УДК 551.501.8:004.65:502.13:005
DOI https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.132.43

ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ – СУЧАСНИЙ ІНСТРУМЕНТ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

Андрейченко С.В. *– д.б.н., професор,*
завідувач кафедри екології та ландшафтного дизайну,
Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет»
Діденко І.А. *– к.с-г.н.,*
доцент кафедри екології та ландшафтного дизайну,
Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет»
Амбер А.Ю. *– аспірант кафедри менеджменту та інноваційного провайдингу,*
Приватний вищий навчальний заклад «Європейський університет»

У статті розглянуто питання актуальності використання ГІС-технології, що є сучасним інструментом екологічного менеджменту, який використовується для ефективного вирішення проблем забруднення та управління природними ресурсами. Ці технології включають в себе збір, аналіз та візуалізацію географічних даних, що дозволяє зрозуміти взаємозв'язок між людською діяльністю та навколишнім середовищем.

Встановлено, що використання ГІС-технологій у екологічному менеджменті дозволяє здійснювати точну інвентаризацію природних ресурсів, визначати зони забруднення, прогнозувати вплив людської діяльності на довкілля та розробляти стратегії його охорони. Це дає змогу приймати обґрунтовані рішення щодо зменшення забруднення, ефективного використання ресурсів та збереження біорізноманіття.

Використання ГІС-технологій також сприяє взаємодії між різними зацікавленими сторонами, включаючи урядові органи, наукові установи та громадські організації. Це сприяє покращенню комунікації та спільній роботі для досягнення спільних екологічних цілей.

Дослідження зосереджується на використанні цифрових технологій, таких як ГІС-системи, супутникові дані та математичні методи прогнозування, для зниження концентрації забруднюючих речовин у повітрі та керування викидами підприємств. Основною метою дослідження є встановлення зв'язку між наземним та супутниковим моніторингом концентрації забруднюючих речовин у повітрі в місті Києві і розробка моделі, що наближує фактично виміряні значення концентрації. Це дослідження має значення як цифровий інструмент для промислових підприємств у сфері екологічного менеджменту.

У підсумку було доведено, що ГІС-технології є потужним інструментом управління навколишнім середовищем, який допомагає знижувати забруднення, раціонально використовувати природні ресурси та забезпечувати сталий розвиток. Вони дозволяють зробити екологічний менеджмент більш ефективним та науково обґрунтованим.

Ключові слова: *ГІС-технології, цифровий інструмент, екологічний менеджмент, індекс якості повітря, забруднюючі речовини.*

Andreichenko S.V., Didenko I.A., Amber A.Yu. GIS-technologies – a modern tool for environmental management

The article examines the relevance of using GIS technology, which is a modern tool for environmental management, used for effectively addressing pollution issues and natural resource management. These technologies encompass the collection, analysis, and visualization of geographic data, enabling the understanding of the relationship between human activities and the environment.

It has been established that the utilization of GIS-technologies in environmental management enables accurate inventorying of natural resources, identification of pollution zones, prediction of the impact of human activities on the environment, and the development of strategies for its conservation. This facilitates informed decisions regarding pollution reduction, efficient resource utilization, and biodiversity preservation.

The use of GIS-technologies also fosters collaboration among various stakeholders, including governmental bodies, research institutions, and non-governmental organizations.

This contributes to enhanced communication and collaborative efforts toward achieving shared environmental goals.

The research focuses on the application of digital technologies such as GIS-systems, satellite data, and mathematical forecasting methods to reduce the concentration of pollutants in the air and manage industrial emissions. The primary aim of the study is to establish a correlation between ground-based and satellite monitoring of pollutant concentrations in the air in Kyiv city and develop a model that approximates the measured concentration values. This research holds significance as a digital tool for industrial enterprises in the field of environmental management.

In conclusion, it has been demonstrated that GIS-technologies are potent tools for environmental management, aiding in pollution reduction, rational utilization of natural resources, and ensuring sustainable development. They allow for more effective and scientifically grounded environmental management.

Key words: *GIS-technologies, digital tool, environmental management, air quality index, pollutants.*

Постановка проблеми. 2 червня 2022 року у Стокгольмі, Швеція, коаліція з 1000 зацікавлених сторін з понад 100 країн, за підтримки ООН, представила План Дій. Його метою є використання цифровізації для прискорення еколого-соціального аспекту сталого розвитку. Конкретно, план спрямований на перенаправлення і встановлення пріоритетів в застосуванні цифрових технологій для досягнення Порядку Денного Сталого Розвитку до 2030 року та вирішення потрійної планетарної кризи: зміни клімату, втрати біорізноманіття та управління відходами [6].

У самому документі «Порядок денний на XXI століття», що був прийнятий на Міжнародній конференції з довкілля та розвитку в Ріо-де-Жанейро, Бразилія, у 1992 році, було зазначено, що «екологічний менеджмент повинен бути визнаний ключовою складовою сталого розвитку та має бути віднесений до високопріоритетних завдань промислової діяльності підприємств» [1].

З розвитком цифрових технологій, таких як ГІС-системи, використання супутникових даних та застосування математичних методів прогнозування, з'являється додатковий шанс знизити концентрацію забруднюючих речовин у повітрі та ефективно керувати викидами підприємств на національному та глобальному рівнях. Саме це і стало ключовою проблемою цього дослідження – встановлення зв'язку між наземним та супутниковим моніторингом концентрації забруднюючих речовин у повітрі на прикладі міста Києва, а також розробка моделі, що наближує концентрацію забруднюючих речовин до фактично виміряних значень. Це важливо як цифровий інструмент екологічного менеджменту для промислових підприємств [6; 9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для аналізу цифрової складової подібних досліджень, вченими широко використовуються дані з геопорталу інформаційних послуг, що базуються на космічному спостереженні навколишнього середовища та безпеки, відомого як "Copernicus".

Концепція служби "Copernicus" спрямована на забезпечення глобального, високоякісного та постійного моніторингу планети, а також на надання своєчасної та точної інформації, яку можна використовувати для оптимізації екологічного менеджменту та забезпечення сталого розвитку регіонів [9].

Інформація про якість повітря визначається за Європейським індексом якості повітря (ЄІЯП), розробленим Європейським агентством з навколишнього середовища. Цей індекс є важливим інструментом для оцінки рівня забруднення повітря та його впливу на здоров'я людей та навколишнє середовище [2; 8].

ЄІЯП розраховується на основі п'яти основних забруднюючих речовин, які включають O_3, NO_2, SO_2, PM 2,5 та PM 10, що є основними шкідливими речовинами, регульованими європейським законодавством [5]. Значення індексу варіюється від «доброго» (1) до «дуже поганого» (5) і відображає рівень забруднення повітря [4].

Цей індекс дозволяє встановити прямий зв'язок між концентрацією забруднюючих речовин у повітрі та їх впливом на якість повітря. Вищі значення індексу свідчать про більш високу концентрацію забруднюючих речовин і вказують на погіршення якості повітря. Це дозволяє приймати необхідні заходи для зменшення забруднення та покращення екологічного менеджменту з метою забезпечення сталого розвитку та здорового довкілля.

Наведені прогнози отримані за допомогою обчислювальної сітки з рівнем площі 10 км на 10 км. Важливо зазначити, що ці прогнози не враховують місцеві ефекти, які можуть впливати на якість повітря. У районах, де є місцеві джерела забруднення, зазвичай спостерігається висока концентрація SO_2, NO_2, PM 2,5 та PM 10, а низька концентрація O_3 [9].

Постановка завдання. Щоб отримати актуальні значення європейського індексу якості повітря досліджуваної території, нашим завданням було побудувати поліноміальні моделі для прогнозування концентрацій забруднювачів повітря на основі даних геопорталів, які співпрацюють з Європейським агентством з охорони навколишнього середовища, а також з національними агентствами, відповідальними за контроль якості повітря в кожній європейській країні. Ці ресурси надають актуальну та достовірну інформацію про рівень забруднення та якість повітря в різних регіонах [3; 7].

Цифровий інструмент надає дані за допомогою пікселів, що охоплюють велику територію площі землі. Для отримання даних на рівні землі використовувався вимірювальний прилад Air quality monitor sdl607. Цей прилад надає дані майже кожну секунду, тоді як супутник збирає дані щогодинно. З метою узгодження даних, отриманих з наземного приладу та супутника, було проведено усереднення даних з наземних вимірювальних приладів [9].

Виклад основного матеріалу дослідження. В ході нашого дослідження використання приладу Air quality monitor sdl607 дало нам змогу порівняти дані з наземного приладу за часом вимірювання та координатами місця, де були проведені вимірювання, з координатами пікселя, що відповідав тій же території на час проведення наземних вимірювань. Таким чином, отримано дані, необхідні для побудови регресійної моделі.

Для побудови моделі використовувався аналіз, відомий як метод найменших квадратів (МНК). Цей метод застосовується для обробки даних експерименту та отримання висновків про властивості обраного рівняння. Зазвичай у дослідженнях досліджується вплив однієї змінної на іншу [3]. Іноді дві змінні мають точний лінійний зв'язок, який може бути описаний рівнянням прямої лінії.

Розглянемо метод найменших квадратів для рівняння поліному [1]:

$$= \sum_{j=0}^{k} b_j x^j.$$

Мінімізуємо суму квадратів:

$$= \sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{j=0}^{k} b_j \, x_i^j - y_i \right)^2 \to min \, .$$

Прирівняємо часткові похідні до 0. k+1 є змінною S (b_0, b_1,…b_k):

$$S'_{b_p} = 2\sum_{i=1}^{n} x_i^p \left(\sum_{j=0}^{k} b_j x_i^j - y_i\right) = 0, \qquad p = \overline{0,k}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i^p \left(b_0 + b_1 x_i + \cdots + b_k x_i^k\right) - \sum_{i=1}^{n} x_i^p y_i = 0, \qquad p = \overline{0,k}$$

$$\begin{cases} b_0 + b_1\bar{x} + \cdots + b_k\overline{x^k} = \bar{y} \\ \cdots \\ b_0\overline{x^k} + b_1\overline{x^{k+1}} + \cdots + b_k\overline{x^{2k}} = \overline{x^k} \end{cases}$$

Розглянемо МНК для рівняння прямої виду y = ax+b.

$$S = \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - (ax_i + b)\right)^2 \to min \sum_{i=1}^{n} \left(y_i - (ax_i + b)\right)^2 \to min$$

Візьмемо похідні від S по a і b.

$$\frac{dS}{da} = \sum_{i=1}^{n} (2\left(y_i - (ax_i + b)\right) * \left(y_i - (ax_i + b)\right)'_a)$$

$$= 2\sum_{i=1}^{n} \left((y_i - ax_i - b) * \left(0 - (x_i + 0)\right)\right)$$

$$= 2\sum_{i=1}^{n} \left((y_i - ax_i - b) * (-x_i)\right) = 2\sum_{i=1}^{n} (ax_i^2 + bx_i - x_i y_i)$$

$$\frac{dS}{db} = \sum_{i=1}^{n} (2\left(y_i - (ax_i + b)\right) * \left(y_i - (ax_i + b)\right)'_b)$$

$$= 2\sum_{i=1}^{n} \left((y_i - ax_i - b) * \left(0 - (0 + 1)\right)\right) = 2\sum_{i=1}^{n} (ax_i + b - y_i)$$

Прирівняємо похідні до 0 та розв’яжемо отриману систему.

$$\begin{cases} 2\sum_{i=1}^{n} \left(ax_i^2 + bx_i - x_i y_i\right) = 0 \\ 2\sum_{i=1}^{n} (ax_i + b - y_i) = 0 \end{cases}$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} y_i - N\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i}{\left(\sum_{i=1}^{n} X_i\right)^2 - N\sum_{i=1}^{n} X_i^2}$$

$$b = \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{n} y_i - a\sum_{i=1}^{n} x_i\right)$$

Модель монотонної регресії відповідала методу лінії вільної форми до послідовності спостережень, таким чином, щоб відповідна лінія не збільшувалась, і знаходилась якомога ближче до спостережень.

В результаті, необхідно мінімізувати $\sum_i \omega_i \left(y_i - \hat{y}_i \right)^2$, де омега > 0 та

$$\hat{y}_{\min} = \hat{y}_1 \le \hat{y}_2 \ldots \le \hat{y}_n = \hat{y}_{\max}$$

Для кожного із забруднювачів атмосферного повітря було побудовано поліноміальну регресію.

Зв’язок між даними наземних та супутникових вимірів концентрації SO_2 зображено на рис. 1.

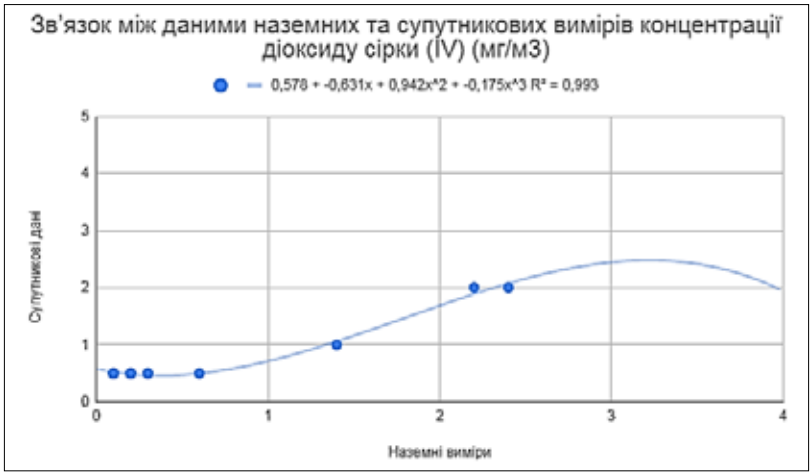

Рис. 1. Виміри концентрації SO_2

Зв’язок між даними наземних та супутникових вимірів концентрації завислих речовин (PM2.5 та PM10) зображено на рис. 2.

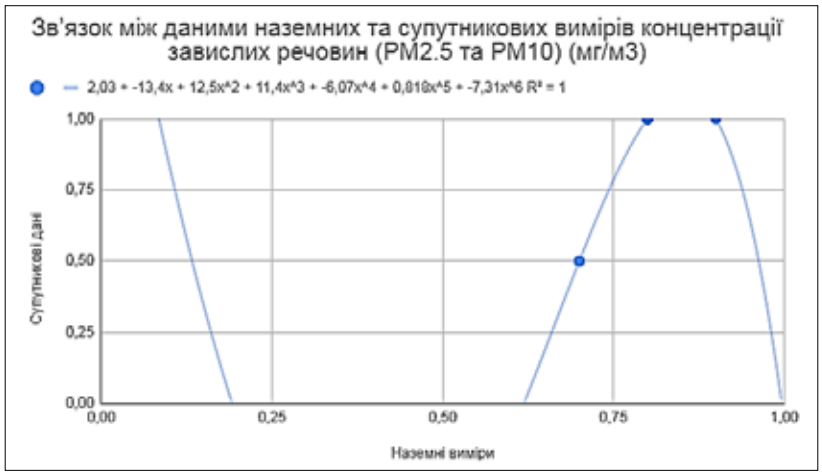

Рис. 2. Виміри концентрації завислих речовин (PM2.5 та PM10)

Зв’язок між даними наземних та супутникових вимірів концентрації CO зображено на рис. 3.

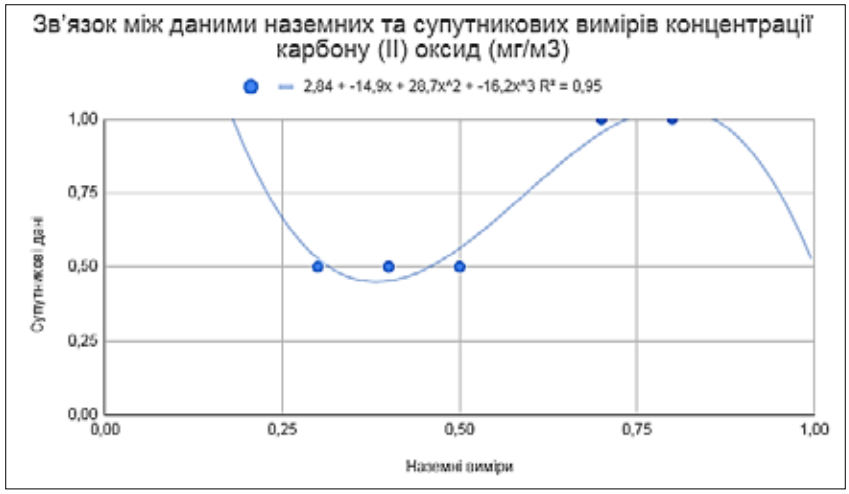

Рис. 3. Вимірів концентрації CO.

Зв’язок між даними наземних та супутникових вимірів концентрації NO_2 зображено на рис. 4.

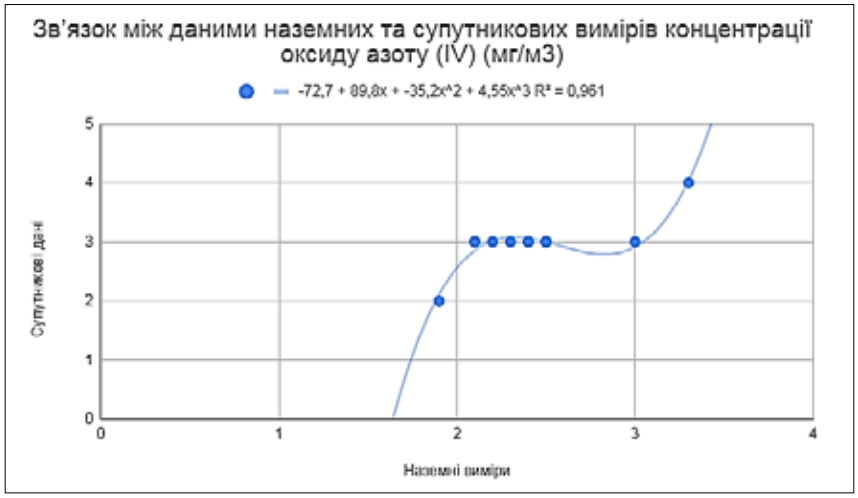

Рис. 4. Виміри концентрації NO_2.

Висновки і пропозиції. Отже, можна зробити висновок, що з розвитком передових технологій, таких як ГІС-системи, супутникові дані та математичні методи прогнозування відкривають можливості для зменшення концентрації забруднюючих речовин у атмосфері та ефективного управління викидами на національному та глобальному рівні.

Побудовані поліноміальні моделі для прогнозування концентрацій забруднювачів повітря, таких як PM 10, PM 2.5, CO, O_3, NO_2, демонструють високу точність у відтворенні даних, близьких до реально виміряних. Оцінки R2 підтверджують добру відповідність поліноміальних моделей заміреним даним.

Метод регресійного аналізу ідеально підходить для вивчення зв'язку між наземним та супутниковим моніторингом концентрації забруднюючих речовин у повітрі, на прикладі міста Києва. Використання цього методу дозволяє отримати значимі висновки щодо взаємозв'язку та впливу різних факторів на якість повітря, що сприяє розробці ефективних стратегій екологічного менеджменту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. AGENDA 21. United Nations Conference on Environment & Development. Rio de Janerio, Brazil, 3 to 14 June 1992.
2. Colin Smith. BS 7750 and environmental management. *Journal of the Society of Dyers and Colourists*. September 1993.
3. Norman R. Draper, Harry Smith. Applied Regression Analysis. First published: 9 April 1998. DOI: 10.1002/9781118625590
4. Towards sustainability: a European Community programme of policy and action in relation to the environment and sustainable development. Brussels : Commission of the European Communities, 1992.
5. Гетьман А.П., Шульга М.В. Екологічне право України : підручник для студентів юрид. виш. навч. закладів. Харків : Право, 2005. 385 с.
6. Кожушко Л.Ф., Скрипчук П.М. Екологічний менеджмент : підручник. Київ : Академія, 2007. 432 с.
7. Моделювання та прогнозування для проектів геоінформаційних систем / В. В. Морозов та ін. Херсон : ХДУ, 2007. 328 с.
8. Федулова Л.І. Менеджмент організацій : підручник. Київ : Либідь, 2004. 448 с.
9. Лабохи Я., Скальський М., Сорока М. Забруднення повітря в Україні з космосу. 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.21053.28645