

ПРИБРЕЖНАЯ СТАНЦИЯ КОНТРОЛЯ РАДИОАКТИВНОСТИ ВОДЫ И ВОЗДУХА

И.Ф. Лукашин

Морской гидрофизический институт
НАН Украины

г. Севастополь, ул Капитанская, 2
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net
tel/fax 8-0692-54-26-94

В работе рассмотрена концептуальная основа построения ПСКР (прибрежной станции контроля радиоактивности воды и воздуха) в рамках системного подхода к анализу параметров поля гамма-излучения воды и воздуха. Представлена ее генеральная аппаратная и алгоритмически-программная конфигурация.

Введение. Радиоактивный мониторинг воды и воздуха приводной атмосферы осуществляется для выработки административных, командирских, исследовательских и др. решений на основе данных измерений параметров полей радиоактивности полученных с помощью измерительного комплекса – прибрежной станции контроля радиоактивности (ПСКР) воды и воздуха. Основной задачей разработчика такой ПСКР является выбор оптимальной ее конфигурации позволяющей оперативно обнаруживать и идентифицировать возмущения поля радиоактивности природной среды.

Генеральная конфигурация ПСКР. Предлагаемая ПСКР состоит из двух измерительных трактов регистрации гамма-излучения, соответственно, воды и воздуха, которые в свою очередь, состоят из двух и более гамма-спектрометрических каналов базовой ядернофизической конфигурации. Часть каналов регистрирует прямое излучение среды, соответственно, воды и воздуха, другая часть – детекторы которых помещены во внутрь концентрирующих головок, оборудованных системой прокачки или продувки, – обеспечивают надежное (в статистическом смысле) детектирование отдельных компонент радиоактивности. Нарашивание количества идентичных каналов увеличивает идентификационные и обнаружительные способности системы.

Системность. Специфичность поля радиоактивности природных сред состоит в его системности. Она заключается в том, что любые воздействия на природную среду вызывают адекватные изменения многих компонент поля радиоактивности, они связаны, – изменения системы. Это обстоятельство позволяет осуществлять экологическую интерпретацию воздействия не по значениям отдельных измеряемых параметров, но и по их взаимодействию (системный эффект). Экологические факторы, – параметры воздействия, выявляются не самими измеряемыми параметрами (концентрациями радионуклидов), а их системным эффектом, даже простейшего типа: в попарном соотношении. Это касается прямого воздействия, например, инъекция группы искусственных радионуклидов в природную среду в результате аварии атомного реактора через атмосферные выпадения вызывает системный радиоэкологический эффект на радиационную безопасность человека через целый ряд пищевых, ингаляционных и др. цепочек. Аналогично системное воздействие непрямых факторов, например, смена воздушной массы с другим составом естественных радионуклидов (морской или континентальной) в результате общей циркуляции атмосферы. Причем точный учет всех процессов от самой аварии или процессов в верхней атмосфере до самочувствия человека практически не возможен, а системный анализ «воздействие – эффект» вполне осуществим с получением реальных прогностических данных статистического типа.

Известна результативность такого подхода к решению различных задач связанных с полями радиоактивности природных сред. Например, возраст радиоактивного образца определяется на основании закона радиоактивного распада как $T = T_0 \ln C_0/C$, здесь T_0 – период полураспада р/нуклида, и для его определения необходимо знать начальную и конечную активность образца. Все методы радиоактивного датирования основаны не на анализе концентраций отдельных радионуклидов, а на системном анализе, – а именно на простейшем варианте – анализе попарных соотношений концентраций, С-14/C-12 или Ra-231/Th-230. Именно соотношение параметров несет системную ин-

формацию о геологическом возрасте. Впечатляющим примером системного анализа радиоактивности в океанологии являются исследования соотношений концентраций O-18/O-16 для оценки параметров регионального обмена океан-атмосфера [1].

Целенаправленный поиск отклонений от стандарта соотношения концентраций изотопов U-235/U-238 позволили доказать существование ЕЯР (естественный ядерный реактор) на территории урановых рудников в Габоне [2]. В то время как отдельные значения концентраций этих изотопов, хотя и несут информацию о природных ядерных катализмах, она завуалирована последующими геологическими процессами. В этой связи, большие надежды для подтверждения адекватности ЕЯР-концепции возлагаются на системные исследования соотношений других пар радионуклидов, трансформация которых может нести системный эффект при ЕЯР-процессах, а также других параметров геологических структур, изменения которых связаны с этими процессами [3].

Эффективность такого подхода продемонстрирована Георгиевским [4] для получения радиоэкологических параметров при оценке радиационной ситуации после Чернобыля путем анализа именно соотношений концентраций Cs-137/Sr-90, Ru-106/Ce-144, Zr-95/Sr-90, Sr-89/Sr-90 и др.

Во всех этих случаях системный анализ сводился к простейшей операции; анализу попарных соотношений, естественно возникает вопрос о более общем подходе – анализу многомерного образа явления.

Процедура системного анализа состоит в конформном отображении фонового многомерного образа поля в экспериментально полученный образ под действием вектора событий, в общем случае. В зависимости от способа формализации многомерного образа поля выбирается инструмент системного анализа.

Отмеченная ситуация присуща и системе гамма-излучающих изотопов природных сред, т.е. она проявляется и в поле гамма-излучения. Для детектирования же это поле наиболее удобно, т.к. обладает высоким быстродействием, пробег его составляет несколько десятков сантиметров в конденсированных средах и до сотни метров в воздухе, гамма-излучение обладает высокой эффективностью регистрации совре-

менными детектирующими системами по сравнению с другими типами р/а излучений. Поэтому системный анализ поля гамма-излучения природной среды позволяет решать обозначенные задачи мониторинга, являясь, в то же время, наиболее перспективным способом автоматизации процесса измерения параметров поля радиоактивности. И подразумевают под ним методику обработки данных, позволяющую представлять их интерпретацию не только по отдельным измеряемым параметрам, но по их совокупности, а в общем случае по всему многомерному образу поля. Перспективность такого подхода продемонстрирована нами [5] при выборе в качестве инструмента формализации многомерного образа гамма-поля аппарат корреляционной спектрометрии.

Основой такого подхода для исследованний гамма-поля были подмеченные особенности спектрального состава гамма-излучения в однородной бесконечной среде с равномерно распределенными источниками. Во-первых, рассеянное излучение в среде появляется в результате комптон-эффекта, образования электрон-позитронных пар и фото эффекта. Оказалось, что в среде на каждый первичный гамма-квант рождается 4-8 квантов более мягких энергий. Во-вторых, этот спектр излучения в среде появляется за $10^{-5} - 10^{-7}$ с, что значительно меньше времени экспозиции, поэтому обладает свойством синхронности появления. И, наконец, ряд радионуклидов, связанных с задачами обнаружения имеют каскадный спектр излучения с характерным временем излучения $10^{-7}-10^{-9}$ с, т.е. обладает этим же свойством синхронности. Таким образом, введение параметра синхронности (через фишеровский аналог МКПК отдельных элементов спектрального состава гамма-излучения среды в фазовое пространство поля гамма-излучения) может дать существенную прибавку информативности.

Для принятия обозначенных выше решений требуется обобщенный многомерный экологический образ природной среды отображеный в МКПК преобразовать в простой одномерный обобщенный параметр или простую плоскую картинку, элементы которой отражают то или иное состояние среды (экологический статус) и временную его траекторию. Одномерный

образ фактически представляет собой некую шкалу состояния среды выбранную в зависимости от требований Задачи или «экологический градусник». Его цена деления задается некоторыми реперными состояниями среды полученными расчетным или опытным путем в том числе и фоновым состоянием. Математический инструмент такого отображения представляет собой аппарат анализа многомерных временных рядов со всеми его составляющими: метод главных компонент, кластерный анализ, факторный анализ, нелинейное шкалирование, имитационные статистические эксперименты на основе различных способов рандомизации (например будстрэп – операции).

Важно отметить, что именно многомерный образ (в нашем случае МКПК) содержит максимальную информацию об экологическом состоянии среды и любое его отображение в одномерные или плоские картинки выхолащивает эту информативность. Критерием достаточности информативности и, соответственно, эффективности процедуры отображения (выбора шкалы экологического градусника) является оценка ее чувствительности и возможности решения обратной задачи.

Концентрирующие головки для надежного выделения отдельных радиоактивных компонент воды и воздуха представляют собой систему прокачки воды или продувки воздуха через конструкцию из коаксиальных цилиндров, в которой находится тот или иной сорбент позволяющий селективно накапливать на нем тот или иной, интересующий исследователя, радионуклид. В эту систему помещен детектор канала спектрометрии.

Динамика накопления радионуклида на сорбенте и связь реакции детектора излучения с параметрами процесса и характеристиками радионуклида понятна из следующих рассуждений. При осаждении радионуклида в концентрирующей головке детектор регистрирует его излучение с интенсивностью $I(t) = \alpha \beta \lambda N(t)$, где $N(t)$ – количество атомов радионуклида на сорбенте, β – квантовый выход распада, λ – постоянная распада радионуклида, α – эффективность регистрации детектирующей системы. $\frac{dN(t)}{dt} = qC^0 - \lambda N(t)$, здесь

q – поток воды или воздуха через головку, C^0 – концентрация радионуклида в среде, тогда $N(t) = \frac{qC^0}{\lambda} (1 - \exp(-\lambda t))$, и после преобразования экспоненты регистрируемая интенсивность излучения для долгоживущих радионуклидов $\sim qC^0 t$ линейно нарастает со временем, для короткоживущих – через время, \sim нескольких периодов полураспада, наступает динамическое равновесие, его величина $\sim qC^0 / \lambda$.

Следовательно, построение концентрирующих головок целесообразно для анализа вариаций короткоживущей активности, на временных масштабах сравнимых с несколькими периодами полураспада. Для радионуклидов с периодом полураспада значительно большим временного масштаба наблюдений эти меры оправданы исключительно в режиме отбора проб.

Выводы. Построение прибрежного автоматизированного комплекса для мониторинга радиоактивности воды и воздуха приводной атмосферы возможно на основе системного подхода к анализу параметров полей гамма-излучения природных сред. В качестве инструмента формализации системного подхода выбран аппарат корреляционной спектрометрии гамма- поля.

Л и т е р а т у р а

1. В.Н. Еремеев, Б.Н. Нелепо. Кислород-18 как индикатор процессов регионального обмена в системе океан – атмосфера. Физические аспекты загрязнения атмосферы.– Вильнюс.– 1976. Т. 2. – С. 225–227.
2. Э. Дж. Холл. Радиация и жизнь. пер. с англ. – М. Медицина. 1989. – 256 с.
3. И.Ф. Лукашин. Концепция ЕЯР. В кн. Системы контроля окружающей среды. Севастополь, 2007. – С. 311–313.
4. В.Б. Георгиевский. Экологические и дозовые модели при радиационных авариях. Киев. Наукова думка. 1994. – 235 с.
5. И.Ф. Лукашин. Программно-аппаратный комплекс для реализации процедуры детектирования локальных радиоактивных аномалий в формализме вероятностей обнаружения и ложных тревог. В кн. Системы контроля окружающей среды. Севастополь, 2007. – С. 308–310.