

Триснюк Василь Миколайович

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ
ORCID 0000-0001-9920-4879

Нагорний Євген Ігорович

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ
ORCID 0000-0001-7050-9310

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ ДАНИХ РАДІАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ

Анотація. В статті розглянуто інформаційні технології використання методів інтерполяції для обробки даних радіоактивного забруднення. Вимірюванні значення уражаючих факторів після ядерного вибуху включають надмірний тиск ударної хвилі, світловий імпульс, проникаюча радіація і потужність дози випромінювання. При обробці даних вирішується завдання обліку похибок, як при вимірі різних факторів, так і при вимірі одного і того ж фактора, але різними технічними засобами, що призводить до необхідності розв'язку системи нелінійних трансцендентних рівнянь. Інтерполяційні методи використані для опису поля радіаційного забруднення місцевості і найкращі результати досягаються при достатній щільності вимірювань потужності дози випромінювання, які проведені з високою точністю і рівномірно в районі ведення розвідки. Виконання таких умов, при недоволі часу на прийняття рішення і існуючих технічних засобах дозиметрії є актуальними. У наших наукових дослідженнях в системах контролю радіаційної обстановки інтерполяційні методи використовуються за наявності широко розгалуженої мережі стаціонарних датчиків, зв'язаних з каналами зв'язку.

Інтерпретація даних радіаційної розвідки за допомогою інтерполяційних методів не дозволяє використати апріорну інформацію про параметри осередка і умови формування радіаційного забруднення місцевості. Спільний облік в обробці цих даних дозволяє поєднати етапи прогнозування і виявлення фактичної обстановки в єдиний процес.

Ключові слова: радіаційна обстановка, системи моніторингу радіаційної обстановки, алгоритм обробки інформації, картографування радіаційної ситуації, екосистеми, радіоактивне забруднення, прогноз радіаційної обстановки, забруднення місцевості.

Trysnyuk Vasyl

Institute of telecommunications and global information space of the National academy of sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0001-9920-4879

Nagorny Evgeny

Institute of telecommunications and global information space of the National academy of sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID 0000-0001-7050-9310

USE OF INTERPOLATION METHODS FOR PROCESSING OF RADIATION INTELLIGENCE DATA

Abstract. The article examines information technology using interpolation methods for processing radioactive contamination data. Measurements of impact factors after a nuclear explosion include shock wave overpressure, light pulse, penetrating radiation, and radiation dose rate. During data processing, the task of accounting for errors is solved, both when measuring different factors and when measuring the same factor, but with different technical means, which leads to the need to solve a system of nonlinear transcendental

equations. Interpolation methods are used to describe the field of radiation contamination of the area, and the best results are achieved with a sufficient density of radiation dose power measurements, which are carried out with high accuracy and uniformly in the area of reconnaissance. Fulfillment of such conditions, with a lack of time to make a decision and the existing technical means of dosimetry, are relevant. In our scientific studies, interpolation methods are used in radiation monitoring systems in the presence of a wide network of stationary sensors connected to communication channels.

The interpretation of radiation reconnaissance data using interpolation methods does not allow using a priori information about the parameters of the cell and the conditions for the formation of radiation contamination of the area. Joint accounting in the processing of these data allows you to combine the stages of forecasting and detection of the actual situation into a single process.

Keywords: radiation situation, radiation situation monitoring systems, information processing algorithm, radiation situation mapping, ecosystems, radioactive pollution, radiation situation forecast, local pollution.

1. Вступ.

Питання безперервного контролю радіаційної обстановки (РО) і своєчасного виявлення радіоактивного забруднення місцевості (РЗМ) продовжують залишатися актуальними і сьогодні. Це обумовлено двома факторами: збільшенням кількості об'єктів ядерної енергетики, як джерела дешевшої енергії, і активізацією сил міжнародного екстремізму, що здійснює масовані терористичні акти по всьому світу. У разі загострення міжнародного стану не можна унеможливити масову атаку терористів на об'єкти атомної енергетики, підприємства ядерного паливного циклу, а також могильники радіоактивних відходів. Як показує практика, превентивні заходи захисту не завжди виявляються ефективними. Таким чином, можливе виникнення ситуації, коли значні території піддаються радіоактивному забрудненню одночасно від декількох осередків. Виявлення радіоактивного забруднення місцевості буде першим завданням ліквідації наслідків подібних ситуацій.

Сьогодні виявлення РЗМ може здійснюватися за допомогою прогнозу і на основі фактичних даних радіаційної розвідки і спостереження ..

2. Аналіз досліджень і публікацій.

В ряді законів України, таких як "Про використання ядерної енергії та радіаційної безпеки" «Про охорону земель», «Про моніторинг», «Про держаний контроль за використанням і охорони земель» йдеться про охорону тих земель, що потребують особливої уваги з боку держави, але виявленню їх сприяють дані ДЗЗ. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) охоплюють систему принципів, критеріїв, нормативів та правил, виконання яких є обов'язковим в політиці держави щодо забезпечення протирадіаційного захисту людини та радіаційної безпеки. НРБУ-97 є основним державним документом, який встановлює систему радіаційно-гігієнічних регламентів для забезпечення прийнятих рівнів опромінення для окремої людини і для суспільства в цілому і є обов'язковими для виконання всіма юридичними та фізичними особами, які проводять практичну діяльність з джерелами іонізуючого випромінювання.

В Україні основними науковцями в області радіаційної безпеки територій являються: Гродзинський Д. М.- спектральні характеристики рослинного покриву; [1] . В. Г. Бар'яхтар дослідження аварії Чорнобильської АЕС; [2] Трофимчук О.М., Ковальчук І.П., Яковлев Є.О., Константінов М. П., Коваленко Г. Д.. [3,5,6] – моніторинг радіаційного забруднення земель. Як підтверджують автори в результаті Чорнобильської катастрофи в навколишнє природне середовище потрапило близько 3% радіонуклідів, які на момент катастрофи були накопичені в четвертому енергоблоці, що становить, за підрахунками різних авторів, понад 300 Мкі, або $1,3 \cdot 10^{19}$ Бк радіонуклідів [6]. Після аварії на ЧАЕС сумарна радіоактивність забруднення цезієм і стронцієм становила 500 млн Кі. В атмосферу під час Чорнобильської катастрофи було викинуто до 100 % радіоактивних благородних газів, 20–50 % ізотопів йоду, 12–30% – цезію і 3–4% інших важких радіонуклідів від їхнього вмісту в реакторі

3. Мета дослідження.

Метою роботи є аналіз та представлення комплексного огляду технології використання методів інтерполяції для обробки даних радіоактивного забруднення. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

проаналізувати значення уражаючих факторів після ядерного вибуху;

дослідити моделі, обліку похибок, як при вимірі різних факторів, так і при вимірі одного і того ж фактора, за допомогою розв'язку системи нелінійних трансцендентних рівнянь.

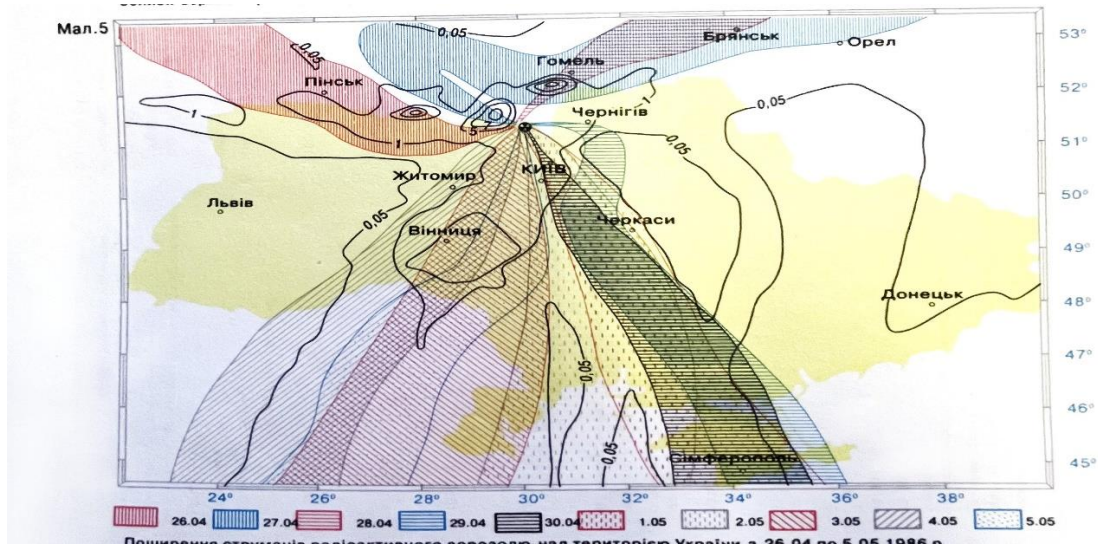


Рис.1. Поширення радіоактивних хмар після Чорнобильської катастрофи (Атлас Чорнобильської зони відчуження, 1996р.)

4. Результати дослідження.

Відновлення поля РЗМ за даними радіаційної розвідки є складним завданням, суть якого полягає в коректному переході від дискретних вимірювань потужності дози випромінювання до безперервного представлення поля. Іншою стороною цього завдання є потреба виявлення динаміки зміни поля РЗМ, що необхідно для оцінки РО. Трудність її рішення обумовлена тим, що у системах контролю і розвідки вимірюються різні характеристики поля (ПДВ, активність ізотопів т.і.). Вимірювання потужності дози випромінювання проводяться приладами, які мають різні похибки і в окремих випадках можуть у декілька разів спотворювати значення вимірюваної величини [7]. Часто вимірювання потужності дози випромінювання в точці носять одноразовий характер. Вимірювання проводяться не на основі регулярної сітки і мають різну щільність. Як правило, відсутня інформація про вік і ізотопний склад радіонуклідів, а, отже, невідомий коефіцієнт спаду потужності дози випромінювання. У інформації про РЗМ при виявленні наслідків аварій є присутньою така складова похибки, як похибка визначення координат точки виміру потужності дози випромінювання, яка може складати 0,1-0,7 км залежно від технічних засобів, що використовуються [8].

Для вирішення цього завдання використовувалися різні математичні методи. У числі перших, були задіяні методи інтерполяції.

У загальному випадку, інтерполяція – це відновлення функції f по відомих її значеннях в точках x_i , $i=0,1,\dots,m$. Інтерполюючи функцію зазвичай відшуковують у вигляді $\varphi(x)=F(x, a_1, \dots, a_n)$ і потім підбирають параметри a_1, \dots, a_n так, щоб φ і f співпали у вузлах інтерполяції [13], тобто:

$$F(x_i, a_1, \dots, a_n) = f(x_i), \quad i = 0, 1, \dots, m. \quad (1)$$

Проте слід мати на увазі, що поле РЗМ тривимірне, тобто аргументами є дві координати x та y , крім того, Потужність дози випромінювання змінюється в часі, будучи функцією від t .

Таким чином, завдання зводиться до побудови інтерполяційного полінома міри n по декількох змінних. Але, маючи довільну нерегулярну вибірку значень потужності дози випромінювання, не завжди можливо його знайти [9].

Ще одним недоліком інтерполяційних методів є те, що інтерпольована функція може поводитися довільним чином між вузлами інтерполяції, оскільки не враховує міру кореляційного зв'язку між сусідніми точками вимірювань, тобто, не враховується природа даного явища. Поле РЗМ може мати на окремих ділянках локальні викиди, максимуми потужності дози випромінювання, або взагалі може бути відсутньою частина вимірювань. Це призводить до накладення додаткових обмежень на вихідні дані. Коректне відновлення поля РЗМ в умовах радіоактивного забруднення місцевості, утвореного декількома осередками, досягається при щільності вибірки, порівнянної з розмірами локальних неоднородностей, тобто один вимір на 200-300м.

Особливістю методів звичайної інтерполяції є те, що вони дозволяють не враховувати похибки вимірювань, які складають не більше 10-20%. Проте на сучасному етапі дозиметрична апаратура далеко не завжди дозволяє здійснювати вимірювання з такою мірою точності. В окремих випадках похибка може складати 100 і більше відсотків.

Перелічені вище недоліки інтерполяційних методів привели до того, що вони не отримали широкого застосування при обробці даних радіаційної розвідки. Незважаючи на це, за певних умов (невеликі, 20-30%, похибки виміру потужності дози випромінювання, і координат точок вимірювань, а також відносно проста топологія радіаційного поля), ці методи можуть бути успішно використані. Безперечною їх перевагою є простота, що забезпечує оперативність обробки інформації про РЗМ і не потребує значних витрат обчислювальних ресурсів ЕОМ.

Такий підхід до обробки даних про РЗМ може знайти своє застосування в якості експрес-методів виявлення радіаційної обстановки за умови достатньої або надмірної щільності вимірювань, коли немає потреби прогнозувати зміну стану поля РЗМ в часі.

Подальшим розвитком цього напрямку стало представлення поля РЗМ із застосуванням сплайн-аппроксимації. Для цього використовувалася функція виду:

$$S_m(\Delta_n; x) = P_{m-1}(x) + \sum_{k=0}^{n-1} C_k (x - x_k)^m, \quad (2)$$

де $P_{m-1}(x)$ – многочлен;

Δ_n – сітка, визначена на відрізку $[a, b]$, $a=x_0 < x_1 < \dots < x_n < b$ і співпадаюча на частковому відрізку $[x_i, x_{i+1}]$ з алгебраїчним многочленом ступеня не вищим ніж m , що має на відрізку $[a, b]$ безперервні похідні;

C_k – дійсні числа, які визначаються виходячи зі значень похідних, що обчислені в точках виміру ПДВ ;

$\{x_i\}_{i=1}^{n-1}$ – точки, що називаються вузлами сплайна.

При використанні кубічного сплайна, заданого локально, метод може знайти застосування для опису поля РЗМ за даними про потужності дози випромінювання, виміряними однотипними технічними засобами при необхідній щільності вимірювань μ :

$$2\mu \leq 2\Omega, \quad (3)$$

де 2Ω – мінімальні розміри ділянок РЗМ, що виявляються.

Аналіз роботи цього методу показав, що він задовільно відтворює поля РЗМ при достатній щільності точок вимірювань. Проте, при великих похибках виміру потужності дози випромінювання відновлюваність поля різко погіршується, а при похибках 200%, метод

практично перестає працювати. Таким чином, використання справжнього підходу можливе для обробки даних радіаційної розвідки, що мають високу щільність вибірки і малі похибки вимірювань, що важко досягаємо на сучасному етапі. Отже, потрібне створення механізму фільтрації для зменшення впливу похибок вимірювань.

З цією метою виміряне поле можна представити у вигляді :

$$F(p) = F^0(p) + E(p) \quad (4)$$

де $F^0(p)$ – поле, що визначається;

$E(p)$ - перешкода (похибка вимірювань).

Теоретично, якщо $F^0(p)$ і $E(p)$ випадкові поля з відомими середніми і коваріаційними функціями (у тому числі взаємними), то по отриманих значеннях $F(p_1)$, $F(p_2)$, ..., $F(p_n)$ можна побудувати оптимальну лінійну оцінку $F^0(p)$. Проте практично завдання в такій постановці можна вирішити тільки для дуже вузького класу полів $F^0(p)$, $E(p)$.

У зв'язку з цим було запропоновано:

перейти від випадкових координат вимірювань потужності дози випромінювання до прямокутної сітки;

вважати випадкові поля $F^0(p)$ і $E(p)$ однорідними, стаціонарними і взаємно незалежними; синтезувати фільтр не в класі усіх лінійних фільтрів, а в якомусь істотно вужчому класі.

Виходячи з цього, завдання двовимірної фільтрації розщеплюється на серію одновимірних.

В якості інтерполяційної залежності досліджувалася не лише пряма (10), але і парабола. Будувалися ті, що мінімізують суму відхилень параболи з осями абсцис на прямих, що відповідають парам протилежних секторів. Її використання привело до значного погіршення результату.

5. Висновки.

Дослідження показали досить хорошу відновлюваність характеристик поля коли як вихідні дані використовувалися результати аерогаммазйомки, проведені в районі аварії Чорнобильської АЕС. Такі дані є згладженими, вони фіксують не усі локальні неоднорідності поля. По суті, сам метод отримання вимірювань в даному випадку виступав фільтром.

Використання цього методу інтерполяції для обробки даних радіоактивного забруднення дозволяє добитися хорошої відновлюваності поля при високій щільності вимірювань потужності дози випромінювання і нескладній його топології. Проте при ускладненні РО виникає необхідність збільшення дискретності сітки, тобто зменшення її кроку. Це у свою чергу призводить до різкого збільшення часу обробки даних. Крім того, при великій кількості вузлів сітки, алгоритм може працювати нестійкий.

Список використаної літератури

1. Гродзинський Д. М. Радіобіологія : – Київ: Либідь, 2000. – 448 с.
2. Бар'яхтар В.Г. Чорнобильська катастрофа .– Київ: Наукова думка, 1996. – 576 с.
3. Trofymchuk O. Geo-information Technologies for Decision Issues of Municipal Solid Waste / O. Trofymchuk, V. Trysnyuk, N. Novokhatska, I. Radchuk // Journal of Environmental Science and Engineering A 3 (2014) s. 183-187.
4. Коваленко Г. Д. Радіоекологія України : Монографія. – Харків: І.Д “Інжек”, 2008. – 264 с.
5. Іванов Є. Радіоекологічні дослідження : Навч. посібник – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2004. – 149 с .
6. В.М. Триснюк, А.А. Нікітін В.О. Шумейко Алгоритм оброблення інформації про радіоактивне забруднення місцевості з використанням даних ДЗЗ та ГІС. // Системи

управління, навігації та зв'язку. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Полтава. Випуск 6 (46) 2017р. – С. 102-110.

7. O. Trofymchuk, Y. Yakovliev, V. Klymenko, Y. Anpilova, Geomodeling and monitoring of pollution of waters and soils by the earth remote sensing. International Multidisciplinary Scientific GeoConference - SGEM, 19, 1.4 (2019).

8. Триснюк В. М., Нагорний Є. І., Триснюк Т. В., Конецька О. О., Курило А. В.. Методика виявлення радіаційного забруднення місцевості та його ризиків. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Випуск 3(69) 2022 С. 112-115. ISSN 2073-7394. <http://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/view/2618>

9. Krasovska I. Complex space monitoring data analysis to determine environmental trends of poland-ukraine border areas / I. Krasovska, O. Butenko, S. Horelik, Y. Zakharchuk // Architecture civil engineering environment. – Vol. 13. 2020. – № 2. – p. 39-56.

References

1. Grodzinsky D. M. Radiobiology: - Kyiv: Lybid, 2000. - 448 p.

2. Baryakhtar V.G. Chernobyl disaster. – Kyiv: Naukova dumka, 1996. – 576 p.

3. Trofymchuk O. Geo-information Technologies for Decision Issues of Municipal Solid Waste / O. Trofymchuk, V. Trysnyuk, N. Novokhatska, I. Radchuk // Journal of Environmental Science and Engineering A 3 (2014) s. 183-187.

4. Kovalenko G. D. Radioecology of Ukraine: Monograph. - Kharkiv: I.D. "Inzhek", 2008. 264 p.

5. E. Ivanov. Radioecological studies: Education. manual - Lviv: Ivan Franko LNU Publishing Center, 2004. - 149 p.

6. V.M. Trysnyuk, A.A. Nikitin V.O. Shumeiko Algorithm for processing information on radioactive contamination of the area using data from DZZ and GIS. // Management, navigation and communication systems. Poltava National Technical University named after Yury Kondratyuk. Poltava Issue 6 (46) 2017 - P. 102-110.

7. O. Trofymchuk, Y. Yakovliev, V. Klymenko, Y. Anpilova, Geomodeling and monitoring of pollution of waters and soils by the earth remote sensing. International Multidisciplinary Scientific GeoConference - SGEM, 19, 1.4 (2019)

8. Trysnyuk V.M., Nagornyi E.I., Trysnyuk T.V., Konetska O.O., Kurylo A.V.. Methods of detecting radiation contamination of the area and its risks. Control, navigation and communication systems. Collection of scientific works. Poltava National Technical University named after Yury Kondratyuk. Issue 3(69) 2022, pp. 112-115. ISSN 2073-7394. <http://journals.nupp.edu.ua/sunz/article/view/2618>.

9. Krasovska I. Complex space monitoring data analysis to determine environmental trends of poland-ukraine border areas / I. Krasovska, O. Butenko, S. Horelik, Y. Zakharchuk // Architecture civil engineering environment. – Vol. 13. 2020. – № 2. – p. 39-56.