УДК 004.415.2:004.738.5:502.3

ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ ВЕБСЕРВІС ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕКОЛОГІЧНИХ ДАНИХ

Єгоращенко І.В.
Національний університет «Одеська політехніка»
Україна, Одеса
yehorashchenko.i.v@op.edu.ua

Анотація. *У роботі представлено геоінформаційний вебсервіс для аналізу екологічних даних, який поєднує засоби збору, обробки та візуалізації інформації про стан довкілля. Запропонований підхід сприяє підвищенню ефективності екологічного моніторингу та підтримці прийняття управлінських рішень у сфері охорони навколишнього середовища.*
Ключові слова: *геоінформаційний вебсервіс; екологічні дані; просторовий аналіз; візуалізація; моніторинг довкілля.*

Вступна частина. Сучасний стан навколишнього середовища характеризується значним зростанням обсягів екологічних даних, що надходять із різних джерел: супутникових систем, метеостанцій, сенсорних мереж і відкритих державних реєстрів. Ці дані є надзвичайно цінними для моніторингу стану довкілля, прогнозування екологічних ризиків і підтримки прийняття управлінських рішень [1]. Однак традиційні методи обробки екологічної інформації часто є недостатньо ефективними через фрагментованість джерел, складність просторового аналізу та обмежені можливості інтерактивної візуалізації.

В умовах цифрової трансформації суспільства особливого значення набувають геоінформаційні вебсервіси, які поєднують засоби картографування, просторового аналізу та вебтехнологій. Такі сервіси дозволяють інтегрувати різнотипні екологічні дані, виконувати їхню географічну прив'язку, аналізувати динаміку змін і представляти результати у зручній візуальній формі [2]. Використання вебплатформ у поєднанні з геоінформаційними системами (ГІС) забезпечує відкритий доступ до актуальних екологічних показників, що підвищує прозорість екологічного моніторингу та сприяє ухваленню науково обґрунтованих рішень у сфері екологічної безпеки.

Актуальність дослідження полягає у необхідності створення універсального вебсервісу, який би забезпечував інтеграцію геопросторових і аналітичних функцій для аналізу екологічних даних у режимі реального часу. Такий підхід дозволить оптимізувати процеси збору, зберігання, обробки та візуалізації екологічної інформації, що є ключовим чинником ефективного моніторингу стану довкілля на регіональному та глобальному рівнях [3].

Метою дослідження є розроблення геоінформаційного вебсервісу, який забезпечує інтеграцію екологічних даних із різних джерел, їх просторово-часовий аналіз і візуалізацію результатів у зручному для користувача форматі з метою підвищення ефективності екологічного моніторингу та підтримки прийняття управлінських рішень у сфері охорони навколишнього середовища.

Основна частина. Сучасні підходи до збору та обробки екологічних даних базуються на поєднанні сенсорних технологій, супутникового моніторингу та відкритих екологічних реєстрів. Інформація надходить із різних джерел: автоматизованих станцій спостереження за якістю повітря та води, геолокаційних датчиків, кліматичних моделей і відкритих державних API. Одним із ключових завдань є уніфікація цих даних, оскільки вони відрізняються за

форматом, періодичністю оновлення та просторовою точністю. Для забезпечення достовірності результатів застосовуються методи очищення даних, усунення пропусків, нормалізації та синхронізації за часовими мітками [4].

ГІС та вебсервіси стали основним інструментом для аналізу екологічних даних завдяки своїй здатності інтегрувати просторові й аналітичні функції. До поширених прикладів належать платформи ArcGIS Online, QGIS Server, Google Earth Engine, Copernicus Open Access Hub, що забезпечують доступ до супутникових зображень і тематичних шарів даних. Проте більшість наявних рішень орієнтовані на фахових користувачів і потребують високого рівня технічної підготовки. Це зумовлює потребу у створенні веборієнтованого сервісу з інтуїтивним інтерфейсом, який дозволить широкому колу користувачів проводити екологічний аналіз без необхідності спеціалізованих знань у сфері геоінформаційних технологій.

Вимоги до розроблюваного геоінформаційного вебсервісу охоплюють кілька аспектів. Функціонально система має забезпечувати завантаження та інтеграцію даних із зовнішніх екологічних джерел, їх просторово-часовий аналіз, фільтрацію та візуалізацію у вигляді картографічних шарів. З точки зору структури даних необхідно підтримувати зберігання координатних даних, часових позначок і параметрів екологічних показників (температура, рівень забруднення, вологість тощо). Користувацький інтерфейс має бути адаптивним, підтримувати перегляд шарів, масштабування, пошук за локацією та експорт результатів аналізу.

Архітектура геоінформаційного вебсервісу базується на клієнт-серверній моделі з використанням принципів REST. Такий підхід забезпечує незалежність між компонентами, масштабованість і можливість інтеграції з зовнішніми системами. Серверна частина реалізується з використанням Python (FastAPI) або Node.js (Express) для обробки запитів, управління базою даних і виконання просторового аналізу. Для зберігання геопросторових даних застосовується PostgreSQL з розширенням PostGIS, що дозволяє працювати з координатами, багатокутниками та растровими шарами. На клієнтському боці використовується JavaScript із бібліотеками Leaflet.js або Mapbox GL JS для відображення інтерактивних карт і накладання аналітичних шарів.

Для формалізації системи створено набір UML-діаграм. Use case-діаграма описує основні сценарії взаємодії користувачів із системою: перегляд картографічних шарів, фільтрація за екологічними показниками, побудова часових графіків та експорт результатів. Компонентна діаграма визначає взаємодію між основними модулями (інтерфейсом користувача, сервером обробки запитів, модулем геоаналітики та базою даних). Діаграма класів відображає структуру системи, зокрема класи Location, Indicator, Measurement, Report та їхні взаємозв’язки. Діаграма розгортання ілюструє розміщення компонентів вебсервісу в хмарному середовищі з використанням контейнеризації Docker для спрощення розгортання та оновлення.

База даних спроєктована з урахуванням особливостей геопросторових об’єктів і передбачає можливість роботи з великими обсягами екологічних спостережень. Вона містить таблиці для зберігання географічних координат, часових рядів, типів забруднювачів та результатів аналітичних обчислень. Ключові поля індексуються для пришвидшення геозапитів, а застосування механізмів кешування дозволяє зменшити час відгуку системи. Структура бази даних забезпечує узгодженість інформації, можливість масштабування та підтримку подальшого розширення функціоналу вебсервісу.

Реалізація системи збору та обробки екологічних даних ґрунтується на багаторівневій архітектурі, що поєднує модулі збору, інтеграції, аналітики та візуалізації інформації. Серверна частина вебсервісу розроблена для забезпечення стабільного доступу до відкритих джерел екологічної інформації, зокрема до API міжнародних платформ, таких як OpenAQ, Copernicus Climate Data Store, NASA EarthData та національних порталів моніторингу довкілля. Реалізований механізм інтеграції дозволяє автоматично отримувати нові дані за заданими географічними координатами, оновлювати локальну базу даних і підтримувати актуальність екологічних показників у режимі реального часу. Для обробки запитів і планування оновлень застосовано асинхронні технології, що забезпечують ефективне використання ресурсів сервера.

Алгоритми просторового аналізу та фільтрації даних реалізовано з використанням розширення PostGIS, яке дозволяє виконувати операції над геометричними об'єктами – визначати зони впливу, обчислювати середні показники в межах певної території, формувати теплові карти. Дані проходять багатоступеневу перевірку, що включає усунення дубльованих записів, згладжування аномальних значень і приведення різних форматів до єдиного стандарту. Реалізовано можливість поєднання часових рядів для виявлення динаміки змін екологічних параметрів. Аналітичний модуль системи підтримує застосування статистичних методів і простих моделей прогнозування для оцінки тенденцій у зміні показників якості повітря, води чи ґрунту.

REST API виконує роль основного каналу взаємодії між клієнтською частиною, сервером і базою даних. Його структура побудована за принципами RESTful-дизайну та підтримує методи GET, POST, PUT і DELETE для виконання запитів різного типу. API забезпечує доступ до агрегованих показників, геопросторових об'єктів, аналітичних результатів і метаданих про джерела. Для підвищення безпеки реалізовано механізм аутентифікації користувачів за токенами (JWT) і контроль доступу на рівні ролей.

Клієнтський інтерфейс вебсервісу розроблено з використанням сучасних картографічних бібліотек Leaflet.js та Mapbox GL JS, що дозволяють відображати великі обсяги просторових даних без втрати продуктивності. Вебінтерфейс побудовано за принципами адаптивного дизайну, завдяки чому сервіс однаково коректно функціонує як на настільних комп'ютерах, так і на мобільних пристроях. Особливу увагу приділено інтуїтивності навігації та візуальній структурі сторінок, що забезпечує швидкий доступ користувача до потрібної інформації.

На інтерактивній карті відображаються тематичні шари екологічних даних — рівень забруднення повітря (PM2.5, CO_2, NO_2), якість водних ресурсів, зміни температури, опадів і вологості. Для зручності користувача реалізовано можливість накладання кількох шарів одночасно, вибору часових періодів і масштабування карти. Кожен шар супроводжується легендою та кольоровою шкалою, що динамічно змінюється залежно від поточних показників.

Система підтримує динамічне оновлення інформації без перезавантаження сторінки завдяки використанню технологій AJAX і WebSocket, що дозволяють відображати зміни екологічних параметрів у реальному часі. Реалізовано функції пошуку за географічними координатами, фільтрації за показниками забруднення та генерації звітів для обраних територій. Крім того, користувач може експортувати дані у форматах CSV, GeoJSON або PDF, що робить сервіс зручним як для наукових досліджень, так і для практичного використання органами місцевого самоврядування чи екологічними установами.

Експериментальне дослідження геоінформаційного вебсервісу проводилося з використанням реальних екологічних даних про якість повітря та води, отриманих із відкритих джерел. Тестування підтвердило стабільність роботи системи, коректність інтеграції з API зовнішніх платформ і точність просторово-часового аналізу.

Отримані результати засвідчили відповідність функціональних характеристик вебсервісу визначеним вимогам; дані оновлювалися автоматично, візуалізація відображалася без затримок, а обчислення середніх показників здійснювалися з мінімальною похибкою.

Оцінювання зручності використання показало, що інтерфейс є інтуїтивним, а навігація по картографічних шарах, зрозумілою навіть для користувачів без досвіду роботи з ГІС. Це підтверджує практичну цінність розробленого вебсервісу для аналізу та моніторингу стану довкілля.

Висновки. У результаті дослідження створено геоінформаційний вебсервіс, що поєднує засоби збору, просторового аналізу та візуалізації екологічних даних у єдиному інтерактивному середовищі. Реалізована архітектура забезпечує стабільну інтеграцію з відкритими джерелами інформації, підтримує автоматичне оновлення даних і динамічне відображення результатів на карті.

Проведене тестування підтвердило ефективність системи, зручність користування та відповідність поставленим вимогам. Запропонований підхід може бути використаний для побудови національних і регіональних платформ екологічного моніторингу, а також як основа для впровадження інтелектуальних методів прогнозування стану довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Li, J., Zhao, W., & Zhang, Y. (2022). Development of a web-based geographic information system for environmental monitoring and data visualization. *Environmental Modelling & Software*, 152, 105394, pp. 1–12.

[2] Kurniawan, T.A., Othman, M.H.D., & Albadarin, A.B. (2021). Integration of GIS and web technologies for environmental data management and decision support. *Journal of Environmental Management*, 289, 112543.

[3] Chen, Z., Xu, H., & Wang, J. (2020). A cloud-based geospatial framework for real-time environmental data analytics. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(8), 465, pp. 1–17.

[4] Rautenbach, V., Coetzee, S., & Ivánová, I. (2023). Web GIS for environmental applications: Trends, challenges, and future directions. *Computers, Environment and Urban Systems*, 104, 101948.

Yehorashchenko I.V.

Geographic information web service for environmental data analysis

Abstract. *The paper presents a geoinformation web service for environmental data analysis that integrates tools for collecting, processing, and visualizing information about the state of the environment. The proposed approach enhances the efficiency of environmental monitoring and supports decision-making in the field of environmental protection.*

Keywords: *geoinformation web service; environmental data; spatial analysis; visualization; environmental monitoring.*