

УДК 538.1:621.039:681.3:311.214

И.С. Еремеев¹, А.О. Дичко²¹ Академия муниципального управления, Киев² Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

ПРОБЛЕМЫ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Рассмотрены проблемы и источники неопределенности, которые появляются во время осуществления процедур мониторинга окружающей среды. Разработанный подход позволяет определить динамику «пятен» загрязнения. Для выявления динамики «пятна» предложено определение эвклидовой метрики, характеризующей «расстояние» текущего состояния определенной области окружающей среды от состояния, которое наблюдалось во время предыдущего сеанса мониторинга. Описанный подход решения проблем неопределенности измерений основан на методе метрической оценки и сравнительного анализа данных «ближайших соседей». Этот подход был апробирован при выявлении динамики «пятен» радиоактивного загрязнения в зоне ЧАЭС и доказал свою эффективность.

Ключевые слова: источники неопределенности, мониторинг окружающей среды, метрика, метод «ближайших соседей»

Введение

Постановка проблемы. Неопределенность данных при мониторинге окружающей среды мешает уверенно и объективно оценивать текущее состояние окружающей среды и, кроме того, создает серьезную проблему при оценке динамики этого состояния, особенно если речь идет о небольших уровнях загрязнений, находящихся в пределах чувствительности методик и приборов (а именно с этой проблемой встречаются при оценке миграции загрязнений за пределы хранилищ токсичных отходов). Этой проблеме в последнее время посвящается определенное внимание, но значительных сдвигов пока не обнаружено. Поэтому работы в этом направлении заслуживают внимания. Ниже приведен подход, который должен в определенной мере восполнить эту нишу.

Анализ последних достижений и публикаций. Неопределенность как термин имеет много значений. В общем (метрологическом) смысле – это параметр, который связан с результатом измерения, характеризующий отклонение величины, и который по праву может считаться специфическим свойством величины, которая измеряется [1]. Неопределенность может включать много компонентов, в том числе таких, которые оцениваются на основании статистических распределений результатов серии измерений (стандартные отклонения), или выводятся из предположений о вероятностном распределении на основании другой информации. Неопределенность можно рассматривать как определенные сомнения или ограниченные знания о конкретной величине, но она, как правило, не является вопросом об обоснованности данных измерения. Напротив, неопределенность предполагает увеличение доверия к результатам измерений, поскольку она четко определяет границы, в которых находится измеряемая величина, однако не

может указать точное положение ее в пределах этих границ. Источниками неопределенности могут быть: неполное (недостаточное) определение; неадекватное квантование; эффект матрицы; препятствия; условия окружающей среды; неопределенности в приборах для измерения; неадекватные эталоны; аппроксимации и предположения, связанные с методиками и процедурами измерения; случайные вариации.

При оценке состояния окружающей среды к указанным общим источникам неопределенности, как правило, добавляются еще следующие:

- порог чувствительности детекторов (особенно когда речь идет об уровнях загрязнения, которые сопоставимы с такими порогами);
- переход из одной шкалы измерений к другой, или с одной модели к другой (когда на разных шкалах измерения и для различных моделей чувствительность имеет разные значения);
- радиус надежного детектирования или моделирование (за его пределами измерения или модельные расчеты характеризуются неопределенностью);
- неравномерность условий окружающей среды (для более однозначной оценки необходимо существенное большинство точек отбора проб, а также определенное интегрирование моделей);
- неадекватность моделей для решения задач модельного мониторинга (каждая из моделей использует свой набор эмпирических параметров, которые являются уникальными и, к тому же, учитывают идеализированные условия, которые на самом деле могут существенно отличаться от реальных).

Формулировка цели статьи. Все упомянутое выше нашло адекватное отражение в исследованиях, посвященных теории и практике измерений. Но есть определенный аспект проблемы неопределенности, который еще фактически не рассматривался и который имеет особое значение в условиях определения со-

стояния окружающей среды, когда речь идет об оценке динамики загрязнений. Дело в том, что миграция загрязнений в окружающей среде (в первую очередь в почвах) имеет очень медленный характер и показатели загрязнения могут отличаться иногда в пределах порога чувствительности детекторов, не позволяет уверенно констатировать движение «пятна» загрязнения. В то же время подвижность «пятна» желательнее выявить как можно раньше, чтобы успеть обеспечить меры (такие, например, как развитие защитных барьеров).

Методика определения динамики «пятен» загрязнений

Для выявления динамики «пятна» авторами был предложен достаточно эффективный метод, основанный на определении евклидовой метрики, характеризующей «расстояние» текущего состояния определенной области окружающей среды от состояния, которое наблюдалось во время предыдущего сеанса мониторинга [2, 3]. Метрика при этом определялась с помощью уравнения:

$$d[f_1, f_2] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{j=1, n} (x_{2j} - x_{1j})^2 \right]},$$

где x_{2j} и x_{1j} – соответственно значения параметров, которые измерялись в текущем и предыдущем сеансах мониторинга в j -й точке пространства состояний, n – количество точек, в которых выполнялось измерение (измерению подлежат те же точки во время обоих сеансов сбора данных).

Этот метод предусматривает надежное определение динамики «пятен» в условиях, когда метрика выходит за пределы стандартного отклонения. Графическая интерпретация этого подхода приведена на рис. 1. Метод оценки движения «пятна» основан на сравнении усредненных (сглаженных) данных распределения предыдущего цикла измерений (кривая 1) с фактическим распределением данных текущего цикла измерений. Кривые 2 и 3 – соответственно верхний и нижний пороги границы неопределенности 2σ . На графике рис. 1, а приведено распределение значений переменных, которые не выходят за пределы интервала неопределенности, что свидетельствует об отсутствии движения «пятна» загрязнения, а на графике рис. 1, б заметно смещение значений переменных за пределы интервала неопределенности, который является характерным для факта движения «пятна».

В то же время при определенных условиях возможно констатировать факт движения «пятна» с помощью косвенных или сопутствующих факторов. Ниже сформулирован соответствующий подход.

Целесообразно обратиться к аппарату теории нечетких множеств и теории возможностей. Дело в том, что миграция «пятна» может быть спровоцирована внешними факторами, такими, как наводнение, землетрясение, техногенная катастрофа и тому подобное.

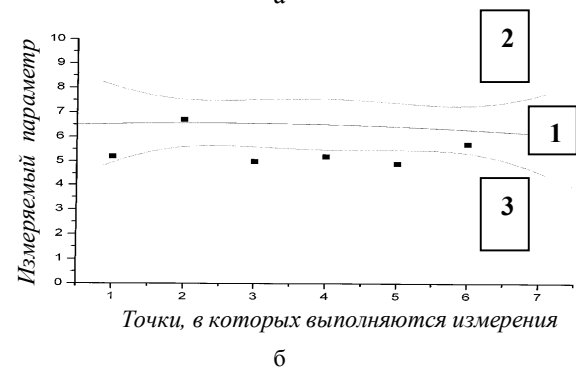
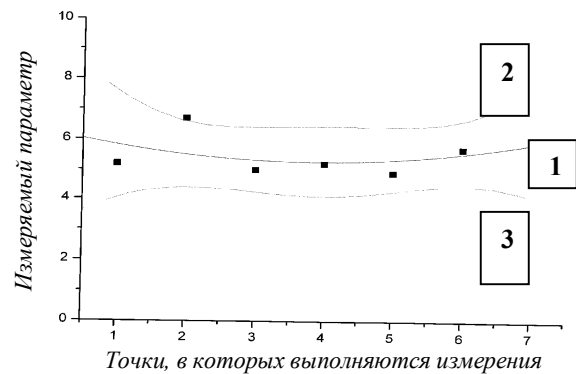


Рис. 1. Графическая интерпретация метода оценки движения «пятна»

Поэтому, если есть соответствующая информация о действии таких факторов в зоне влияния хранилища токсичных или радиоактивных отходов или полигона твердых бытовых отходов, неопределенность относительно наличия динамики «пятна», когда зафиксированное движение пятна находится в пределах стандартного отклонения, может превратиться в вероятностную оценку движения как такового. Иначе говоря, для оценки динамики «пятна» необходимо использовать такие эвристики:

1. ЕСЛИ ([ПЛСТАБ] И [ПТКО] И [ТЕКО] ИЛИ [АТЕК ≤ П₁]), ТО [РПВ], ИНАЧЕ [СРП]

(тут ПЛСТАБ – метрика не выходит за границы стандартного отклонения, ПТКО – природные или техногенные катастрофы отсутствуют, ТЕКО – тектонические смещения отсутствуют, или АТЕК ≤ П₁, где АТЕК – аккумулятивные смещения, П₁ – порог для случая, когда максимальное значение толчка не превышает значение среднего минимального толчка за весь период наблюдений, РПВ – движение «пятна» отсутствует, СРП – наблюдается движение пятна).

2. ЕСЛИ ([ПЛСТАБ] И [ПТК1] И [ТЕК1_м]), ТО ([РПВ] + [ДМ]), ИНАЧЕ [СРП]

(тут ПТК1 – имели место природные или техногенные катастрофы, ТЕК1_м – тектонические смещения имели место, но их амплитуда мала, хотя и превысила П₁, ДМ – необходимо провести дополнительный цикл мониторинга).

3. ЕСЛИ ([ПЛСТАБ] И [ТМ32σ] И [ТЕК1_п] И [АТЕК_м]), ТО [СРП]

(тут ТЕК1_п – тектонические смещения заметны, аккумулятивные смещения АТЕК_м находятся в пределах П₁ < АТЕК_м < 0,2ПР, где ПР – значение смещения, при котором существует 50% вероятность образования сети микротрещин в конструкциях, ТМ32σ – есть тенденция увеличения в среднем монотонного смещения «пятна» в одну и ту же сторону в пределах 2σ).

Возможен и другой подход – «Сравнительный анализ данных ближайших соседей». При этом сопоставляются данные о состоянии окружающей среды в точке, которая вызывает интерес, с данными в ближайших к ней соседних точках окружающей среды.

Если наблюдается согласованное движение показателей состояний во всех соседних точках в пределах стандартного отклонения, можно считать, что имеет место движение «пятна».

Для оценки динамики «пятна» можно использовать эвристику:

ЕСЛИ ([ПЛСТАБ] И [SIGNAST_{i+j}EQ]), **ТО** [СРП]

(тут SIGNAST_{i+j}EQ – результат наблюдения, свидетельствующий о том, что знак изменения состояния при поточном измерении во всех точках слева и справа от i , то есть в точках от i до $i-j$ и от i до $i+j$, одинаковый относительно состояния в тех же точках при предыдущем измерении).

Графическая интерпретация этого метода оценки динамики «пятен» приведена на рис. 2. Тут прирост состояния Δx_i в случае несогласованного движения показателей состояния в точках x_1 - x_5 имеет другой индекс 1 (Δx_{i1}), а в случае согласованного – индекс 2 (Δx_{i2}).

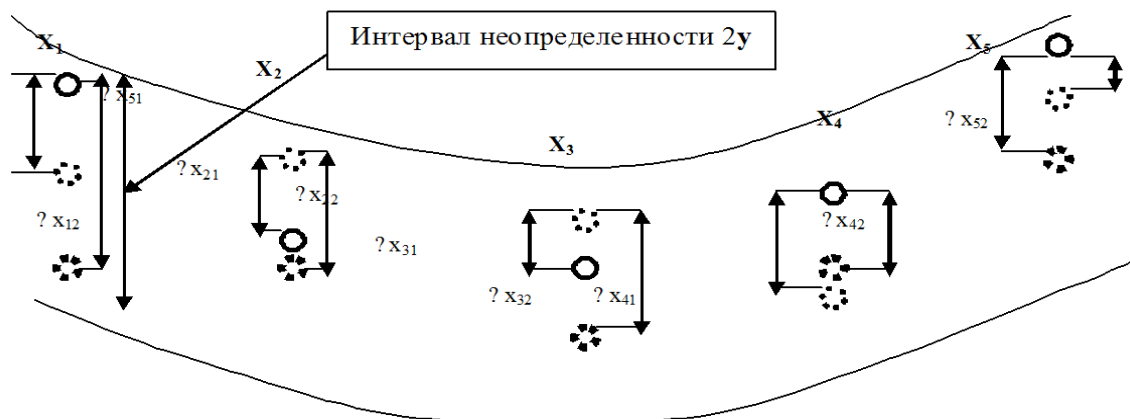


Рис. 2. Графическая интерпретация метода «Сравнительный анализ данных ближайших соседей»

Выводы

Разработанный метод позволяет определять динамику загрязнений даже в случаях, когда эти изменения не выходят за пределы стандартных отклонений. Предложенный выше подход прошел апробацию при выявлении динамики «пятен» радиоактивного загрязнения в отдельных ареалах 30-км зоны ЧАЭС и доказал свою эффективность.

Список литературы

1. 2000-2007 *Uncertainty Manager; Guide Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement* © 2000 Eurachem.
2. Єремєєв І.С. Проблеми ідентифікації динаміки плям радіоактивного забруднення / І.С. Єремєєв // Збірник наукових праць Інституту ядерних досліджень. – 2002. – №1 (7). – С. 32-37.
3. Єремєєв І.С. Ідентифікація динаміки плям забруднення екосфери міст / І.С. Єремєєв // Екологічна безпека та техногенна безпека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов. Сб. научн. трудов. – Х.: ВОДГЕО, 2007. – Т. 1. – С. 205-214.

Поступила в редколлегию 28.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Воробьев, Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев.

ПРОБЛЕМИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРИ МОНІТОРІНГУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

І.С. Єремєєв, А.О. Дичко

Розглянуті проблеми і джерела невизначеності, які з'являються під час здійснення процедур моніторингу навколишнього середовища. Розроблений підхід дозволяє визначити динаміку «плям» забруднення. Для виявлення динаміки «плями» запропоновано визначення евклідової метрики, що характеризує «відстань» поточного стану певної області навколишнього середовища від стану, який спостерігався під час попереднього сеансу моніторингу. Описаний підхід вирішення проблем невизначеності вимірювань заснований на методі метричної оцінки і порівняльного аналізу даних «найближчих сусідів». Цей підхід був апробований при виявленні динаміки «плям» радіоактивного забруднення в зоні ЧАЕС і довів свою ефективність.

Ключові слова: джерела невизначеності, моніторинг навколишнього середовища, метрика, метод «найближчих сусідів»

UNCERTAINTY PROBLEMS IN ENVIRONMENTAL MONITORING PROCEDURES

I.S. Yeremeyev, A.O. Dychko

The problems and sources of uncertainty that occur during the implementation of environmental monitoring procedures of the environment are shown. The developed approach allows to define the dynamics of the "spots" of contamination. To identify the dynamics of the "spot" it is suggested the definition of Euclidean metrics characterizing the "distance" of the current state of the field defined by the state of the environment, which was observed during the previous monitoring session. This approach for solving problems of uncertainty of measurement is based on the method of metric evaluation and comparative analysis of data of "nearest neighbors". The approach has been tested in identifying the dynamics of "spots" of contamination in the Chernobyl zone, and has proved its effectiveness.

Keywords: sources of uncertainty, environmental monitoring, metrics, the method of "nearest neighbors".