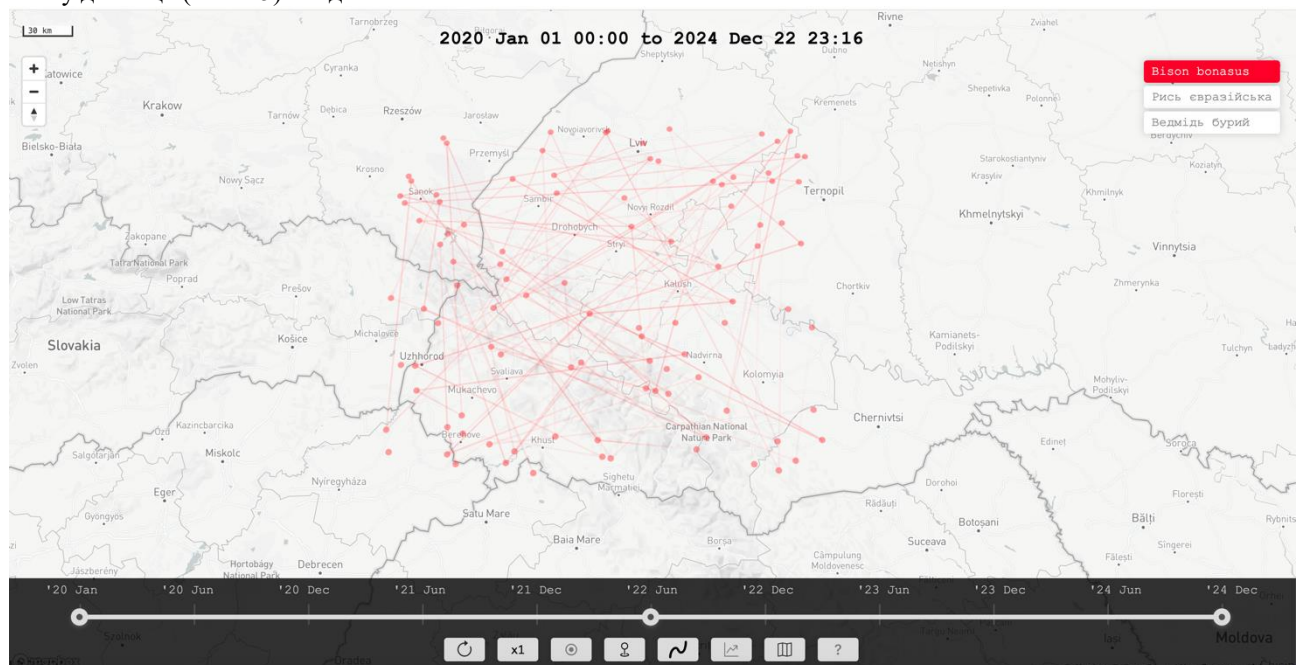


Рис.16. Переміщення Бізона на весь проміжок часу

На мапі (Рис. 17) позначено червоною лінією переміщення тварини за весь проміжок часу. Також цю інформацію ми можемо бачити у вигляді графіку, де буде видно як змінювалася дистанція пройдена зубром відносно певного періоду часу.

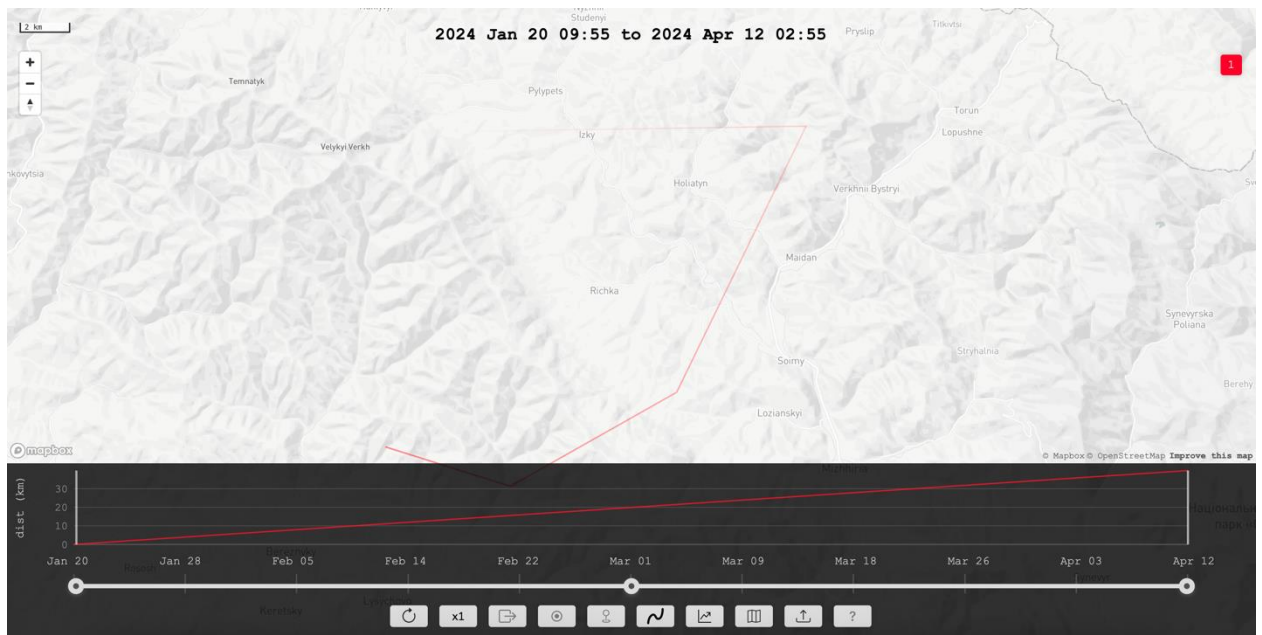


Рис. 17. Графік із переміщенням тварини

Вид мапи можна змінювати, на темний стиль (Рис. 18) та вид із супутника. Це робиться використовуючи кнопку “map styles” із секцію кнопок внизу екрану.

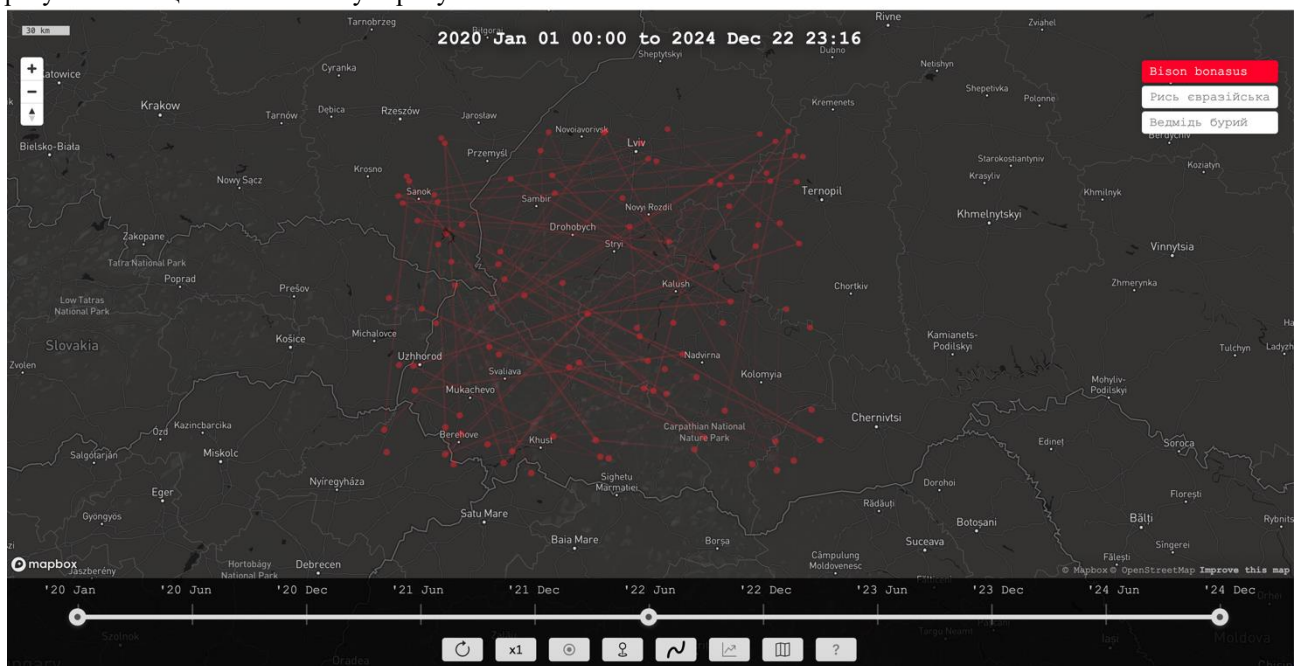


Рис. 18. Темний вид мапи

Також, на мапі можливо відобразити переміщення одразу декількох тварин. Для прикладу добавимо переміщення ведмедя та рисі. Тепер, карта буде містити червоні, зелені та фіолетові лінії (Рис. 19).

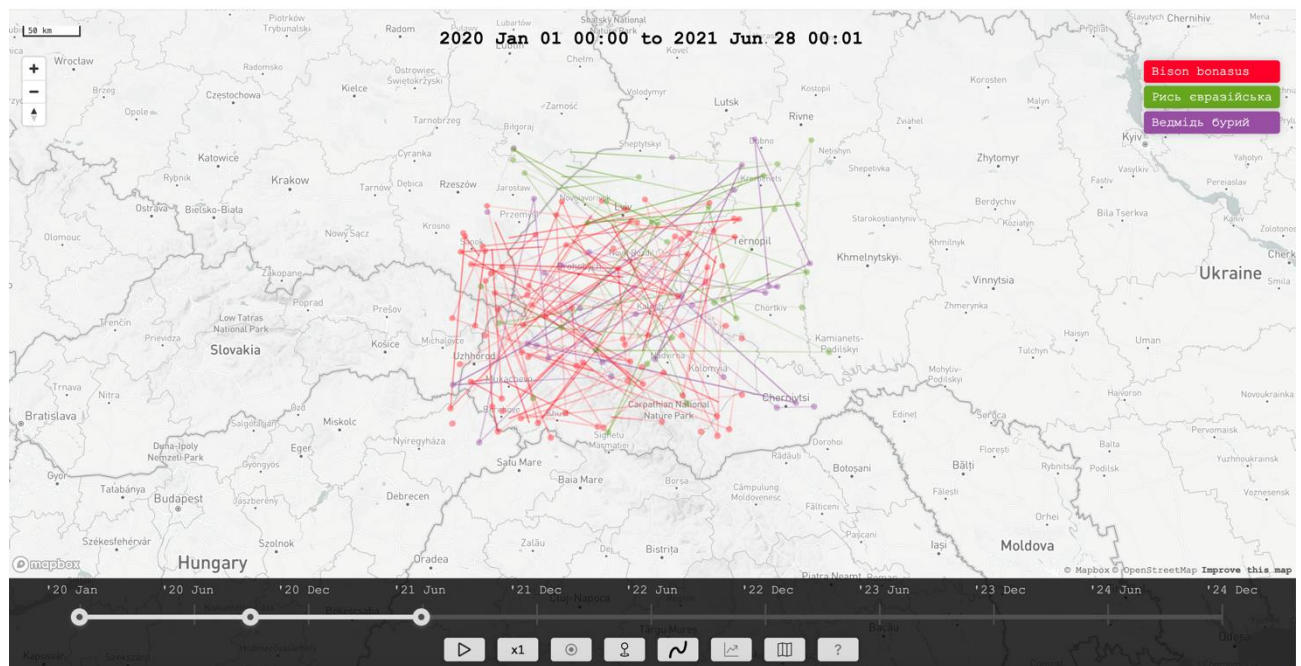


Рис. 19. Переміщення декількох тварин

У правому кутку екрану (Рис. 19) є три кнопки червоного, зеленого, і фіолетового кольорів, натискаючи на які можна ховати або показувати переміщення якоїсь тварини. Також, на кнопках відображаються назви тварин.

7. Висновки

Розроблена система є відповіддю на сучасні виклики в збереженні біорізноманіття та дозволяє інтегрувати новітні технології для оцінки екологічного стану видів. Застосування нечіткої логіки стало основою для розробки моделі, що враховує багатфакторний вплив середовища та дозволяє оцінити стан популяцій за критичними екологічними параметрами.

Практичне застосування цієї системи розширює можливості природоохоронних установ для ефективного управління та моніторингу популяцій видів, що перебувають під загрозою зникнення. Завдяки наявним аналітичним інструментам система здатна надавати дані для ухвалення обґрунтованих рішень щодо збереження видів, а також для адаптації стратегій охорони в залежності від екологічних умов.

Загалом, створена система моніторингу є важливим інструментом для екологічних досліджень, управління заповідниками, а також освітніх та інформаційних ініціатив, спрямованих на захист біорізноманіття Західної України.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що фінансових чи інших потенційних конфліктів щодо цієї роботи немає.

Подяка

Автори висловлюють подяку колективу кафедри інформації та вимірювань Національного університету «Львівська політехніка» за поради та допомогу.

Список використаної літератури

- [1] H. Rosner, "The 'Internet of Animals' Could Transform What We Know About Wildlife", Yale Environment 360, Jul. 30, 2024. [Online]. Available: <https://e360.yale.edu/features/internet-of-animals-icarus>
- [2] F. Hasan, J. Nyström, C. Andersson A. Silva, "The business case for investing in biodiversity data", 2025, doi: 10.32942/X27W61
- [3] F. Keck, T. Peller, R. Alther, C. Barouillet, "The global human impact on biodiversity". Nature, pp. 1-6, 2025, doi: 10.1038/s41586-025-08752-2
- [4] C. Amaka, G. Okeke, Ndubuisi, E. Cletus, "Protecting the Web of Life: Advanced Biodiversity Conservation and Restoration Techniques", International Journal of Innovative Social Sciences & Humanities Research, vol. 13(1), pp. 448-457, 2025, doi: 10.5281/zenodo.15088565.
- [5] Ukraine conflict environmental briefing: Nature, Conflict and Environment Observatory, 2024. [Online]. Available: <https://ceobs.org/ukraine-conflict-environmental-briefing-nature/>

- [6] M. Mashevskaya, R. Shchur, A. Ostenda, "Global environmental monitoring system", *Measuring Equipment and Metrology*. vol. 82, no. 4, pp. 26–31, 2021, doi: 10.23939/istcmtm2021.04.026
- [7] V. Slipchenko, L. Poliahushko, O. Krush, and V. Rudyk, "Investigation of approaches to designing complex database structures in systems of integrated monitoring of environmental, economic, energy and social parameters of the territory", *Technology audit and production reserves*, vol. 2, no. 2(76), pp. 38–43, 2024. doi: 10.15587/2706-5448.2024.302396
- [8] Environmental Evaluation Modeling System (EEMS), Conservation Biology Institute. [Online]. Available: <https://consbio.org/software/environmental-evaluation-modeling-system-eems/>
- [9] M. Brief, "Modern Technologies Helping Save Endangered Species", *Natural Habitat Adventures*, 2022. [Online]. Available: <https://www.nathab.com/blog/technologies-helping-save-endangered-species/>
- [10] Biodiversity monitoring, Frankfurt Zoological Society. [Online]. Available: <https://ukraine.fzs.org/en/project/biodiversity-monitoring/>
- [11] E. Acton, M. Rander, "Technology for preserving biodiversity", *SAP Insights*, 2022. [Online]. Available: <https://www.sap.com/ukraine/blogs/technology-for-biology-preserving-biodiversity>
- [12] M. Kunasranta, E. Miettinen, M. Melin, A. Meller, "The performance of alternative GPS tracking devices: a case report on wild boars (*Sus scrofa*)", *Animal Biotelemetry*, vol. 12, pp. 12-27, 2024, doi: 10.1186/s40317-024-00382-1
- [13] C. Shrivastav, Jyoti, M. Joshi, G. Bhadauriya, "Global Positioning System and Associated Technologies in Biodiversity Conservation", *International Journal of Innovative Research in Engineering*, Volume 5, Issue 4, pp. 14-20, 2024, doi: 10.59256/ijire.20240504004.
- [14] A. Kumar et al., "Fuzzy and Neural Network Model-Based Environmental Quality Monitoring System" *Modeling and Simulation of Environmental Systems: A Computation Approach*, CRC Press, 1st Edition, Chapter: 10, 2021, pp.149-173. doi: 10.1201/9781003203445-10
- [15] Y. Maksymova, O. Boiko, "Using a fuzzy impact assessment for the environment quality evaluation", *Geodesy, cartography and aerial photography*, vol. 93, pp. 59–71, 2021. doi: 10.23939/istcgcap2021.93.059
- [16] R. Boyd, M. Botham, E. Dennis, R. Fox et al., "Using causal diagrams and superpopulation models to correct geographic biases in biodiversity monitoring data", *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 16(2), pp. 332-344, 2025. doi: 10.1111/2041-210X.14492.