

УДК 504.61:622.012

ПОРІВНЯННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ АРЕАЛУ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ

І. О. Камаєва, Л. І. Камаєва, О. М. Лев

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380 (342) 72-71-31; e-mail: math@nung.edu.ua*

Запропоновано метод визначення поля концентрації забруднення ґрунту в областях складної (неопуклої) форми та проведено його апробацію. Представлений підхід базується на застосуванні метода зважування мір.

Ключові слова: *ареал забруднення ґрунтів, метод зважування мір, апробація.*

Постановка проблеми.

Останнім часом при розв'язуванні різних інженерних задач широкого застосування набули чисельні методи (зокрема, при дослідженні екологічних проблем, які стають все більш актуальними). Це пояснюється тим, що точні розв'язки отримати надто складно, а іноді неможливо. Наприклад, аналітичному розв'язуванню не піддаються задачі Діріхле в областях складної конфігурації і з дискретно заданими крайовими умовами. В реальних умовах подібні задачі трапляються досить часто. Проте при розв'язуванні задач за допомогою сіткових методів виникають труднощі, пов'язані з нанесенням сітки та складанням систем великої розмірності. Сучасні темпи розвитку науки і техніки диктують нові вимоги до чисельних методів. Вони повинні бути максимально простими, універсальними та ресурсозберігаючими. Тому надзвичайно актуальною стала проблема створення несіткових методів, які б враховували особливості реальних задач, наприклад, пов'язаних з дослідженням ареалу забруднення ґрунтів внаслідок вітрової ерозії солевідвалів Домбровського кар'єру, в які за складовано близько 40 млн т соленосних порід і які займають площу понад 80 га родючих земель. Солевідвали є джерелом пилового сольового забруднення всіх компонентів навколишнього середовища в тому числі і ґрунтів.

Аналіз публікацій по темі дослідження. Серед публікацій з вивчення впливу джерел забруднення калійних виробництв на навколишнє середовище можна виділити роботи Г.І. Рудька, Я.М. Семчука, П.К. Гаркушина, Е.Д. Кузьменка, Л.Є. Шкіци. Всі ці автори досліджували екологічні проблеми, пов'язані з діяльністю гірничо-хімічних підприємств. І серед значної кількості різновидів впливу на довкілля особливо виділяється пилове та димове забруднення, що формується внаслі-

док безпосереднього надходження з джерел викидів у процесі переробки та транспортування калійних руд, а також внаслідок вітрової ерозії солевідвалів в місцях їх складування.

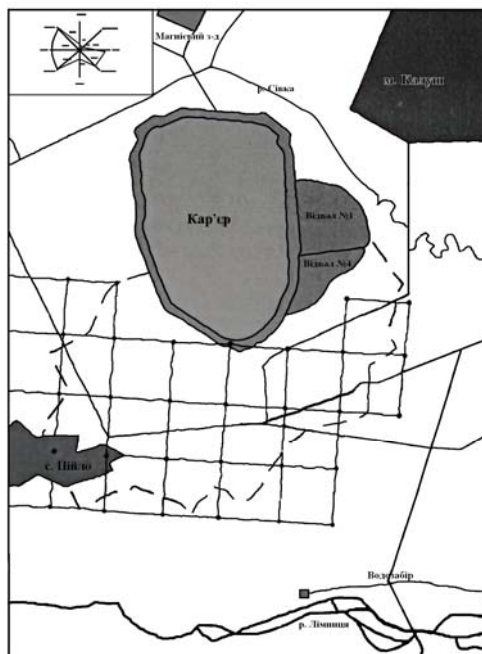
Згідно з рекомендаціями [1-3] дослідження масштабів і рівня забруднення ґрунтів внаслідок аеротехногенного впливу солевідвалів Домбровського кар'єру проводяться експериментальним шляхом у польових умовах. У публікації [4] розроблено спрощену процедуру визначення ареалу забруднення ґрунтів, яка при наявності дискретних крайових умов дозволяє знайти концентрацію забруднення в будь-якій внутрішній точці досліджуваної області. При цьому в ролі обчислювального апарату виступає спосіб обертання симплекса (СОС) як спрощена схема методу скінченних елементів. В [5] запропоновано альтернативний підхід до відновлення фізичних полів в неопуклих областях – метод зважування мір (МЗМ), який практично не застосовувався до екологічних задач.

Постановка задачі. Представити альтернативний підхід [5] до розв'язування екологічних задач в областях неопуклої форми і виконати порівняльний аналіз результатів, отриманих за допомогою МЗМ і отриманих раніше – експериментальним шляхом і за допомогою СОС.

Основна частина. Як відомо, широкий клас задач зводиться до крайових задач і, зокрема, до рівняннї Лапласа з відповідними умовами на межі області. До таких задач можна віднести і задачі з визначення концентрації забруднення ґрунтів внаслідок аеротехногенного впливу солевідвалів Домбровського кар'єру. Як відомо дослідження масштабів і рівня забруднення проводяться експериментальним шляхом: зразки ґрунтів відбираються на відкритих ділянках, віддалених від доріг не менше, ніж на 50 м, по конверту розміром 5×5 м (рис. 1) і об'єднуються в одну пробу. Відбір проводиться на глибині 10-20 см. Аналіз зразків ґрунту здійснюється аналітичним методом – методом водних витяжок, який полягає в наступному: відібрані проби ґрунту осушуються при температурі не більше 50° С. Осушені проби роздрібнюються до фракцій не менше 1 мм. З роздробленої проби ґрунту відбирається наважка вагою 100 г, яку з'єднують із 500 мл дистильованої води. Потім суміш енергійно розмішується протягом 3 хв, після чого суміш відстоюється протягом доби, фільтрується і тільки після цього проводиться аналіз складу цієї суміші. Такий трудомісткий процес дослідження стимулює пошук нових альтернативних методів.

Розглянемо дискретний аналог задачі Діріхле для рівняння Лапласа з розрахунковою схемою, зображеною на рис. 2. Для визначення дискретних крайових умов на межі області можна скористатися експериментальним шляхом, а для знаходження концентрації забруднення всередині області застосуємо метод зважування мір, ідея якого полягає в наступному: досліджувана область замінюється послідовністю скінченних елементів (СЕ) певних розмірів, тобто розглядувана область апроксиму-

ється суперпозицією із скінченних елементів, у кожному з яких значення концентрації для будь-якої точки області шукається за методом скінченних елементів з геометрично-ймовірнісною інтерпретацією базисних функцій.



- — межа ареалу забруднення
- місце забору проб ґрунтів
- — автодороги

Рис. 1. Карта аеротехногенного забруднення ґрунтів хлоридами солевідвалів Домбровського кар'єру, М 1:25000

Побудуємо математичну модель поставленої задачі. Для заданої області (рис. 2) підбираються скінченні елементи, вершини яких розміщені у вузлах на межі області. Ці елементи вибираються так, щоб лінійна комбінація їх мір відповідала мірі досліджуваної області. Оскільки в даній задачі простір – двовимірний, то мірою буде площа. При цьому коефіцієнти пропорційності – це вагові коефіцієнти, які відображають вплив граничних вузлових значень концентрації кожного із скінченних елементів на досліджувану точку. Граничні вузли за своїм розташуванням здійснюють різний вплив на область: ті вузли, що знаходяться ближче до центру області, здійснюють на нього та його оточення більший вплив, а ті, що далі від центру, менший.

В даній задачі, враховуючи її розрахункову схему (рис. 2), зручно ввести у розгляд мультиплекс-елементи, тобто прямокутні СЕ з вершинами на межі області. В кожному з цих елементів для знаходження концентрації в довільно вибраній точці A застосуємо формулу

$$(U_A)_K = \sum_{i=1}^4 N_i(\xi, \eta) \cdot U_i, \quad (1)$$

де $(U_A)_K$ – концентрація у внутрішній точці A K -го СЕ ($K = 1, 2$),

U_i – значення концентрації в граничних точках – у вершинах мультиплекса,

$N_i(\xi, \eta)$ – базисні функції в місцевій системі координат.

Зазначимо, що базисні функції знаходимо спрощеним способом – за допомогою введення геометрично-ймовірнісних аналогій.

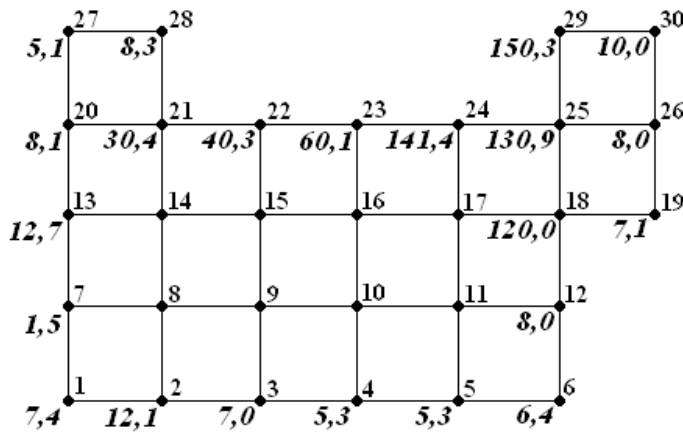


Рис. 3. Розрахункова схема з нанесеними величинами концентрації забруднення у вузлах на межі області

Остаточну концентрацію в досліджуваній точці A для певної комбінації із двох СЕ визначаємо за допомогою процедури зважування концентрацій, отриманих у відповідних елементах, з ваговими коефіцієнтами, знайденими шляхом зважування їх мір:

$$xS_1 + (1-x)S_2 = S, \quad (2)$$

де S – площа заданої області,

S_1 – площа одного мультиплекс-елемента,

S_2 – площа другого елемента,

x та $(1-x)$ – вагові коефіцієнти.

Нагадаємо, що більший ваговий коефіцієнт відповідає тому СЕ, який має більший вплив на досліджувану точку. Цю процедуру можна повторювати з іншими парами елементів. Тоді остаточна концентрація в т. A визначається, як середне-арифметичне значення концентрацій, отриманих на окремих етапах. Приступимо до розрахунків. Площа S досліджуваної області згідно з розрахунковою схемою (рис. 2) дорівнює 450 м^2 . Виберемо один із мультиплекс-елементів найбільший (1-6-29-27), як постійний з площею, рівною 500 м^2 . А другий (менший) елемент

будемо змінювати. Площу меншого позначимо S_1 , а більшого – S_2 . Через K_1 , K_2 позначимо вагові коефіцієнти, які дістанемо з рівняння (2). В якості досліджуваних точок виберемо точки з номерами 9, 10, 15, 16, для яких уже визначена концентрація експериментальним шляхом і за допомогою способу обертання симплекса [4]. Таким чином буде можливість зробити порівняльний аналіз результатів, отриманих різними способами.

Точка №9.

Розглянемо такі етапи:

I. Виберемо елемент (2-4-23-21). Його площа $S_1 = 150 \text{ м}^2$, $S_2 = 500 \text{ м}^2$, $S = 450 \text{ м}^2$. З рівняння (2) маємо вагові коефіцієнти $K_1 = \frac{6}{7}$, $K_2 = \frac{1}{7}$. Тепер за методом скінченних елементів знайдемо концентрацію

U в точці №9 для кожного із мультиплексів за формулою (1). Для першого СЕ (2-4-23-21):

$$(U_9)_I = \frac{50}{150}12,1 + \frac{50}{150}5,3 + \frac{25}{100}60,1 + \frac{25}{150}30,4 = 21.$$

Для другого СЕ (1-6-29-27):

$$(U_9)_2 = \frac{225}{500}7,4 + \frac{150}{500}6,4 + \frac{50}{500}150,3 + \frac{150}{500}5,1 = 21,81.$$

Для даної комбінації мультиплексів:

$$(U_9)_I = K_1 \cdot U_1 + K_2 \cdot U_2 = 21,1.$$

II. Розглянемо ще один СЕ: (2-5-24-21), $S_1 = 225 \text{ м}^2$, $K_1 = \frac{9}{11}$,

$K_2 = \frac{2}{11}$. Тоді:

$$(U_9)_I = \frac{100}{225}12,1 + \frac{50}{225}5,3 + \frac{25}{225}141,4 + \frac{50}{225}30,4 = 29,01; \quad (U_9)_2 = 21,81.$$

$$(U_9)_{II} = K_1 \cdot (U_9)_I + K_2 \cdot (U_9)_2 = 27,66.$$

Остаточне значення концентрації знайдемо, як середне-арифметичне $(U)_I$ і $(U)_{II}$:

$$U_9 = \frac{(U_9)_I + (U_9)_{II}}{2} = 24,38.$$

Цей результат складає похибку 3,6% порівняно з експериментальним.

Точка №10.

I. Розглянемо СЕ (2-6-25-21). $S_1 = 300 \text{ м}^2$, $S_2 = 500 \text{ м}^2$, $K_1 = \frac{3}{4}$,

$$K_2 = \frac{1}{4}.$$

$$(U_{10})_1 = \frac{100}{300}12,1 + \frac{100}{300}6,4 + \frac{50}{300}130,9 + \frac{50}{300}30,4 = 33,05.$$

$$(U_{10})_2 = \frac{150}{500}7,4 + \frac{225}{500}6,4 + \frac{75}{500}150,3 + \frac{50}{500}5,1 = 28,16.$$

Остаточню:

$$U_{10} = K_1 \cdot (U_{10})_1 + K_2 \cdot (U_{10})_2 = 31,8, \text{ що складає похибку } 3,2\%.$$

Точка №15.

I. Розглянемо СЕ (1-4-23-20), площа якого $S_1 = 225 \text{ м}^2$, $S_2 = 500 \text{ м}^2$,

$$K_1 = \frac{9}{11}, K_2 = \frac{2}{11}.$$

$$(U_{15})_1 = \frac{25}{225}7,4 + \frac{50}{225}6,3 + \frac{100}{225}60,1 + \frac{50}{225}8,1 = 30,51.$$

$$(U_{15})_2 = \frac{150}{500}7,4 + \frac{100}{500}6,4 + \frac{100}{500}150,3 + \frac{150}{500}5,1 = 35.$$

$$U_{15} = K_1 \cdot (U_{15})_1 + K_2 \cdot (U_{15})_2 = 31,32. \text{ Похибка становить } 4\%.$$

Точка №16.

Розглянемо такі етапи:

I. СЕ (2-6-25-21) має площу $S_1 = 300 \text{ м}^2$, $S_2 = 500 \text{ м}^2$, $K_1 = \frac{3}{4}$,

$$K_2 = \frac{1}{4}.$$

$$(U_{16})_1 = \frac{50}{300}12,1 + \frac{50}{300}6,4 + \frac{100}{300}130,9 + \frac{100}{300}30,4 = 56,8.$$

$$(U_{16})_2 = \frac{100}{500}7,4 + \frac{150}{500}6,4 + \frac{150}{500}150,3 + \frac{100}{500}5,1 = 49,51.$$

$$(U_{16})_I = \frac{3}{4} \cdot 56,8 + \frac{1}{4} \cdot 49,51 = 54,9.$$

II. Розглянемо ще один елемент: (7-12-25-20). Його площа $S_1 = 250 \text{ м}^2$, $S_2 = 500 \text{ м}^2$, $K_1 = \frac{4}{5}$, $K_2 = \frac{1}{5}$.

$$(U_{16})_1 = \frac{50}{250}15 + \frac{75}{250}8 + \frac{75}{250}130,9 + \frac{50}{250}8,1 = 46,29; \quad (U_{16})_2 = 49,51.$$

$$(U_{16})_{II} = K_1 \cdot (U_{16})_1 + K_2 \cdot (U_{16})_2 = 46,9.$$

Остаточню:

$$U_{16} = \frac{(U_{16})_I + (U_{16})_{II}}{2} = 50,9.$$

Цей результат має похибку 0,99%.

В табл. 1 наведені результати, отримані за допомогою відбору зразків ґрунту з подальшим їх дослідженням, за допомогою комп'ютерного експерименту, використовуючи СОС, та за допомогою метода зважування мір (МЗМ).

Таблиця 1. Порівняльна характеристика результатів обчислень

Точка	Методика відбору ґрунту (мг/100 г ґрунту)	СОС (мг/100 г ґрунту)	МЗМ (мг/100 г ґрунту)	Відносна похибка % СОС/МЗМ
9	25,3	24,8	24,4	1,9/3,6
10	30,8	30,6	31,8	0,8/3,2
15	30,1	30,0	31,3	0,2/4,0
16	50,4	50,1	50,9	0,7/1,0

Висновки і перспективи подальших досліджень. Порівняльний аналіз показує що результати, отримані альтернативним методом зважування мір непогано корелюються з результатами, отриманими іншими методами і може успішно використовуватися при прогнозуванні рівня забруднення ґрунтів внаслідок діяльності гірничо-хімічних підприємств, а також вітрової ерозії солевідвалів в місцях їх складування. Особливість методу полягає в тому, що він дозволяє визначити поле концентрацій в областях складної неопуклої форми, яка може виникнути в результаті вибору граничних точок, в яких здійснюються заміри. А такі точки, як правило, вибираються в найбільш зручних місцях (криниці, бурові свердловини тощо). Він дозволяє визначити рівень забруднення в будь-якій окремій точці області і, таким чином, змоделювати ареал забруднення ґрунту.

Результат можна покращити, якщо розглядати комбінацію з більшої кількості мультиплексів або вводити до розгляду елементи більш високого порядку.

Зазначимо, що при дослідженні областей складної конфігурації крім мультиплексів можуть бути використані СЕ і іншої геометричної форми – симплекси, гексагони, октагони та ін.

Література

1. Білоус Л.І. Елементи моніторингу в геологічних та агроґрунтових дослідженнях / Л.І. Білоус, І.М. Волошин // Моніторинг природних комплексів. – Львів, 1995. – С. 37-50.
2. Білявський Г.О. Практикум із загальної екології: навч. посіб. / Г.О. Білявський, Р.С. Фурдуй. – К.: Либідь, 1997. – 160 с.

3. Еколого-геохімічна оцінка забруднення ґрунтів, донних відкладів, ґрунтових вод: метод, рекомендації ДПП «Геоінформ». – К.: Геоінформ, 1998. – 33 с.
4. Комп'ютерне моделювання ареалу забруднення шрунтів / І.О. Камаєва, С.О. Камаєва, Л.І. Камаєва, О.М. Лев // Строительство и техногенная безопасность. – 2012. – Вип.41. – С. 112-116.
5. Камаєва І.О. Альтернативні методи дослідження ареалу забруднення ґрунтів / І.О. Камаєва, Л.І. Камаєва, О.М. Лев // Наукові вісті. Галицька академія. – Івано-Франківськ, 2012. – №1(20). – С. 3-6.

Стаття надійшла до редакційної колегії 24.12.2014 р.

*Рекомендовано до друку д.т.н., професором Семчуком Я.М.,
д.т.н., професором Шкіцюю Л.Є.*

COMPARISON OF ALTERNATIVE METHODS OF RESEARCH THE AREA OF SOIL CONTAMINATION

I. O. Kamaeva, L. I. Kamaeva, O. M. Lev

*Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivs'k, Carpathians str., 15;
ph. +380 (342) 72-71-31; e-mail: math@nung.edu.ua*

The method for determinsing the concentration field contamination of soil in areas of complex (unprotuberant)shape is offered and its approbation is conducted. The presented approach is based on the method of weighing measures.

Key words: *area of soil contamination, method weighing of measures, approbation.*