

ПРОБЛЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДИНАМІКИ ПЛЯМ
РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

І. С. Єремєєв

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Пропонується використати для ідентифікації динаміки плям радіоактивного забруднення (ПРЗ) метод визначення евклідової метрики, що характеризує стійку розбіжність між результатами послідовних множинних процедур контролю радіаційного стану ПРЗ в умовах незмінної мережі точок відбирання проб.

Плями радіоактивного забруднення (ПРЗ), що утворилися після аварії на ЧАЕС, а також навкруги "могильників" та сховищ радіоактивних відходів (РАВ) і місць, де РАВ могли потрапити на ґрунт внаслідок аварій транспортних засобів, характеризуються нечіткими й відносно рухомими межами, що обумовлено дією таких чинників, як вимивання, дефляція (вторинне перенесення з пилом), радіоактивний розпад, дифузійні процеси, метаболізми тощо. Тому має сенс не тільки визначення меж забрудненої таким чином зони, але й динаміки меж цієї зони з часом. Однак спостереження (ідентифікація) показників ПРЗ й, особливо, визначення трендів ПРЗ пов'язані з певними труднощами.

Навколишнє середовище (НС), як усяка складна система, являє собою множину елементів певної матеріальної природи, що знаходяться у взаємовідносинах. У кожному з цих відносин фігурує та чи інша змінна, множина її станів і множина математичних, логічних чи евристичних властивостей, які визначаються на цій змінній. Якщо існує певна кінцева послідовність відношень, що дозволяють виявити заданий елемент множини $x_i \in X$, то таку послідовність називають ефективним процесом ідентифікації. Система вважається такою, що спостерігається, якщо вона може бути визначена за допомогою певного множинного експерименту (процедури ідентифікації), наприклад шляхом спостереження за станом тієї чи іншої змінної (у даному разі вмістом радіоактивного забруднення в пробах або рівнем гамма-фону) у просторі та часі. НС як система, що підлягає зовнішнім збуренням, частина яких слабо контролюється чи не визначена (тому що в припущеннях щодо властивостей НС звичайно поминаються деякі принципово важливі складові, враховується менше формальних об'єктів, ніж необхідно, тощо), і спостерігається лише в обмеженій кількості точок, може розглядатися як відкрита система, для якої характерна наявність хоча б одного елемента множини, для якого не існує ефективного процесу ідентифікації, і рішення про стан НС доводиться приймати при наявності невизначеності. Невизначеність виникає й у випадках, коли стан НС оцінюється на межі зони дії (чи чутливості) каналу (засобу) спостереження або на межі, що розділяє два конкретних стани. Інакше кажучи, зони дії каналів спостереження не мають чітких меж і результати спостережень поблизу цих нечітких, розмитих меж можуть характеризуватися лише ступенями належності, а не явно заданими функціями. У цьому випадку невизначеність результатів спостереження спричиняє до невірогідності оцінок динаміки стану НС.

У зв'язку із зазначеним вище задача ідентифікації динаміки ПРЗ може бути зведена до аналізу спостережень і співставлень їхніх результатів одне з одним шляхом оцінення метрики, тобто ненегативної функції, що характеризує ступінь близькості упорядкованої пари точок (кривих, поверхонь) у метричному просторі. Як критерій розбіжності при ідентифікації ПРЗ може бути використано евклідову метрику. Це відповідає ситуаціям, для яких "звичайна евклідова відстань", як критерій близькості (або розбіжності), виправдана [1]:

усі спостереження взаємно незалежні й можуть мати одну й ту ж саму дисперсію;

компоненти вектора спостережень однорідні за своїм фізичним змістом й однаково важливі з точки зору їхнього використання під час ідентифікації;

ознаковий простір співпадає з геометричним простором і поняття близькості об'єктів спостережень співпадає з поняттям геометричної близькості в цьому просторі.

Евклідова метрика має такий загальний вигляд:

$$d_E(X_i, X_j) = \sqrt{\sum_{i,j=1}^n (x_i^{(p)} - x_j^{(p)})^2},$$

де x_i та x_j - компоненти вектора спостережень, а p - ознаковий простір ($p = 1, 2$ або 3 залежно від розмірності об'єкта спостереження).

Процедура ідентифікації динаміки ПРЗ при цьому має виконуватися таким шляхом. Ареал "плями" оточується сталою мережею постів радіаційного контролю або стаціонарних майданчиків, звідки беруться проби ґрунту (води, снігу), а також вимірюється радіаційний гамма-фон. Кількість постів радіаційного контролю залежить, у кінцевому рахунку, від розмірів ареалу, що контролюється. Так, за даними [2 - 4], залежно від відстані від "центра ваги" ПРЗ оптимальна кількість точок відбирання проб може скласти від 3 (при відстані 0,2 км) до 80 - 110 (для відстаней від 4,0 до 25,0 км). Процедури контролю мають виконуватися згідно із методикою, що забезпечує максимальну достовірність даних контролю [4, 5]. Особливо жорсткими вимогами щодо представництва вибірки керуються під час першої процедури ідентифікації, коли необхідно встановити статистику з метою заміни поточних значень компонентів вектора спостережень їхніми математичними очікуваннями й використовувати ці дані як еталон для подальших процедур обчислення трендів, хоча, у принципі, для "якісного" аналізу динаміки (тобто для визначення самого факту "зрушення" ПРЗ) це не є обов'язковим, як і "геометрія" розташування та кількість точок відбирання проб.

Розбіжність, що має місце в разі співставлення результатів минулого ("еталонного") і сучасного спостережень, може бути охарактеризована метрикою

$$d_E(f^{(1)}, f^{(2)}) = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i^{(2)} - x_i^{(1)})^2.$$

Ця метрика оцінює міру прирощення інформації щодо стану НС при розподілі n елементів множини $f^{(2)}$, що спостерігався під час поточної процедури контролю, відповідно до інформації про стан НС, який відповідав розподілу $f^{(1)}$, що був оцінений під час попередньої процедури контролю й був прийнятий за еталон (точніше, за порівняльну базу). Причому якщо статистику $f^{(1)}$ достатньо добре визначено, замість елементів $f^{(1)}$ використовують їхні математичні очікування. Прирощення інформації, що визначається в разі заміни $f^{(2)}$ на $f^{(1)}$, може розглядатися як несуттєве, а самі розподіли як ідентичні лише тоді, коли статистика $f^{(1)}$ поглинає статистику $f^{(2)}$ або коли дані щодо статистик відсутні, але значення міри не перевищує подвійної похибки, притаманної методиці, що використовується для аналізу проб.

У протилежному випадку це прирощення характеризує динаміку стану за період між спостереженнями. Суттєвим тут є виконання вимоги щодо використання однакових методик спостережень, однакової кількості точок контролю та їхнього прив'язування на місцевості під час процедур контролю.

Неповнота вихідних даних, що є наслідком обмежених можливостей спостереження об'єктів контролю та недостатньої інформації про чинники, які впливають на процеси у НС, свідчить про те, що якщо

$$V(N, f) = \{ \tilde{f} \in F : N(\tilde{f}) = N(f) \}$$

є множина всіх елементів \tilde{f} , які не відрізняються від елемента f за допомогою інформації N , то значення $N(f)$ не дозволяє сказати, яка з множин $S(\tilde{f}, \xi)$, $\tilde{f} \in V(N, f)$ відповідає ξ -наближенню, що є бажаним. У такому разі потрібна додаткова інформація (багаторазові

процедури ідентифікації) і потрібне ξ -наближення може бути знайдене лише при умові, що пересічення множин (ξ) є не пустим, тобто

$$A(N, f, \xi) = \text{MIN} \{ S(f, \xi) \neq 0 \},$$

$$f \in V(N, f),$$

або

$$D(N, f, \xi) = \text{MIN} \{ f^{(1)}, \dots, f^{(k)} \},$$

$$\tilde{f} \in V(N, f)$$

де MIN - оператор багатозначної логіки, що відповідає операції логічного множення.

Такий підхід є консервативним і дозволяє виявити найменшу метрику, тобто мінімальні зміни ПРЗ за час спостереження. Якщо цікаво дізнатися про найбільш можливі зміни ПРЗ за той же час, варто звернутися до оцінки, що отримала назву "візантійської угоди" [5].

Вищенаведений підхід дозволяє виявити факт зміни стану ПРЗ та абсолютну величину (скаляр) вектора змін шляхом використання однієї й тієї ж мережі фіксованих постів контролю або майданчиків, з яких беруться проби (незалежно від дрейфу меж ПРЗ), але він не дозволяє безпосередньо виявити напрям тренду, який треба обчислювати окремо (наприклад, із використанням методів визначення центра ваги нечіткої множини [1]).

З метою перевірки дієвості методу ідентифікації динаміки ПРЗ, що пропонується, було використано дані контролю радіоактивного забруднення ізотопом ^{137}Cs приповерхневих шарів ґрунту завтовшки до 5 см деяких районів 30-кілометрової зони навколо ЧАЕС [6 - 11], наведено в таблиці.

Забруднення приповерхневих шарів ґрунту ізотопом ^{137}Cs завтовшки до 5 см

Місце відбирання проби	Рік	^{137}Cs , Бк/кг
Перша група місць відбирання проб		
Діброва	1987	15597,0
Запілля	1987	28881,0
Вишгород	1987	9365,8
Іллінці	1987	6592,7
Куповате	1987	1344,0
Діброва	1988	10270,0
Запілля	1988	9536,0
Вишгород	1988	6422,5
Іллінці	1988	482,0
Куповате	1988	422,0
Діброва	1994	10332
Іллінці	1994	6437
Куповате	1994	6642
Друга група місць відбирання проб		
Сахан, Ш1	1992	5811,0
Пл. 4, М1	1992	1907,0
Пл. 5, В1	1992	2083,0
Сахан, Ш1	1993	5904,0
Пл. 4, М1	1993	1903,0
Пл. 5, В1	1993	2059,0

Обчислення метрик для першої групи місць відбирання проб дало такі результати: $d_E[f^{(1987)}, f^{(1988)}] = 5307$, $d_E[f^{(1988)}, f^{(1994)}] = 6089$, $d_E[f^{(1987)}, f^{(1994)}] = 5283$, $\text{MIN}\{d_E\} = 5283$.

Для другої групи характерно зовсім інше значення метрики: $d_E[f^{(1992)}, f^{(1993)}] = 67,97$.

Аналіз значень отриманих метрик дає підстави стверджувати, що у першому районі спостереження дійсно мав місце факт флуктуації ПРЗ, у той час, як у другому районі спостереження метрика не виходила за межі звичайних похибок вимірювань.

Підводячи підсумки підходу, що пропонується, треба підкреслити, що множинний експеримент ідентифікації динаміки ПРЗ шляхом багаторазових спостережень за станом об'єкта, що контролюється, і виявлення мінімальної метрики, що характеризує стійкий тренд розбіжності результатів спостережень, є найбільш ефективним засобом визначення динаміки ПРЗ з використанням сталої мережі точок відбирання проб в умовах дії низки випадкових чинників, недостатності та розмитості інформації про фактичний стан ПРЗ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Прикладная статистика: классификация и снижение размерности: Справ. изд. / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин; Под ред. С. А. Айвазяна. - М.: Финансы и статистика, 1989. - 607 с.*
2. *Кюммель М. Разработка оптимальной сети измерений для проведения контроля окружающей среды на АЭС // Обеспечение радиационной безопасности при эксплуатации АЭС. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - Кн. 5. - С. 78 - 79.*
3. *Махонько К. П. Метод расчета оптимального числа пунктов контроля за глобальным радиоактивным загрязнением окружающей среды // Атомная энергия. - 1983. - Т. 55, вып. 3. - С. 160 - 164.*
4. *Еремеев И. С. Автоматизированные системы радиационного мониторинга окружающей среды. - Киев: Наук. думка, 1990. - 256 с.*
5. *Fekete A. D. Asymptotically optimal algorithms for approximate agreement // Distributive Computing. - 1990. - Vol. 4, No. 1. - P. 9 - 29.*
6. *Бюлетень екологічного стану зони відчуження. - 1993. - Вип. 1. - С. 7 - 23.*
7. *Бюлетень екологічного стану зони відчуження. - 1994. - Вип. 2. - С. 7 - 17.*
8. *Бюлетень екологічного стану зони відчуження. - 1994. - Вип. 3. - С. 6 - 7.*
9. *Бюлетень екологічного стану зони відчуження. - 1995. - Вип. 4. - С. 9 - 18.*
10. *Бюлетень экологического состояния зоны отчуждения. - 1995. - Вып. 5. - С. 5 - 16.*
11. *Бюлетень екологічного стану зони відчуження. - 1996. - Вип. 1(6). - С. 17 - 21.*

ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИКИ ПЯТЕН РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

И. С. Еремеев

Предлагается использовать для идентификации динамики пятен радиоактивного загрязнения (ПРЗ) метод определения евклидовой метрики, характеризующей устойчивое рассогласование между результатами последовательных множественных процедур контроля радиационного состояния ПРЗ в условиях неизменной сети точек отбора проб.

RADIOACTIVE CONTAMINATION SPOTS DYNAMICS IDENTIFICATION PROBLEMS

I. S. Yeremeyev

The approach of radioactive contamination spots (RCS) dynamics identification, based on Euclidean metrics definition which characterize the steady disagreement between results of plural RCS radioactive condition measuring procedures provided by means of stable measuring net configuration is proposed.

Надійшла до редакції 04.05.01.