

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЇ ЗАПОВІДНИКА

*Володимир Самотий, Dr. Sc., проф.,
Краківський технічний університет, Польща*

*Лагун А. Е., Чишинська-Глибович Л. І.
Національний університет «Львівська політехніка», Україна*

e-mail: andrii.e.lahun@lpnu.ua

e-mail: liliana.i.chyshynska-hlybovych@lpnu.ua

<https://doi.org/10.23939/istcmtm2025.01.013>

Анотація

В статті описано проблематику проектування інформаційної системи моніторингу для оцінювання екологічного стану території заповідника. Розроблено інформаційну модель системи з врахуванням параметрів стану повітря, поверхневих вод та ґрунтів в природному заповіднику «Розточчя», зокрема увагу зосереджено на особливостях біологічного різноманіття Верещицького та Ставчанського відділень заповідника. Спроектовано та реалізовано основні компоненти системи, а саме логічну модель бази даних та геоінформаційну систему дослідженої території. Для оцінювання стану навколишнього середовища за вибраними параметрами оцінювання розроблено модель нечіткої логіки системи, яка дозволила достатньо точно прогнозувати види діяльності для кращого контролю якісного стану довкілля. Розроблена система може використовуватися заповідниками для наукових досліджень екологічних параметрів і прогнозування характеристик біосистем.

Ключові слова: екологія, інформаційна система, навколишнє середовище, прогнозування, заповідник, геоінформаційна система, база даних, нечітка логіка.

1. Вступ

На цей час інформаційні системи екологічного моніторингу використовують у різноманітній діяльності суспільства, зокрема в сільському господарстві, міському плануванні, транспортній діяльності і природоохоронних проєктах. У сфері екології інформаційні системи моніторингу використовуються для збереження цінних природних ландшафтів і захисту рідкісних видів рослин і тварин. Варто зазначити, що для кращого дослідження, а також відстеження місця розташування об'єктів моніторингу використовуються географічні інформаційні системи (ГІС).

Одним із найпоширеніших застосувань геоінформаційних систем в екологічних дослідженнях є створення інтерактивних карт і відображення на них флори і фауни території. ГІС дозволяє використовувати різні маркери, показувати характеристики різних рослин та взаємодіяти з ними, аналізувати переміщення тварин. Робота з геоінформаційною системою дозволить реалізувати такі функції, як

- проведення екологічного моніторингу на визначеній території;
- забезпечення зберігання різних даних;
- покращення доступності до інформації та можливість проведення аналізу природних об'єктів та даних;
- здійснення візуалізації екологічної системи.

В роботі основну увагу приділено моніторингу територій заповідників. Останнім часом заповідники стикаються з різними екологічними проблемами, за якими потрібно постійно спостерігати.

Через кліматичні зміни існує значний вплив на природні екосистеми заповідника, що викликає зміни в угрупованнях рослин і тварин, виснаженні водних ресурсів та збільшенні частоти екстремальних погодних явищ.

Незаконне вирубування лісів, несанкціонований збір деревини та атаки шкідників призводять до поступового руйнування лісів та їх повної деградації. Це створює загрозу для місцевих видів флори і фауни.

Діяльність аграрних підприємств та скидання забруднюючих відходів у річки ставлять під загрозу якість водних ресурсів заповідників та забруднює територію.

Туристична активність створює навантаження на природні ландшафти і полягає у існуванні рекреаційного тиску, що призводить до ерозії ґрунтів, забруднення територій і порушення природних процесів у екосистемах [1].

Особливу увагу з точки вирішення екологічних проблем і впровадженню безвуглецевої економіки у світі слід також приділяти розробці інформаційних систем, які дозволяють збирати, обробляти та аналізувати дані про вуглецеві потоки у водоймах, водно-болотних угіддях, лісових та лугових екосистемах, містах [2]. Такі системи

розроблені відповідно до міжнародних методик, наприклад IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), і відкривають нові можливості для оцінки екологічного стану територій, моніторингу їх змін та прогнозування наслідків антропогенного впливу. Це дозволяє приймати екологічно обґрунтовані рішення.

Геоінформаційні системи використовуються для збору даних за допомогою автоматизованих і дистанційних методів дистанційного зондування Землі з супутникових знімків і зображень з безпілотників [3]. Дистанційне зондування Землі забезпечує отримання зображень у високій роздільній здатності з оцінюванням стану рослинності, ґрунтів, водних об'єктів та атмосферного повітря. Супутникові знімки надають дані про великі території, що створює можливості для ефективного аналізу змін в екосистемах і проведення моніторингу лісів та інших природоохоронних об'єктів. Дрони можуть збирати високоточні дані у важкодоступних місцях, зокрема для вивчення змін рельєфу, рослинності, флори та фауни, оцінки наслідків різних стихійних лих.

На цей час актуальними є комплексні системи моніторингу [4], які об'єднують дані з таких джерел, як метеостанції, сенсори, дрони і супутники. Такі системи надають можливості точної оцінки екологічних ризиків і управління природними ресурсами.

2. Недоліки

Аналіз предметної області та відомих рішень щодо розроблення інформаційної системи моніторингу територій природно-заповідного фонду передбачає вивчення та характеристику основних аспектів, пов'язаних з екологічними особливостями регіонів. Існуючі на цей час способи моніторингу не передбачають обробку великих обсягів даних, а впровадження нових інформаційних систем з використанням технологій швидкої обробки інформації дозволить усунути цю проблему. Інформація про забруднення територій заповідників України погано візуалізована, тому використання розроблених географічних інформаційних систем та інтерактивних карт створить нові можливості для прогнозування та досліджень.

3. Мета

Метою цієї статті є аналіз та дослідження розробленої інформаційної системи моніторингу заповідних територій, яка допоможе людям краще ознайомлюватись із рослинним та тваринним світом, що відкриває нові можливості для комплексного аналізу природних процесів та прогнозування їх змін і дозволить отримувати комплексні дані про глобальний стан екосистеми регіону.

4. Розроблення інформаційної системи моніторингу заповідників

Побудова структури системи моніторингу

В найбільш загальному випадку система моніторингу виконує тотальне та безперервне спостереження за об'єктом, групою об'єктів, за певною реальною системою, ключовими елементами якої є об'єкти, завдяки яким можна отримувати запитувану інформацію. Моніторинг без контролю та управління поставлених перед ним функцій та завдань не виконає, оскільки самі ж поняття контролю та управління передбачають саме моніторинг [5].

Структурну схему екологічної системи зображено на рис. 1. Основними її частинами є великі блоки спостереження і прогнозування, інформація з яких передається на блоки оцінки фактичного і прогнозованого стану. Інформація з системи моніторингу передається на блок регулювання якості середовища та реагування на особливі випадки [6]. Товстими лініями позначено прямі зв'язки, а тоншими лініями – зворотні.

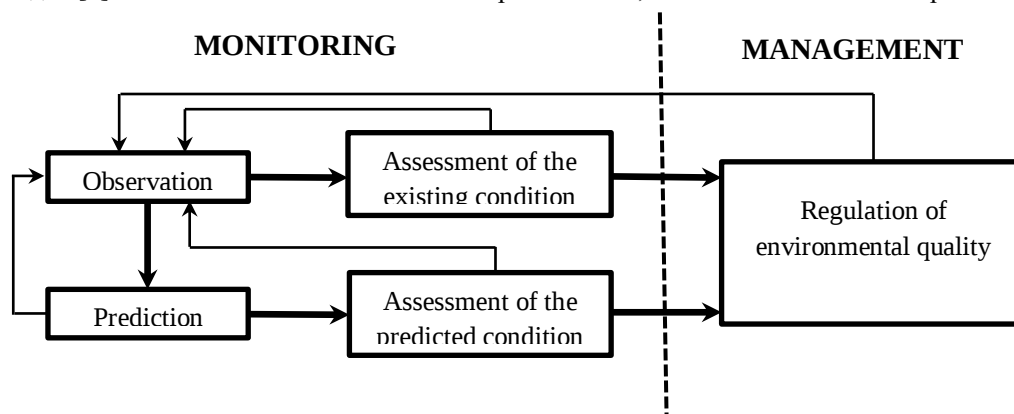


Рис. 1. Структурна схема системи моніторингу

Будь-яка система моніторингу докілька виконує такі дії [7].

1. На дослідженій території розміщують спеціальні прилади – сенсори, які вимірюють температуру, вологість, рівень забруднення повітря і води, радіаційний фон.
2. Дані з сенсорів збираються і передаються на комп'ютери або на сервери.
3. Спеціальні програми аналізують зібрані дані, порівнюють їх з нормами і виявляють відхилення.

4. На основі результатів аналізу приймаються рішення про необхідність вжиття певних заходів, тобто відбувається процес управління.

Основними прикладами використання систем моніторингу заповідників є моніторинг якості повітря з вимірюванням рівня шкідливих речовин в повітрі для оцінки його впливу на здоров'я людей, моніторинг лісових пожеж і виявлення осередків пожеж за допомогою супутникових знімків і сенсорів, прогнозування стихійних лих у вигляді повеней та посух, враховуючи аналіз даних про погоду та кліматичні зміни [8].

Для забезпечення захисту від забруднень можна використовувати різні методи збору та організації даних опис і призначення яких наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Методи та інструменти обробки даних для забезпечення екологічної безпеки території

Метод	Опис	Призначення
Біологічний моніторинг	Відстеження життєвого стану різних видів рослин	Виявлення впливу забруднень на біорізноманіття
Моніторинг якості повітря і ґрунтів	Відбір проб для аналізу забруднювальних речовин у вигляді металів та оксидів	Виявлення забруднень повітря і ґрунту
Аналіз якості води	Відбір проб води для оцінювання вмісту хімічних і токсичних речовин	Виявлення впливу забруднень на водяні угіддя
Польові дослідження	Спостереження за територією і відбір проб ґрунтів і рослин	Оцінка стану рослинних насаджень та змін екосистем
Впровадження геоінформаційної системи	Систематизація та зберігання даних відповідно до місцезнаходження	Створення інтерактивних карт для моніторингу екологічного стану
Звіти і аналітика даних	Використання діаграм і трендів для узагальнення даних	Інформування про поточний стан і зміни довкілля

Інформаційна модель об'єкта дослідження

Для створення інформаційної системи моніторингу оточуючого середовища необхідно сформувати інформаційну модель об'єкта дослідження – території заповідника, а саме визначитися з вхідними та вихідними даними системи.

Природно-заповідна територія розглядається як комплекс, що включає такі основні елементи [8]:

- біологічні ресурси: флора, фауна, мікроорганізми;
- фізико-географічні характеристики: рельєф, ґрунти, водні ресурси;
- кліматичні умови: температура, вологість, опади;
- антропогенні фактори: туристичне навантаження, сільське господарство, промисловість.

Для створення інформаційної моделі використовується така інформація:

- геопросторові дані: координати територій, межі охоронних зон, карти.
- екологічні показники: стан рослинності, якість повітря, води, рівень забруднення.
- моніторингові дані: регулярні виміри від сенсорів (температура, вологість, рівень CO₂), супутникові знімки, фотографії.
- адміністративна інформація: назва території, статус заповідника, відповідальні органи.

Під час формування інформаційної моделі об'єкта моніторингу було здійснено такі етапи

1. Ідентифікація ключових об'єктів системи:

- природно-заповідні території;
- види рослин і тварин, що охороняються;
- інфраструктурні об'єкти, розташовані в межах територій;
- джерела впливу на екосистему (промислові зони, дороги, населені пункти).

2. Побудова логічної моделі даних:

- визначення основних сутностей, якими є території, екологічні показники, об'єкти впливу;
- встановлення взаємозв'язків між сутностями.

3. Визначення джерел даних:

- первинні дані: сенсори, супутники, польові спостереження;
- вторинні дані: статистичні звіти, наукові дослідження, геопросторові карти;
- користувацькі дані: інформація, введена адміністраторами чи екологами.

4. Створення концептуальної моделі, а саме інтеграція всіх сутностей в єдину систему з чіткою ієрархією та зв'язками.

Практична реалізація інформаційної системи моніторингу заповідника «Розточчя»

Розробка структури системи передбачає організацію вмісту, дизайн сторінок та навігаційні елементи для пошуку необхідної інформації. Спочатку було визначено мету і цільову аудиторію системи, що дозволило створити дизайн інформаційної системи. Під час розробки карти геоінформаційної системи візуально реалізовано структуру сторінок системи, що допомагає в навігації між ними. Вміст сторінки впорядковано у логічні категорії та підкатегорії для правильного структурування інформації, враховуючи особливості пошуку користувачами необхідної інформації.

В розробці системи використано нові практичні рішення, які дозволяють підвищити ефективність роботи інформаційної системи [9]. На інтерактивній карті території заповідника позначені місця, де ростуть рідкісні рослини і створено гіперактивні посилання у позначках на карті, через які можна дізнатися більше інформації про конкретну рослину з її особливостями походження, наскільки вона рідкісна, детальні характеристики та інше. Створений фільтр допоможе знайти особливості існування флори заповідника за різними параметрами - де вони ростуть, який ґрунт люблять, скільки вологі їм потрібно. Для зручного пошуку рослин і перегляду необхідної інформації створено вкладку, на якій користувач може побачити всі рослини, які є в системі. У вікні відображається інформація, подібна до тієї, що у вкладках на карті - вигляд рослини, де вона росте, наскільки вона рідкісна, детальна характеристика.

Для отримання інформації про моніторинг території заповідника і ознайомлення з екологічною ситуацією в заповіднику розроблено вкладку, що показує графіки забруднень. Користувач може побачити результати візуалізації, які нададуть інформацію про екологічні проблеми на території [10]. Зокрема міститься інформація про типи забруднювачів, які найчастіше зустрічаються, а також їх вплив на природні умови в заповіднику загалом. Діаграми, які показують види забруднювачів повітря, надають можливість дізнатись, звідки ці забруднювачі беруться і яка їх кількість, що допомагає краще зрозуміти, як ці речовини впливають на флору та загальну екологію регіону. Отримана інформація дозволяє проаналізувати екологічні виклики на території, яка моніториться, та можливо дозволить науковцям висунути ідеї щодо покращення екологічної ситуації.

Для обробки інформації моніторингу було розроблено логічну модель бази даних системи екологічного моніторингу і створено базу даних з використанням системи управління базами даних PostgreSQL для зберігання та швидкого доступу до великих обсягів інформації [11].

Спочатку визначено сутності, які будуть задокументовані в базі даних, а саме ідеї, про які буде зберігатися інформація. Далі створюються атрибути для кожного об'єкта і визначаються конкретні дані, які для нього зберігатимуться. Після описування зв'язків між об'єктами визначаються відносини, які є прямими, непрямими або багаторівневими.

Наступним кроком є створення унікальних первинних ключів, а саме атрибутів, унікальних для кожного запису в таблиці. Зовнішні ключі будуть визначені атрибутами для підключення таблиць. Для документації бази даних створено логічну модель бази даних (рис. 2) за допомогою взаємозв'язків і описів сутностей, атрибутів і зв'язків.

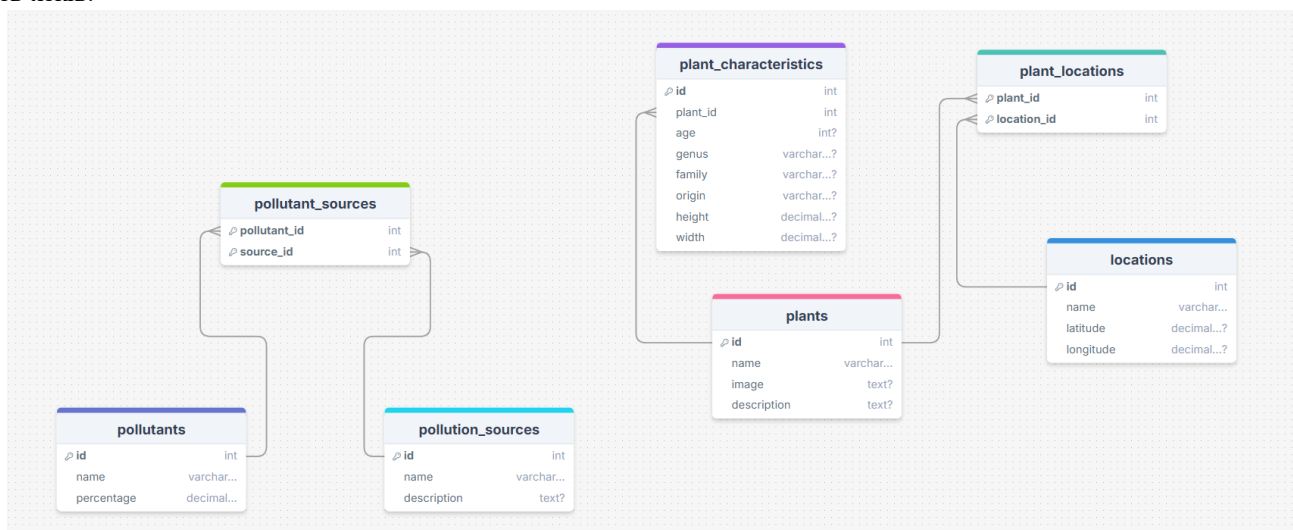


Рис. 2. Логічна модель бази даних

Для коректної роботи системи та її правильного наповнення в базі даних створено 7 таблиць: таблиця із загальною інформацією про рослини, таблиця з характеристиками рослин, таблиця із локацією розміщення рослин на карті, таблиця-зв'язок між рослинами та їх місцями зростання, таблиця із забруднювачами, таблиця з джерелами забруднення і таблиця-зв'язок між забруднювачами та джерелами забруднення.

В таблиці «plants» (загальна інформація про рослини) є назва рослини, фото і короткий опис вид, до якого належить рослина. Таблиця «plant_characteristics» (характеристики рослин) пов'язана з першою таблицею через ідентифікатор і містить такі поля, як вік рослини, рід рослини, родина рослини, походження рослини, висота і ширина. Місце розташування рослин на карті (таблиця «locations») складається з полів назви локації, широти і довготи місця розташування. Інформація про забруднювачі повітря («pollutants») - це назва забруднювача і відсоток забруднення відносно загального забруднення території. Для моніторингу території заповідника використовується інформація з полів з назвою джерела забруднення і описом джерела забруднення таблиці із джерелами забруднення («pollution_sources») і таблиці-зв'язків між забруднювачами та джерелами забруднення («pollutant_sources»).

Для створення геоінформаційної системи було використано React (JavaScript) для фронт-енд частини [12], TailwindCSS для стилізації компонентів, Node.js для бекенд-частини [13]. На серверній частині реалізовано такі компоненти:

- API- налаштування для взаємодії між фронтендом і базою даних;

- функціонал для запиту інформації про флору, її екологічні характеристики та дані про забруднення;
- інтеграцію з базою даних PostgreSQL для зберігання та швидкого доступу до великих обсягів даних.

Зображення сторінки розробленої геоінформаційної системи заповідника «Розточчя» з ввімкненою фільтрацією за видами рослин заповідника зображено на рис. 3.

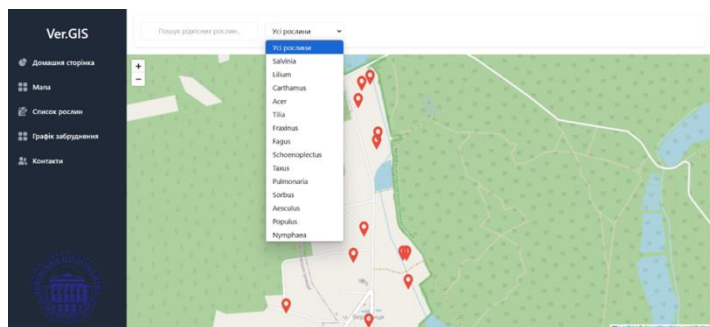


Рис. 3. Вигляд геоінформаційної системи заповідника «Розточчя» (фільтрація за видами рослин)

5. Експертименти

Розроблення моделі для нечіткої логіки і тестування моделі геоінформаційної системи моніторингу

Нечітка логіка часто використовується при розробці нелінійних комплексних рішень управління кількома параметрами завдяки тому, що нечітка логіка може описувати системи в термінах комбінації числових і лінгвістичних засобів; вимірює визначеність або невизначеність належності елемента до множини, а також не є дуже чутливою до змін середовища та помилкових або протермінованих правил [14].

Для досліджень було розроблено модель нечіткої логіки і здійснено тестування цієї моделі для інформаційної системи моніторингу, визначено вплив забруднень повітря на флору заповідника «Розточчя».

Серед методів збору даних враховуються польові дослідження, моніторинг повітря та ґрунту, моніторинг якості води та біомоніторинг. Основним типом забруднення в регіоні є забруднення повітря, яке визначається близькістю до промислових зон та транспортних шляхів. Забруднювачі повітря впливають на рослини, сповільнюючи ріст рослин і зменшуючи фотосинтез. Забруднення ґрунтів через наявність важких металів (свинець, кадмій) накопичуються в ґрунті, що призводить до зниження родючості. Водяні та пилові забруднювачі можуть змінюватися залежно від зовнішніх чинників через сезонні зміни та силу і напрямок вітру.

Хоча точний обсяг різних видів забруднюючих речовин може змінюватися, для досліджень було вибрано чотири найбільш небезпечних для флори заповідника. Модель нечіткого керування розроблена для прогнозування на основі набору попередньо визначених чотирьох параметрів - діоксиду вуглецю CO₂, оксиду азоту NO₂, діоксиду сірки SO₂, кадмію Cd.

Для побудови системи нечіткої логіки, були здійснені такі етапи, як: визначення вхідних змінних, фазифікація, формулювання правил нечіткого висновку та дефазифікація. Чіткі вхідні значення перетворюються на нечіткі значення за допомогою функцій належності для кожного входу.

Вихідний показник, який визначає забрудненість території MPRT (monitoring of pollution in the reserve territory) оцінюється такими значеннями: хороший (good), помірний (moderate), чутливий (sensitive), нездоровий (unhealthy), дуже нездоровий (very unhealthy), небезпечний (hazardous).

У нечіткій логіці правила визначають вхідні та вихідні функції належності, які пізніше використовуються в процесі логічного висновку. Нечітка логіка визначає ступінь належності до певних функцій належності, які використовуються при формуванні логічного висновку для отримання нечіткого висновку [15]. Для проектування моделі визначено граничні значення універсальних наборів для вхідних і вихідних змінних. Нечіткі набори необхідно визначити для процесу фазифікації. Кожна змінна представлена трьома різними нечіткими наборами: «Low», «Normal» і «High» (таблиця 2). В таблиці 3 наведено граничні значення нечітких наборів вихідних параметрів для прогнозування індексу забруднення території заповідника у вигляді такого набору «Good», «Moderate», «Sensitive», «Unhealthy», «Very Unhealthy», «Hazardous»

Таблиця 2. Граничні значення чітких і нечітких наборів для вхідних параметрів

Чіткі вхідні змінні	Нечіткі вхідні параметри	Граничні значення для універсальних наборів	Параметри для функцій належності вхідів
CO ₂	Low, Normal, High	0–1200	0–400, 200–1000, 400–1200
SO ₂	Low, Normal, High	0–1100	0 - 200, 100 - 700, 200 - 1100
NO ₂	Low, Normal, High	0–1000	0–300, 150–900, 300–1000
CD	Low, Normal, High	0–600	0–200, 100–400, 200–600

Таблиця 3. Граничні значення чітких і нечітких наборів для вихідних параметрів

Чітка вихідна змінна	Нечіткі вихідні параметри	Граничні значення для універсальних	Параметри для функцій належності виходів
----------------------	---------------------------	-------------------------------------	--

		наборів	
MPRT	Good, Moderate, Sensitive, Unhealthy, Very Unhealthy, Hazardous	0–600	0–100, 101–200, 201–300, 301–400, 401–500, 501–600

Модель системи прогнозування індексу якості повітря на основі нечіткості розроблено з використанням Fuzzy Toolbox і Mamdani FIS, інтегрованих у середовище – MATLAB. На рис. 4 показано реалізовану модель прогнозування індексу якості повітря на основі нечіткості.

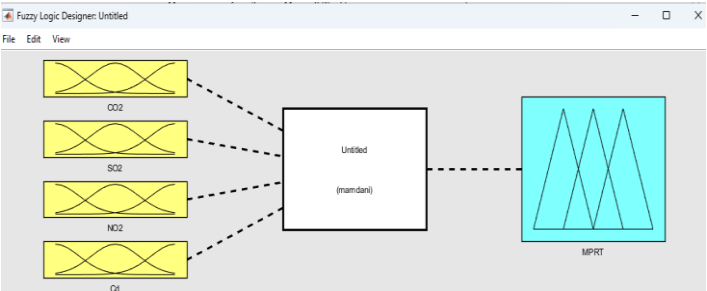


Рис. 4. Набір попередньо визначених параметрів системи

На рис. 5 показано графіки функцій належності трикутного вигляду вхідних змінних CO₂, SO₂, NO₂, Cd, що визначають види забруднень, які обробляє інформаційна система моніторингу території заповідника. Графіки для вихідної величини, яка визначає індекс забруднення території MPRT у вигляді трикутних функцій належності зображено на рис. 6.

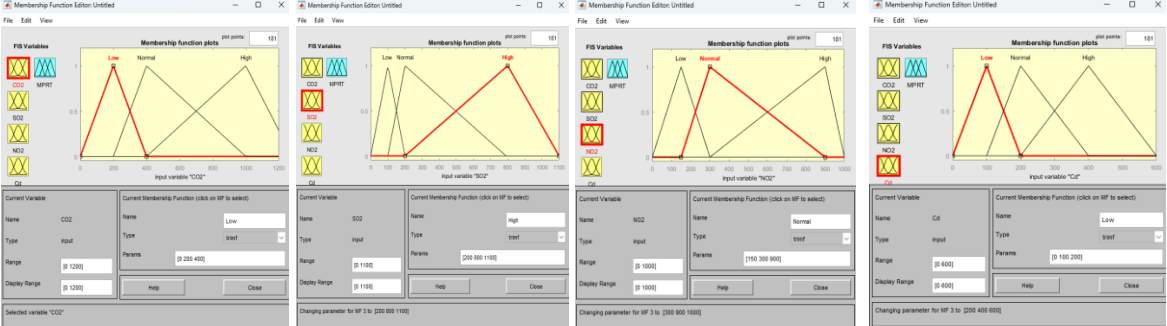


Рис. 5. Функції належності вхідних змінних для забруднюючих речовин: діоксид вуглецю CO₂, діоксид сірки SO₂, оксид азоту NO₂, кадмій Cd

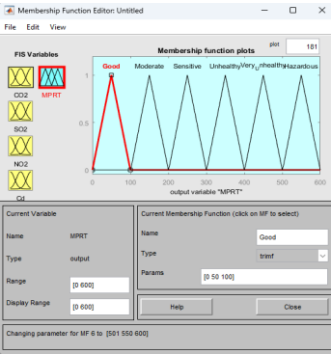


Рис. 6. Функції належності вихідної змінної, що визначає індекс забруднення території

Після проведеного моделювання системи за допомогою алгоритмів нечіткої логіки можна отримати значення індексу забруднення для визначених значень вхідних величин. На рис. 8 можна побачити зв'язок між вхідними змінними та вихідними, який визначається базою правил.

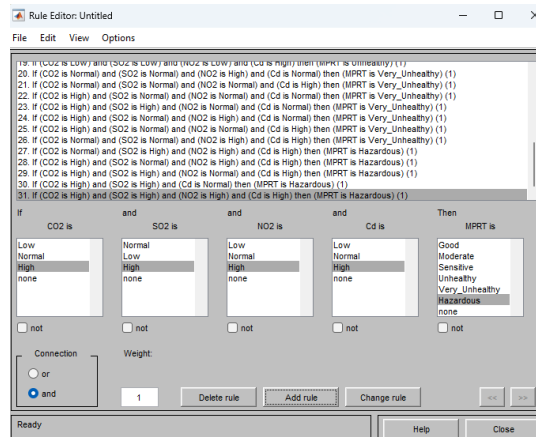


Рис. 7. Сформовані правила належності

Метод нечіткої логіки застосовується для відображення вхідних нечітких значень у відповідні вихідні нечіткі набори з метою генерації правил висновку. Для досліджень використано чотири змінні, представлені чотирма нечіткими наборами, 31 правило, згенероване в базу правил:

Переглядач правил використовується в діаграмі нечіткого висновку. Він застосовується для діагностики, активних правил, або як окрема функція впливають на результати. На рисунку 8 показано, як рівні концентрації забруднювачів CO₂, SO₂, NO₂ і Cd впливають на індекс забруднення території. Якщо CO₂ = 600 мкг/м³; SO₂ = 500 мкг/м³, NO₂ = 800 мкг/м³ і Cd = 300 мкг/м³, то прогнозований MPRT = 475, що відповідає дуже нездоровому забрудненню території «Very Unhealthy».

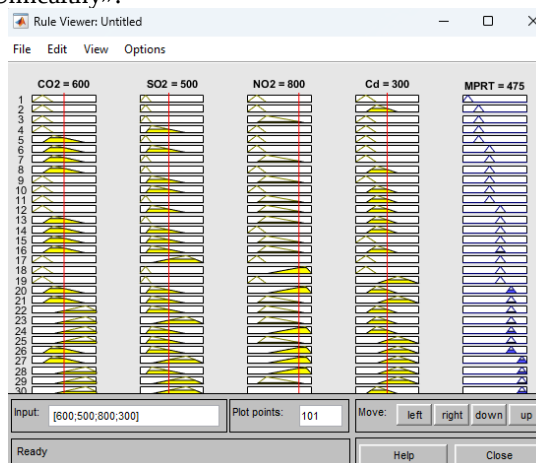


Рис. 8. Представлення нечітких правил у вигляді зображень

6. Висновки

Проблеми екологічної безпеки в світі були і залишаються на першому місці в світі, адже від їх вирішення залежить добробут населення. Останнім часом створено багато документів і стандартів, які визначають перехід до екологічно безпечного суспільства. В цих документах основна увага приділяється чистоті повітря, кліматичним умовам, ґрунтам, радіаційним забрудненням, збереженню біорізноманіття, безвуглецевій економіці, впливу транспорту. Важливу роль в дослідженнях екологічної ситуації в світі відіграють сучасні інформаційні системи, які використовуються, зокрема, для моніторингу екологічних показників.

Наведена розроблена інформаційна система моніторингу території заповідника дозволяє прогнозувати стан забруднення території на основі аналізу забруднюючих речовин в повітря у вигляді діоксиду вуглецю, оксиду азоту, діоксиду сірки, кадмію. Вихідний показник, яким є індекс забруднення території показує стан забрудненості території. Для аналізу екологічної ситуації території створено геоінформаційну систему, в якій інформація про стан забруднень може отримуватися в певних точках карти. За рахунок використання сучасних інформаційних технологій побудови бази даних та веб технологій в системі забезпечується висока швидкість обробки даних та їх візуалізація.

Конфлікт інтересів

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

Список використаної літератури

- [1] JRC portfolios A-Z, 2025. [Online]. Available: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-science-and-knowledge-activities/jrc-portfolios-z_en
- [2] EU missions, 100 climate-neutral and smart cities, 2025. [Online]. Available: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a796c50a-d644-11ee-b9d9-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-307736909>

- [3] Р. Ю. Шевченко, *Геоінформаційні системи в екології. Електронний підручник*, Київ, 2022. 224 с. Режим доступу: <https://dglb.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/91eb2ad6-fc05-4b98-a9ff-bd4d87808bae/content>
- [4] V. Samoty. "Analysis opportunities for resolving the problems of ensuring the environmental safety of modern society in the European Union" / Інформаційні технології у сфері захисту довкілля: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 16–17 травня 2024 р., Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2024, С. 61–63.
- [5] M. Lersow, P. Waggitt "Environmental Monitoring", *Disposal of All Forms of Radioactive Waste and Residues*, 1st ed. Chapter 9, Springer, 2019, pp. 397-419.
- [6] V. A. Rybak, O. P. Ryabichina "Ecological monitoring system of the atmosphere", *Doklady BGUIR*, vol. 18, no. 4, pp. 36-43, Jun. 2020.
- [7] A. Lagun, N. Kukharska, "Using the information technologies for quality monitoring of different environmental impacts on humanity life", *Contemporary technologies and society innovations, artificial intelligence, and challenges*, Eds., Katowice, Poland: The University of Technology in Katowice Press, 2023, pp. 585-592.
- [8] Roztochia Nature Reserve, 2025. [Online]. Available: <https://wownature.in.ua/en/roztochia-nature-reserve/>
- [9] Е. Фрімен, Е. Робсон, *Head First. Програмування на JavaScript*, Харків, Вид-во Фабула, 2022. 672 с.
- [10] Django. The web framework for perfectionists with deadlines. [online]. Available: <https://www.djangoproject.com/>
- [11] PostgreSQL 17.2 Documentation, 2025. [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/docs/current/>
- [12] React. The library for web and native user interfaces, 2025. [Online]. Available: <https://react.dev/>
- [13] M. Casciaro, L. Mammino. *Node.js Design Patterns*, JS, 2020. - 662 p.
- [14] А. Е. Лагун, І. В. Худзін, Н. П. Кухарськаю "Прогнозування впливів від надзвичайних ситуацій на основі алгоритмів нечіткої логіки", *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. – 2023. – № 27. – С. 32–40.
- [15] P. Cingolani, J. Alcala-Fdez "jFuzzyLogic: A Java Library to Design Fuzzy Logic Controllers According to the Standard for Fuzzy Control Programming", *International Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 6, Supplement 1, 2013, pp. 61-75