

УДК 004.422.81

О. В. Коваленко (Інститут ядерних досліджень НАН України),
О. О. Кряжич (Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України)

СПОСІБ ОПИСУ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЇ ТА ЙОГО ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ “ВИПАДКОВА ТОЧКА” З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ МОЖЛИВИХ НАПРЯМКІВ

The article presents a method for the study of ecological state of the territory in the technogenic soilings. The basis for a method based on some basic approaches method possible directions. The algorithm developed. The presented method is implemented as a computer program "Random point". To program determine the areas of contamination small area territories in the event of industrial accidents with release of dangerous substances into the environment is intended. The results of the carried out in practice, to clarify areas of contamination in a radionuclide of hydrogen with tritium and a number of chemicals.

У статті представлено спосіб з дослідження екологічного стану території при техногенному забрудненні. В основу способу покладені деякі базові підходи з методу можливих напрямків. Наведений спосіб реалізовано у вигляді комп'ютерної програми «Випадкова точка». Результати перевірено на практиці для уточнення зон забруднень території радіонуклідом водню тритієм, а також рядом хімічних речовин.

1. Вступ. Актуальність досліджуваної теми обумовлена активним розростанням великих міст за межі виробничо-промислових зон підприємств, часто — потенційно небезпечних, які стали центрами постійного перебування великої кількості населення. Це викликає занепокоєння як самих мешканців таких "спальних районів так і фахівців — медиків, екологів, працівників санітарно-епідеміологічних та рятувальних служб, бо подібне вимагає постійного моніторингу та опису можливого і дійсного розповсюдження забруднень, що виходять за межі санітарно-захисних зон підприємств. Такий опис повинен реалізовувати вирішення наступних задач:

- швидке визначення зон розповсюдження забруднення будь-якої за площею території;
- врахування того фактору що досліджувана територія є пересіченою місцевістю з різним рівнем осідання забруднюючих речовин;
- використання для аналізу і прогнозування тих даних, які важливі дослідникам на момент вирішення завдання і сприяють прийняттю швидкого і ефективного розв'язку.

Метою роботи є представлення способу опису екологічного стану території в разі її техногенного забруднення та наведення можливої програмної реалізації зазначеного.

Задачі роботи:

- обґрунтувати підхід з вирішення окремих проблем зменшення похибок при ітераціях, що є суттєвим у випадку наближення деяких функцій при реалізації способу опису екологічного стану території;
- представити особливості програмної реалізації способу опису забрудненої території.

У даній статті представлені підсумки випробування способу опису забрудненої території за допомогою комп'ютерної програми “Випадкова точка”.

2. Виділення частини загальної проблеми. Деякі зі способів дослідження оточуючого середовища при його забрудненні реалізовані в інструментах моделювання геоінформаційних систем (GRASS GIS, ArcGIS, Quantum GIS та інш.), що дозволяють поєднувати зображення територій з табличною інформацією про стан території.

Серед розробок за означеною тематикою певний інтерес представляє спосіб індикації та оцінки екологічного стану забрудненої важкими металами системи ґрунт-рослина за біохімічними показниками [1], в якому представлено аналітичний спосіб дослідження забруднення ґрунтів та рослинного покриву важкими металами. При цьому досліджується ґрунтовий шар не більше 35 см, що не завжди дає необхідну для дослідника картину за деякими елементами техногенного забруднення.

Цікавим з точки зору підвищення достовірності досліджень території є спосіб визначення ділянок забруднення оточуючого середовища [2], що дозволяє будувати контури забруднення окремих зон за рівнем концентрації небезпечної речовини, шляхом відбору пари проб “тумус – рослина” на ділянці, що вже визнана забрудненою.

Дещо ближчими є дослідження за способом відбору проб для аналізу ґрунту [3], де підхід дозволяє контролювати якість та екологічну безпеку ґрунту і ґрунтового покриву з рослинним (переважно трав’яним) покривом. Сутність технічного рішення полягає у тому, що ряди проб розташовують уздовж кордону природного або іншого об’єкта, які стають смугами взяття проб ґрунту, а також перпендикулярно межі цього об’єкта. Такі ряди вибудовують ланцюги спостережень. В способі використано об’єднання різнорідних методів випробування ґрунту з використанням координатної сітки території за допомогою створення універсального майданчику відбору проб ґрунту. Проте для досліджень розповсюдження окремих елементів є суттєвим обмеженням вибору фіксованої зони комірки дослідження (2 x 2) м, та їх розташування по три поряд симетрично в кожному ряду зони дослідження, а також фіксованої відстані відбору проб на цих квадратах, що спонукає отримання наближеної оцінки за рядом вимірів, повторення та дублювання дій.

Слід зазначити, що жодний з розглянутих способів дослідження екологічного стану території не дозволяє досліднику:

- а) самостійно обирати мінімальні межі ділянки для дослідження;
- б) будувати власний шлях дослідження, який більш підходить для реалізації поставлених задач. Особливо це стосується задач аналізу забруднення території радіонуклідами, які в своїй практичній реалізації вимагають дещо іншого підходу до організації досліджень, на відміну від роботи на території з хімічним забрудненням.

В основу способу опису території, що пропонується у даній роботі, покладено метод можливих напрямків Дж. Зойтендейка [4] – підхід, за яким базисна точка може бути невідомою і взятою довільно. З цієї базисної точки визначаються напрями з довжиною кроку за умов підвищення або пониження степеню, будуються вектори за напрямками з врахуванням умови невід’ємного невідомого, вирішується задача пошуку полюсних точок за напрямом для визначеної дослідником неперервної обмеженої функції, яка описує територію, що у підсумку дозволяє отримати полюсні точки, в кожній з яких відбираються проби

для забезпечення статистичної достовірності отриманих результатів та побудови контуру забрудненої території.

Задача з реалізації способу дослідження екологічного стану території при техногенному забрудненні вирішується за допомогою наступних кроків:

– 1-й крок: умовно обмежується деяка обрана територія X , прямокутником з координатною сіткою, де розміри кожної фіксованої зони комірки (клітини) дослідження визначаються дослідником. Для зручного орієнтування на місцевості використовується карта або схема;

– 2-й крок: обирається довільно базисна точка x_k , визначаються об'єкти для досліджень (рослини, ґрунт, роса, тала вода снігового покриву і т. інш.);

– 3-й крок: проводяться виміри концентрації небезпечної речовини, що потрапила в оточуюче середовище в результаті викиду з небезпечного підприємства, без врахування того, перевищена чи ні гранично припустима концентрація речовини;

– 4-й крок: обираються від точки x_k напрями від 1 до n та здійснюється довільно будь-який малий крок $\alpha_k > 0$ для отримання полюсної точки, яка стане центром відбору нової партії проб. Щоб комірки ділянок досліджень не дублювалися, обирається напрям за методом генерації випадкових чисел;

– 5-й крок: за отриманими напрямками та в полюсних точках збираються проби з базового об'єкта для досліджень, отримуються виміри небезпечної речовини, дані заносяться до таблиці вимірів, на основі яких буде побудований контур забруднення;

– 6-й крок: обирається точка, за якою отримане найбільше значення концентрації небезпечної речовини, вона стає базисною точкою, за якою повторюються перелічені кроки.

Дослідження триває покроково за напрямом, де отримується найбільше значення вимірів. Це необов'язково повинне бути перевищення концентрації речовини, а просто поступове збільшення результатів. Виміри за наведеним способом проводяться до тих пір, поки базисна точка перестане належати ділянці, що досліджується ($x_k \notin X$), або всі отримані результати вимірів будуть від'ємними. Для достовірності досліджень можна також обирати базисною точкою будь-яку іншу точку або високе значення вимірів за полюсними точками на кінцях променів при реалізації кроку 5. Описана покрокова методика дозволяє реалізувати спосіб опису забрудненої території за напрямом на проміжку $[a, b]$ деякої заданої неперервної обмеженої функції $f(x)$. В процесі реалізації способу буде цікавити знаходження кусочно-поліноміальної функції $P(x) \in C_1(a, b)$, яка найкращим чином наближує $f(x)$ за підходом Чебишева, що розглядалося у [5].

3. Особливості методу можливих напрямків Дж. Зойтендейка. Якщо точка x_k знаходиться на межі припустимої області X , то будь-який малий крок $\alpha_k > 0$ в напрямку антиградієнта за методами градієнтного спуску може призвести до неприпустимої точки ($x_k \notin X$). Подолання такого випадку передбачено в методах можливих напрямків, до яких відносяться метод проекції градієнту, метод умовного градієнту, опуклий симплексний метод Зангвілла і метод Дж. Зойтендейка. Загальна ідея підходу полягає у виборі мінімально можливого напрямку пошуку у граничній точці x_k , з врахуванням всіх обмежень та кута зі спрямуванням антиградієнту в цій точці.

Нехай на проміжку $[a, b]$ задана неперервна обмежена функція $f(x)$. Нас ці-

кавить кусочно-поліноміальна функція $P(x) \in C^1(a, b)$, яка найкращим чином наближує $f(x)$ за підходом Чебишева. Виразом $C^1(a, b)$ означаємо клас функцій, неперервних на відрізок $[a, b]$ разом з першою похідною. Явно, що для $P(x)$ матиме місце наступне представлення:

$$\begin{cases} f_1(x) & x \in [a, C_1], \\ f_2(x) & x \in [C_1, C_2], \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ f_{s+1}(x) & x \in [C_s, b]. \end{cases} \quad (1)$$

В даному дослідженні точки $a = C_0 < C_1 < C_2 < \dots < C_s < C_{s+1} = b$ будемо вважати невідомими.

Функції $f_i(x), i = \overline{1, s+1}$ є поліноміальними зі степенем не менше 2. Тобто, наведена задача у випадку, якщо $f_i(x)$, має однаковий степінь і є задачею побудови сплайн функції з фіксованими вузлами.

Задача побудови $P(x)$ зводиться до кількох завдань побудови поліномів найкращого наближення $f_i(x)$ в розумінні підходу Чебишева до функції $f(x)$ для $x \in [C_i, C_{i+1}]$ ($i = \overline{0, s+1}$). Цей факт виходить з принципу оптимальності Беллмана. Саме тому достатньо розглянути задачу побудови полінома найкращого наближення до $f(x)$ на деякому інтервалі. Цей поліном повинен ще задовольняти умови, що забезпечують відповідну гладкість $P(x)$.

Нехай задана функція $f(t)$ і деяка дискретна множина точок:

$$\begin{aligned} E &= \{Y_0, Y_1, \dots, Y_{N+1}\} \in [a, b] \\ Y_0 &= a, Y_{N+1} = b. \end{aligned}$$

Треба відшукати поліном заданого степеню k :

$$P_k(t) = \sum_{i=0}^k x_i t^i. \quad (2)$$

Нехай нам дана довільна задача лінійного програмування:

$$\begin{cases} \max \sum_{j=1}^k d_j x_j, \\ \sum_{j=1}^k a_{ij} x_j \leq b_i, \\ x_j \geq 0, i = \overline{1, P}; j = \overline{1, k}. \end{cases} \quad (3)$$

Як і всі методи лінійного програмування, градієнтний метод вимагає відшукання точки, яка задовольняє обмеження задачі лінійного програмування. Позначимо її $X^0 = (x_1^0, \dots, x_k^0)$. Тоді для X^0 виконується:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^k a_{ij} x_j^0 &\leq b_i, \\ x_j^0 &\geq 0, i = \overline{1, P}; j = \overline{1, k}. \end{aligned} \quad (4)$$

На відміну від симплексного і двоїстого методів розв'язування задачі лінійного програмування X^0 може й не бути базисною точкою, що значно спрощує

вирішення задачі. У цьому дослідженні припустимо, що така точка вже обрана. Тоді ірраціональна процедура знаходження розв'язку задачі (3) зводиться до наступного:

а) з точки X^0 обираємо напрямок S , за яким величина $\sum_{j=1}^k d_j S_j$ має найбільше значення і вектор $S = (S_1, \dots, S_k)$ задовольняє обмеження $\sum_{j=1}^k P_{ij} S_j \leq 0, i = \overline{1, P_1} (P_1 \leq P + K)$, де матриця $P = (P_{ij})$ складена з умов матриці обмежень (3), які для точки X^0 виконуються як рівняння, тобто, для матриці P маємо:

$$\sum_{j=1}^k P_{ij} x_j^0 = b_i i = \overline{1, P_1},$$

Додаючи сюди і умову невід'ємного невідомого. Після обрання напрямку S , обираємо довжину кроку λ для переходу у наступну точку X^1 , виходячи з умови, що X^1 повинна задовольняти (4);

б) вибір величини λ здійснюємо з відношення:

$$\lambda = \left\{ \min \frac{b_1 - \sum_{j=1}^k a_{ij} x_j^0}{\sum_{j=1}^k a_{ij} S_j} \mid \sum_{j=1}^k a_{ij} S_j > 0, i = \overline{1, P} \right\};$$

в) будуємо точку $X^1 = X^0 + \lambda S$, яка задовольняє умови (4). Величина, на яку збільшилася лінійна форма задачі (3), дорівнює $\lambda \sum_{j=1}^k d_j S_j$;

г) повторюються пункти а) і б) відносно точки X^1 , та отримується X^2 . Це повторюється до того випадку, поки не буде існувати напрям, для якого величина $\sum d_j S_j$ стає від'ємною. Цей факт доводить, що не існує точки, яка задовольняє (4), в якій лінійна форма набувала б значення попередньої форми. Тому точка, на якій зупинився процес, буде розв'язком задачі (3).

Знаходження вектора напрямку $S = (S_1, \dots, S_k)$ зводиться до розв'язування наступної задачі математичного програмування:

$$\sum_{j=1}^k d_j S_j \rightarrow \max \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^k P_{ij} S_j \leq 0 \quad (i = \overline{1, P_1}), \quad (6)$$

до якої, як правило, додають ще одне обмеження (нормалізацію) на вектор $S = (S_1, \dots, S_k)$.

Результат розв'язування задачі є відшукання $f_s(x)$ з уточненням степеня полінома й підінтервалу апроксимації. А загальний алгоритм опису яружних цільових функцій для поставленої довільної задачі, буде наступним:

Здійснюється введення необхідних параметрів.

Вибір фактичних параметрів і визначення величин, потрібних для роботи програми.

Визначається довжина підінтервалу апроксимації.

Здійснюється одночасна побудова масивів.

Визначається попередній степінь полінома апроксимації за допомогою масивів.

Здійснюється зменшення довжини підінтервалу на половину й відновлення лічильників.

Побудова матриці обмежень за допомогою масивів.

Побудова C_1 й початкове розв'язок X^1 задачі лінійного програмування.

Побудова напрямку S_1 .

Обчислення довжини кроку для побудови нового вектора X^1 .

Побудова нового вектора X^1 .

Блок коректування степеня.

Зниження степеня. Побудова нових обмежень задачі лінійного програмування.

Підвищення степеня. Побудова обмежень задачі лінійного програмування.

Фіксація результатів і перехід до нового підінтервалу апроксимації.

Візуально зазначене можна представити як опис русла яру від деякої довільно обраної точки (рис. 1).

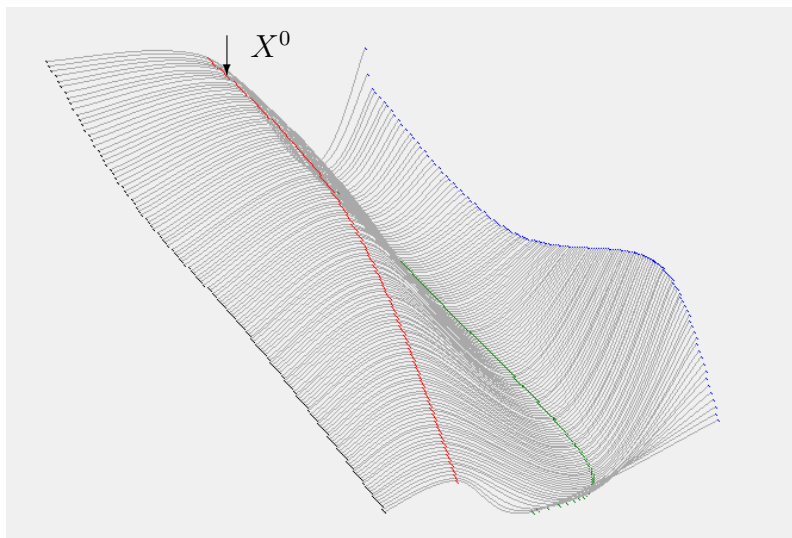


Рис. 1. Візуалізація розв'язку задачі за методом можливих напрямів

На рис. 1 представлений початковий вибір точки X^0 , що задовольняє обмеження задачі лінійного програмування і може бути не базисною точкою. Вигнутими горизонтальними лініями позначені кроки для побудови нового вектору X^1 , а вертикальною — напрям до пошуку від'ємної величини.

Проте, як видно з рис. 1, при вирішенні задачі буде виконана велика кількість кроків. Тобто, велика кількість ітерацій за методом Дж. Зойтендейка може призвести до отримання неточних результатів, що буде істотним при дослідженні невеликих за площею територій. У цьому випадку можна застосувати розкладання функцій за нев'язками, яке дозволяє отримати оптимальні по точності ітераційні формули довільного порядку збіжності, узгоджені з

використовуваними початковими наближеннями, як за рахунок використання найкращих наближень, так шляхом використання спеціальних норм похибок, що враховують структуру нев'язки. Розклад функцій за нев'язками свого часу глибоко досліджений Г. С. Теслером [6].

4. Вирішення окремих проблем мінімізації похибок при ітераціях. Деякі елементарні функції є єдиними неперервними розв'язками функціональних рівнянь виду:

$$\begin{aligned} f(x+y) &= f(x) + f(y), f(x+y) = f(x) \cdot f(y), \\ f(x \cdot y) &= f(x) + f(y), f(x \cdot y) = f(x) \cdot f(y), D(f) = R. \end{aligned}$$

Враховуючи поставлену задачу, прийемо, що якась функція задана в неявному виді:

$$F(x, y) = 0. \quad (7)$$

Розглянемо нев'язку:

$$Z_0 = F(x, y_0), \quad (8)$$

де y_0 наближення функції на заданому інтервалі $[a, b]$ і $\lim_{y_0 \rightarrow y} Z_0 = 0$. Величина похибок нев'язки може бути отримане шляхом підставки у вираз (8) величини $y_0 = y(1 + \delta_0)$ або $y_0 = y + \Delta_0$, де δ_0, Δ_0 відповідно відносна і абсолютна похибки.

Напишемо рівняння (7) у вигляді

$$\Phi(x, y_0, z_0) = 0. \quad (9)$$

Запропонуємо, що функція $\Phi(x, y_0, z_0)$ визначена і неперервна в області

$$D = \{x^0 - \Delta_1, x^0 + \Delta_1, y_0^0 - \Delta_2, y_0^0 + \Delta_2, z_0^0 - \Delta_3, z_0^0 + \Delta_3\},$$

- з центром в точці (x_1^0, y_1^0, z_0^0) ;
- приватні похідні $\Phi'_x, \Phi'_y, \Phi'_z$ існують і неперервні в області D;
- функція Φ в точці (x^0, y^0, z_0^0) перетворюється на нуль;
- приватна похідна $\Phi'_x(x^0, y_0^0, z_0^0) \neq 0$.

При цих припущеннях за теоремою про неявну функцію від декількох змінних рівняння (9) визначає x як однозначну функцію від y_0, z_0 , тобто

$$x = \varphi(y_0, z_0). \quad (10)$$

При $y_0 = y_0^0, z_0 = z_0^0$ ця функція набуває значення $x^0 = \varphi(y_0^0, z_0^0)$ і окрім цього, функція $\varphi(y_0, z_0)$ неперервна по сукупності своїх аргументів і має неперервні приватні похідні $\varphi'_{y_0}, \varphi'_{z_0}$.

Ґрунтуючись на рівнянні (7), можна записати рівність

$$f(x) = f[\varphi(y_0, z_0)],$$

де $f(x) \equiv y$ шукана функція; $f[\varphi(y_0, z_0)]$ — суперпозиція функцій f і φ .

Розклавши функцію $f[\varphi(y_0, z_0)]$ за степенями z_0 в межах точки $M_l(y_0, 0)$ в кратний ряд Тейлора, отримаємо наступний ряд нев'язок:

$$\begin{aligned} y &= f[\varphi(y_0, 0)] + \frac{\partial}{\partial z_0} (f[\varphi(y_0, z_0)]|_{z_0=0}) z_0 + \\ &+ \frac{1}{2!} \frac{\partial^2}{\partial z_0^2} (f[\varphi(y_0, z_0)]|_{z_0=0}) z_0^2 + \dots + \frac{1}{k!} \frac{\partial^k}{\partial z_0^k} (f[\varphi(y_0, z_0)]|_{z_0=0}) z_0^k + \dots \end{aligned} \quad (11)$$

Відмітимо, що члени розкладання в ряд Тейлора функції $f[\varphi(y_0, z_0)]$ з похідними по y в точці $M_l(y_0, 0)$ дорівнюють нулю, оскільки множаться на величину $(y - y_0)^k|_{y=y_0} = 0$.

В деяких випадках для отримання ряду нев'язок у виді

$$y = \psi(y_0) \sum_{k=0}^{\infty} a_k t_0^k, y = y_0 + \sum_{k=1}^{\infty} b_k t_0^k, \quad (12)$$

робиться заміна $t_0 = H(y_0, z_0)$. В окремому випадку можливі рівності $t_0 \equiv z_0, \psi(y_0) \equiv y_0$.

Для збіжності отриманого розкладання до функції $f(x)$ в межах точки $M_l(y_0, 0)$ необхідно і достатньо, щоб функція $f[\varphi(y_0, z_0)]$ мала область D неперервних приватних похідних будь-якого порядку і $\lim_{n \rightarrow \infty} R_n = 0$, де R_n — залишковий член кратного ряду Тейлора (11).

Розглянемо декілька окремих випадків розкладання в ряд нев'язок для часто вживаних в практичних застосуваннях функцій.

Нехай задана нев'язка функції $y = f(x)$ у вигляді $z_0 = x - f^{-1}(y_0)$, де $f(y)$ — функція, зворотна до $f(x)$. При $y_0 = y$ отримуємо $z_0 = 0$. В цьому випадку $x = z_0 + f^{-1}(y_0)$, звідки $f(x) = f(z_0 + f^{-1}(y_0))$.

Розклавши функцію $f(z_0 + f^{-1}(y_0))$ в ряд Тейлора, отримаємо

$$f(x) = f(f^{-1}(y_0)) + f^{(1)}(f^{-1}(y_0)) z_0 + \frac{f^{(2)}(f^{-1}(y_0))}{2!} z_0^2 + \frac{f^{(3)}(f^{-1}(y_0))}{3!} z_0^3 + \dots$$

У іншому виді з урахуванням того, що $f(f^{-1}(y_0)) = y_0, f^{-1}(y_0) = x_0$, отримаємо

$$f(x) = y_0 + y^{(1)}(x_0) z_0 + \frac{y^{(2)}(x_0)}{2!} z_0^2 + \frac{y^{(3)}(x_0)}{3!} z_0^3 + \dots \quad (13)$$

В деяких випадках виникає необхідність обчислювати функцію $f^{-1}(x)$, взаємно-зворотну до функції $f(x)$. Взявши за нев'язку $z_0 = x - f(y_0)$, де y_0 — наближене значення функції $f^{-1}(x)$ на заданому інтервалі, отримаємо $x = z_0 + f(y_0)$.

Розкладання (13) може бути використане для обчислення ряду елементарних і спеціальних функцій у вигляді ітераційних формул, які використано в програмній реалізації способу опису забрудненої території, зокрема, при реалізації алгоритму опису яружних цільових функцій.

5. Практична реалізація опису за допомогою програми “Випадкова точка”. Наведений математичний апарат використано при розробці комп'ютерної програми “Випадкова точка” і перевірено на практиці для уточнення зон забруднень території радіоізотопом водню тритієм, а також рядом хімічних речовин.

Програма “Випадкова точка” (англійською: “Random point”) задумана як інструмент для проведення польових досліджень в екологічній експертизі, агро-екології, при оцінці радіаційної обстановки та прогнозуванні токсичної дії забруднювачів, що накопичуються в ґрунті, воді та рослинному покриві, а також визначення якості рекреаційних зон і призначена для роботи у середовищі MS

Windows (XP, Vista, 7, 8, 10) на персональному комп'ютері, а також для роботи на планшеті під операційною системою Android. Програма є простою у використанні і не вимагає спеціальних навиків.

Першим етапом роботи є завантаження карти чи схеми території, на якій проводитимуться дослідження (рис. 2) і які попередньо зберігаються на персональному комп'ютері у форматі .jpg. При підключенні до мережі Інтернет є можливість завантаження карт чи схем територій безпосередньо з Google maps або Яндекс карти.

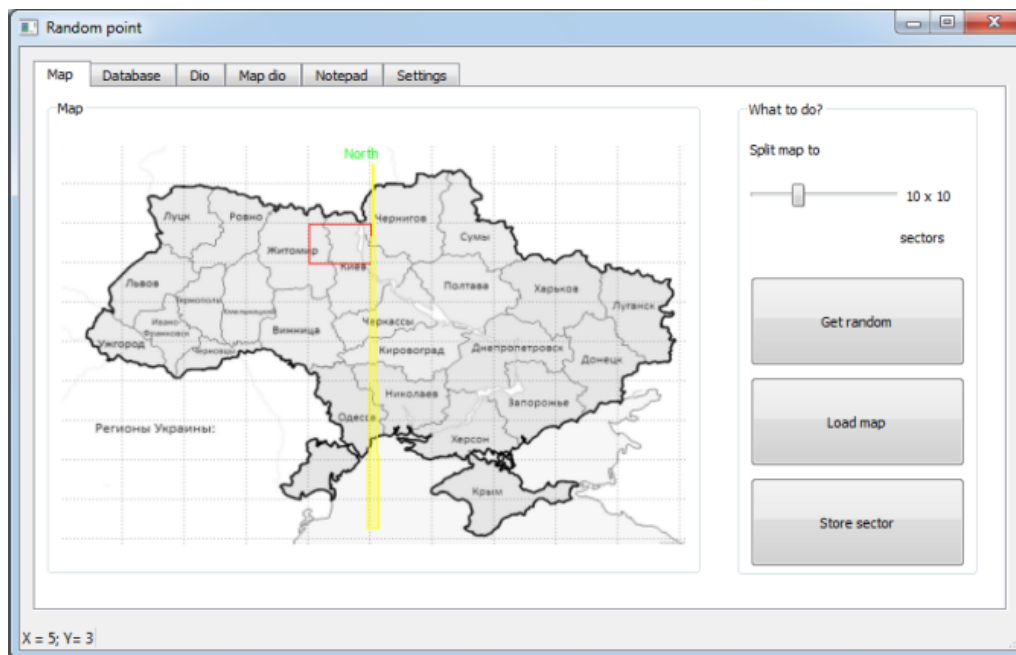


Рис. 2. Інтерфейс програми “Випадкова точка”

Тестування програми відбувалося на території підприємства, яке тривалий час працювало з тритієм [7].

Умови, обмеження та алгоритм дій дослідження були обрані наступні:

- а) загальна площа ділянки, що досліджується, — 42 Га. Схема досліджуваної ділянки була завантажена в програму “Випадкова точка”, де розбита на 100 квадратів, серед яких було досліджено 10 випадкових точок. У разі, якщо випадкова точка попадала за межі ділянки, що досліджувалася, приймалося, що умову невід’ємного невідомого порушено;
- б) серед отриманих результатів замірів були обрані найбільші значення. Схема дослідження деталізувалася – до програми завантажувалися плани місцевості великого масштабу, обиралися, на яку кількість квадратів розбивається цей план (умови деталізації визначаються дослідником), визначалася випадкова точка X^0 ;
- в) знаходився вектор напрямку S_1 , визначалася довжина кроку. На кожному кроці проводився забір проб, на векторі – не менше 10 для забезпечення статистичної достовірності. У якості об’єкту досліджень були обрані рослини (кульбаба лікарська, молочай сонцегляд, латук дикий або молокан), які за своїми біологічними особливостями мають здатність при певних умовах акумулювати тритій у різних формах в органічній сировині;

г) за більшим значенням результатів вимірів, проведених досліджень, будувався новий вектор. Алгоритм повторювався до отримання стійких значень зменшення питомої активності тритію у вимірах.

Результати вимірів питомої активності тритію в кульбабі лікарській за максимальним значенням отриманих результатів за кожним вектором наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

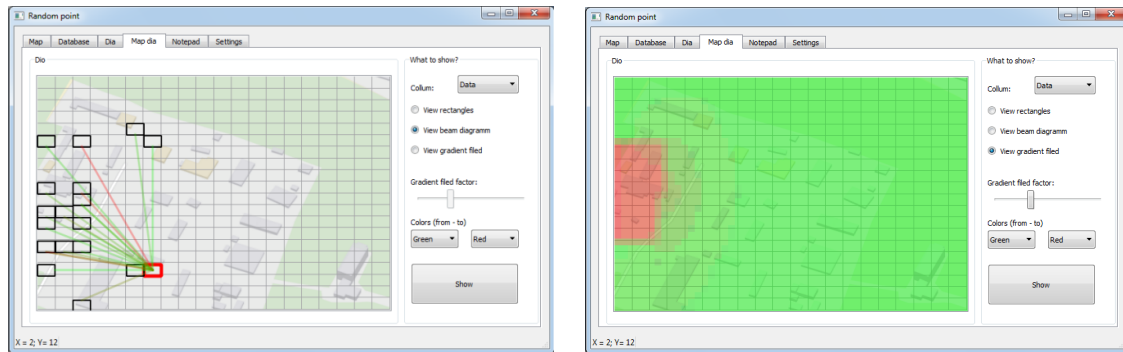
Результати вимірів питомої активності тритію в кульбабі лікарській

№	Опис місця збору	Бк/л
1	Газон перед корпусом А	16728
2	Біля товстої тополі, корп. А	9268
3	Дорогою між корпусами А і В	12786
4	Навпроти трансформаторів, біля дороги, корп. А, В.	12814
5	Навпроти корп. А, під каштанами	10716
6	Під березою на повороті до корп. В.	10285
7	Трикутникочок галявини на дорозі до корп. В.	16547
8	Вздовж центральної дороги, біля металевих “ферм” — навпроти корп. В.	16868
9	Вздовж центральної дороги, біля металевих “ферм” — посередині у напрямку до корп. В.	19815
10	Вздовж центральної дороги, біля металевих “ферм” — початок металу	15505
11	Біля центральної дороги, навпроти металевих “ферм”	15209
12	На доріжці, яка виводить ззаду корп. В на центральну дорогу	49061
13	Під березою, за корп. В.	27449
14	На доріжці, сразу за В корп.	41323
15	Між вагончиком і сараєм за корп. В.	19367
16	Біля дверей складу корп. В	46206
17	За корп. В, близько до гаражів	20984
18	Біля самого входу, корп. 26.	14732
19	На розі складу, корп. В.	24499
20	Під дверима складу, корп. В	26471

Візуалізація за допомогою інструментарію програми “Випадкова точка” представлена на рис. 3.

За необхідності можна ще більше деталізувати ділянку, що досліджується. Наведений підхід до опису екологічного стану території дозволяє описати ділянку навіть дуже маленьких розмірів. Так, у наведеному прикладі, точність визначення плями забруднення тритієм складала 5–20 см.

6. Висновки. В роботі представлений спосіб з дослідження екологічного стану території при техногенному забрудненні та його програмна реалізація. В основу способу покладено базовий підхід Дж. Зойтендейка — методу можливих напрямків, зокрема, доведення, що базисна точка може бути невідома і взята довільно. З цієї базисної точки визначаються напрями, будуються вектори за напрямками та вирішується задача пошуку полюсних точок за напрямом для



а) Векторне представлення методики досліджень б) Растрове зафарбування забрудненої зони

Рис. 3. Візуальне представлення результатів досліджень за допомогою програми “Випадкова точка”

визначеної дослідником неперервної обмеженої функції.

Наведений спосіб реалізовано у вигляді комп'ютерної програми “Випадкова точка”, перевірено на практиці для уточнення зон забруднень території радіоізотопом водню тритієм, а також рядом хімічних речовин.

Тестове випробування програмного продукту “Випадкова точка”, який створено для автоматизації способу опису забрудненої території, дозволило уточнити розташування зони концентрації радіонукліду водню — тритію на території підприємства, що тривалий час працювало з тритієм. За результатами вимірів наявності органічно зв'язаного тритію у соку рослин було встановлено, що гранично допустима концентрація не перевищена, показники вимірів занесені до бази даних досліджень, що формується.

Практичне значення наведеного в роботі полягає у можливості розширення інструментарію дослідників та осіб, що приймають рішення, для опису зон ураження незначних за площею територій при техногенних аваріях з викидами небезпечних речовин в оточуюче середовище.

Програма може бути застосована в екологічній експертизі, агроекології, при оцінці радіаційної обстановки та прогнозуванні токсичної дії забруднювачів, а також визначення якості рекреаційних зон.

Список використаної літератури

1. Патент України № 92476 “Спосіб індикації та оцінки екологічного стану забрудненої важкими металами системи ґрунт-рослина за біохімічними показниками” / Самохвалова В.Л., Фатеев А.І., Якушко В.І., Журавльова І.М. – заявл. 06.07.2007; опубл. 10.11.2010. – Бюл. № 21, 2010 р.
2. Патент РФ № 2264636. МПК G01V9/00 (2006.01). Способ определения участков загрязнения окружающей среды / Колотов Б.А., Демидов В.В., Кашина Л.И., Миначева Л.И.; заявитель и патентообладатель Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ); заявл. 12.04.2002; опубл. 20.11.2005.
3. Патент РФ № 2485499. МПК G 01 N 33 / 24 (2006.01). Способ отбора проб для анализа почвы / Мазуркин П.М., Михайлова С.И., Тойшева Н.П.; заявитель и патентообладатель Поволжский гос. технолог. ун-т. – №2010132816/15; заявл. 04.08.2010; опубл. 20.06.2013. Бюл. № 17.

4. *Зойтендейк Г.* Методы возможных направлений. – М.: Издательство Иностранной литературы, 1963. – 178 с.
5. *Кряжич О.О.* Апроксимація складних функцій для опису розвитку локальної надзвичайної ситуації // Математичні машини і системи. – 2016. – № 1. – С. 148–157.
6. *Теслер Г.С.* Адаптивні апроксимації та ітеративні процеси // Математичні машини і системи. – 2004. – № 2. – С.22 – 41.
7. *Коваленко О.В.* Моделювання події радіоактивного забруднення тритієм // Технічні науки та технології: науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів: Черніг. нац. технол. ун-т, 2015. – № 1 (1). – С. 199–205.

Одержано 25.06.2016