

УДК 504.054

С. О. Висторопський, А. Є. Полонська

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

АНАЛІЗ СТАНУ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ АТМОСФЕРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Наведено стислий огляд інформаційних технологій, які використовуються при дослідженні ступенів забруднення довкілля та моделі статистичного та динамічного моделювання забруднення атмосфери.

Ключові слова: забруднення довкілля, динамічне моделювання, прийняття рішень.

Приведен краткий обзор информационных технологий, используемых при исследовании степени загрязнения окружающей среды и модели статистического и динамического моделирования загрязнения атмосферы.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, динамическое моделирование, принятие решений.

A brief overview of the information technology used in the investigation of the degree of contamination of the environment and the statistical models and dynamic simulation of air pollution is given.

Key words: environment pollution, dynamic modelling, decision making.

Постановка проблеми. З другої половини ХХ сторіччя особливе місце займають проблеми радіоекології, розв'язок яких безпосередньо пов'язаний із радіаційною безпекою людини. Такі проблеми можливо вирішити за допомогою радіоекологічного моніторингу: визначення місткості природних та штучних радіонуклідів в екосфері, джерел і шляхів міграції (переносу) радіонуклідів, їх кількісних параметрів та динаміки зміни в часі [1].

Серед таких джерел можуть бути природні радіоактивні аномалії, а також техногенно підвищений фон у районах розташування промислових об'єктів з видобутку та переробки мінеральних речовин, в результаті ядерних випробувань та роботи підприємств ядерно-паливного циклу, в тому числі атомних електростанцій в нормальному стані та під час непередбачуваних ситуацій або аварій.

Не останню роль відіграє моніторинг впливу техногенних ділянок промислових підприємств на зовнішнє довкілля, а особливо на повітряне середовище. Адже розташовані на цих ділянках джерела за певними технологічними процесами здійснюють викиди певних шкідливих домішок до атмосферного повітря. Постійний контроль таких викидів – є важливою задачею екологічного моніторингу.

Однією із сфер, що проявляє інтерес до моніторингу, як способу наукового дослідження, є екологія. В той же час основна сфера практичного застосування моніторингу – це управління, а точніше, інформаційне обслуговування управління в різних галузях діяльності. Досить важливою є розробка методологічного апарату моніторингу, створення засобів вимірювання, адекватних поставленим завданням, налагодження системи реалізації моніторингу, що включає збирання, збереження, обробку і аналіз одержуваної інформації.

Розвиток сучасних інформаційних технологій передбачає використання географічні інформаційні системи (ГІС), що є потужним інструментом, який застосовують для: збору, збереження, обробку, відображення даних. Також використовується для вирішення наукових та прикладних задач, аналізу, оцінки, прогнозу і керування навколишнім середовищем.

Аналіз досліджень та постановка задачі. Оцінка забруднення техногенно-навантажених регіонів повинна складатися з моніторингу та подальшого картографування отриманої інформації. Для цього використовують ГІС.

ГІС – це система, що використовує географію та технології, щоб допомогти людині прийняти рішення та краще розуміти оточуюче середовище. Тобто ГІС є поєднанням апаратної бази, програмного забезпечення та географічних даних для збору, збереження, оновлення, маніпулювання, аналізу та відображення всіх форм географічно пов'язаної інформації [6].

Компонентна структура ГІС включає наступні блоки:

- апаратний інструментарій, що складається з датчиків, комп'ютерів, мереж, принтерів та інших інструментів, з якими оперує ГІС;

- програмне забезпечення, що надає механізми та реалізує функції збору, збереження, маніпулювання та аналізу інформації;

- дані, що є найважливішою компонентою ГІС та основою для подальших дій. Дані бувають растровими, векторними, атрибутивними;

- математичні методи аналізу, що покладені в основу функціонування кожного блоку ГІС та є ефективними для певної задачі;

- людина, адже будь-яка система має сенс, коли її застосовує для вирішення своїх потреб саме цей елемент системи.

Функціональна структура ГІС, як правило, включає чотири обов'язкові підсистеми:

- введення даних, що забезпечує введення і/або обробку просторових даних, отриманих з карт, матеріалів дистанційного зондування землі і т. д.;

- збереження і пошуку, що дозволяє оперативно одержувати дані для відповідного аналізу;

– обробки й аналізу, що дає можливість оцінювати параметри, вирішувати розрахунково-аналітичні задачі;

– представлення (видачі) даних у різному вигляді (карти, таблиці, зображення, блок-діаграми, цифрові моделі місцевості і т. д.).

ГІС розрізняють за територіальним обсягом (глобальні, національні, регіональні та ін.) та за предметною областю (міські, муніципальні, природоохоронні).

Для розробки локальної ГІС використовують різні математичні апарати, що призначені для вирішення різних задач у системі. Розглянемо ці методи.

Основою для представлення даних ГІС та автоматизованої картографії є цифрові моделі [8]. Під цифровою моделлю географічного об'єкта будемо розуміти певну форму представлення початкових даних та спосіб їх структурного опису, що дозволяє відновлювати об'єкт шляхом інтерполяції, апроксимації або екстраполяції.

Сьогодні в геоінформатиці для представлення різних поверхонь, зокрема рельєфу, застосовуються дві основні моделі [2–4]. По-перше, це регулярна сітка точок (GRID) або матричне представлення рельєфу. По-друге – триангуляційна модель (TIN), побудована за нерегулярною сіткою вузлів. Обидві моделі мають свої переваги та недоліки, тому вибір моделі, що застосовується, залежить від конкретної ситуації. Матриця рельєфу являє собою регулярну двовимірну таблицю, координатно-прив'язану до місцевості, в комірках якої зберігаються значення висот, що відповідають або центру комірки, або середньому значенню висоти по площині даної комірки. Серед переваг матриці – можливість швидкого доступу до її елементів та простота побудови. До недоліків можна віднести великі обсяги інформації, що зберігається. Найчастіше ця інформація надлишкова. Триангуляційна модель являє собою систему трикутників, що не перетинаються, які опираються своїми вершинами на нерегулярно розташовані на земній поверхні точки. Площини трикутників апроксимують рельєф місцевості. Відмінною особливістю та перевагою триангуляційної моделі є те, що в ній відсутні перетворення початкових даних, що не дає використовувати такі моделі для детального аналізу. Однак дослідник завжди знає, що в цій моделі немає привнесених перетвореннями погрешностей. У багатьох випадках, особливо коли початкових точок небагато і вони розташовані нерегулярно, триангуляційна модель описує рельєф значно більш економно, з точки зору обсягів інформації, що зберігається.

Щодо методів обробки нерегулярних даних, то в більшості сучасних ГІС при роботі з такими даними використовуються різновиди триангуляції Делоне [5].

Одним з основних завдань обробки та аналізу зображень є сегментація, тобто поділ зображення на області, для яких виконується

певний критерій однорідності, наприклад виділення на зображенні областей приблизно однакової яскравості. Поняття області зображення використовується для визначення зв'язкової групи елементів зображення, що має певну загальну ознаку (властивість).

Один з основних і найпростіших способів – це побудова сегментації за допомогою порога. Порог – це ознака (властивість), яка допомагає розділити сигнал на класи. Операція порогового поділу полягає в зіставленні значення яскравості кожного пікселя зображення із заданим значенням порогу.

Порогова обробка зображення може проводитися різними способами.

Для вирішення задач моделювання рівня забруднення повітря необхідна розробка моделі переносу шкідливих речовин та визначення в цих процесах метеорологічних та техногенних факторів.

Для опису процесів поширення шкідливих речовин використовуються математичні моделі різної складності. При використанні навіть самих спрощених моделей аналітичне рішення задач можливо лише в рідких випадках.

Фізичний експеримент. Наукові публікації, присвячені проблемі експериментального дослідження (на базі методів фізичного моделювання) процесів забруднення атмосфери можна умовно розбити на дві нерівноцінні групи, з погляду кількості проведених експериментів:

- фізичні експерименти, присвячені проблемі забруднення атмосфери від постійно діючих джерел викиду (типу димарів);
- фізичні експерименти, присвячені дослідженню процесів забруднення атмосфери при аваріях.

Емпіричні моделі. Цей клас моделей практично не використовується для рішення прогностичних задач забруднення атмосфери при викидах токсичних речовин, що зумовлено значною складністю багатфакторного розглянутого процесу, різноманітням аварійних сценаріїв, впливом метеоумов на процес переносу токсичних речовин.

Статистичні моделі. Створені на основі застосування статистичних методів до результатів спостережень. Слід зазначити, що розробка моделей даного класу поки орієнтована, в основному, на прогноз рівня забруднення атмосфери від стаціонарних джерел викиду (наприклад, типу димар).

Аналітичні моделі. Даний клас моделей інтенсивно розвивається вже більш 70 років для рішення прогностичних задач про забруднення атмосфери промисловими викидами. Значна кількість робіт у цьому напрямку заснована на застосуванні аналітичного рішення рівняння турбулентної дифузії, моделі Гауса, а також їхніх різних варіантів.

Чисельне моделювання. Моделі і методи даного класу становлять собою могутній інструмент рішення складних задач прогно-

зу якості атмосфери. Застосування чисельних моделей для рішення інженерних задач одержало назву обчислювального експерименту. У рамках даного напрямку найбільш часто застосовують метод кінцевих елементів і метод кінцевих різниць.

Виклад основного матеріалу. Реалізація інформаційних технологій при дослідженні забруднення атмосфери має значні обмеження у зв'язку з швидкоплинною зміною стану повітря. Нижче розглянемо два підходи, які використовуються при розрахунку показників забруднення повітря.

Найбільш відомою методикою розрахунку концентрації шкідливих речовин в атмосфері є методика ОНД-86. Модель, яка отримується з використанням цієї методики, є емпіричною.

Згідно з методикою ОНД-86 максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини c_b ($\text{мг} / \text{м}^3$) при викиді газоповітряної суміші з одиночного джерела з круглим устям досягається при несприятливих метеорологічних умовах на відстані x_b (м) від джерела і визначається за формулою [8]:

$$c_b = \frac{AMFmn\eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}}, \quad (1)$$

де:

– A – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери;

– M ($\text{г} / \text{с}$) – маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу в одиницю часу;

– F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі;

– m і n – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду;

– H (м) – висота джерела викиду над рівнем землі (для наземних джерел при розрахунках приймається $H = 2$ м);

– η – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості, у випадку місцевості зі зміною висот, що не перевищують 50 м на 1 км, $\eta = 1$;

– ΔT ($^{\circ}\text{C}$) – різниця між температурою, що викидається, газоповітряної суміші T_2 і температурою навколишнього атмосферного повітря T_1 ;

– \dot{V}_1 ($\text{м}^3 / \text{с}$) – витрати газоповітряної суміші, обчислені за формулою [6]

$$V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0, \quad (2)$$

де:

– D (м) – діаметр устя джерела викиду;

– ω_0 (м / с) – середня швидкість виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду.

Відстань x_b (м) від джерела викидів, на якому приземна концентрація c (мг / м³) при несприятливих метеорологічних умовах досягає максимального значення, визначається за формулою [6], де d – безрозмірний коефіцієнт:

$$x_b = \frac{5 - F}{4} dH. \quad (3)$$

При небезпечній швидкості вітру u_b приземна концентрація шкідливих речовин c (мг / м³) в атмосфері по осі факела викиду на різних відстанях x (м) від джерела викиду визначається за формулою [6]

$$c = s_1 c_b, \quad (4)$$

де s_1 – безрозмірний коефіцієнт, визначається у залежності від відношення $\frac{x}{x_m}$ і коефіцієнта F .

Значення приземної концентрації шкідливих речовин в атмосфері c_y (мг / м³) на відстані y (м) по перпендикулярі до осі факела викиду визначається за формулою [6]

$$c_y = s_2 c_m, \quad (5)$$

де s_2 – безрозмірний коефіцієнт, що визначається у залежності від швидкості вітру u (м / с) і відношення $\frac{y}{x}$ за значенням аргументу t_y [6]:

$$t_y = \begin{cases} \frac{uy^2}{x^2}, & \text{при } u \leq 5 \\ \frac{5uy^2}{x^2}, & \text{при } u > 5 \end{cases}. \quad (6)$$

Для моделювання забруднення атмосферного повітря використовують моделі градієнтного типу для опису процесу міграції токсичної речовини в атмосфері [7–9].

Згідно з моделлю двовимірної постановки задачі, у загальному випадку, описується рівнянням [8]:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial u \phi}{\partial x} + \frac{\partial v \phi}{\partial y} + \bar{\sigma} \phi = \mu \Delta \phi + \sum_{i=1}^N q_i(t) \delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i), \quad (7)$$

де $\mathbf{r}_i = (x_i, y_i)$; u, v – компоненти вектора швидкості повітряного потоку.

Кожна з моделей має слабкі та сильні боки. І характер їх застосування досить різний. У табл. 1 наведено порівняльний аналіз вище-

зазначених методик розрахунку розповсюдження шкідливих речовин в атмосфері.

Таблиця 1

	ОНД – 86	4-крокова різницева схема
Характер застосування	для розрахунку розповсюдження викидів промислових підприємств	універсальна
Масштаб застосування	до 30 км	не лімітований
Залежність від зміни умов	статична	динамічна
Залежність від напрямку вітру	немає	здається в будь-якому вузлі розрахункової сітки
Залежність від сили вітру	максимальне значення сили вітру 5 м / с	не лімітований
Метод розрахунку	детермінований	базується на чисельному інтегруванні
Залежність від часу викидів	немає	враховує
Алгоритмізація	легка	важка

Висновки. Для реалізації існуючих інформаційних технологій при дослідженні показників забруднення нижніх слоїв атмосфери від ансамблю витоків необхідне їх удосконалення за рахунок детермінованих та стохастичних моделей із залученням підсистеми прийняття рішень відносно достовірного результату. Саме реалізація розглянутих підходів оцінки забруднення повітря у сучасних ГІС є основою подальших досліджень.

Бібліографічні посилання

1. **Іванов Є. А.** Радіоекологічні дослідження: навч. посібник / Є. А. Іванов. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2004. – 149 с.
2. **Недилько Б. Е.** Новые технологии и программное обеспечение в географии и геологии: обзор / Б. Е. Недилько, А. Ф. Приставка, А. И. Передерий. – Днепропетровск : ДГУ, 1997. – 72 с.
3. **Peters C. J.** «Interactive Computer Graphics Application of the Bicubic Parametric Surface to Engineering Design Problem2 / C. J. Peters. – McDonnell Douglas Automation Company, St. Louis, Missouri, presented at SIAM 1973 National Meeting, Hampton, Va., 18–21 June 1973.

4. **Роджерс Д.** Математические основы машинной графики : пер. с англ. / Д. Роджерс, Дж. Адамс. – М. : Мир, 2001. – 604 с., ил.

5. **Тозик В. Т.** Электронный учебник по начертательной геометрии [Электронный ресурс] / В. Т. Тозик. – Кафедра инженерной и компьютерной графики Санкт-Петербургского государственного университета ИТМО. – Режим доступа: <http://traffic.spb.ru/geom/menu.html>

6. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л. : Гидрометеоздат, 1987. – 130 с.

7. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / Н. Н. Беляев, М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ. – К. : Наукова думка, 1997. – 368 с.

8. **Беляев Н. Н.** Защита атмосферы от загрязнения при миграции токсических веществ / Н. Н. Беляев, В. М. Липняк. – Д. : РВВ ДНУ, 2006. – 105 с.

9. **Берлянд М. Е.** Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л. : Гидрометеоздат, 1985. – 273 с.

Надійшла до редколегії 19.10.14