

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ ПОЛЯ РАДИОАКТИВНОСТИ ПРИРОДНЫХ СРЕД

Лукашин И.Ф. Подварчан Т.В.

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoi@alha.mhi.iuf.net

Анализируются параметры поля радиоактивности природных сред на примере морских и возможности аппаратных методов и методик их измерения. Даны оценки их возможностей для мониторинга мелкомасштабной структуры полей радиоактивности. Предложены перспективные направления развития методики измерения и оценивания.

Загрязнение Черного моря стало общеизвестным фактом и катастрофически прогрессирует. Непременным компонентом загрязнения морских сред антропогенного происхождения было и остается сегодня радиоактивное загрязнение воды, воздуха и грунтов.

Знание экологического состояния моря и его эволюции необходимы для разработки международных и национальных программ его экологического восстановления, для экологической и экономической кооперации. Поэтому сейчас потребность в экологическом мониторинге окружающей среды – очевидна.

Создание надёжных методов и средств контроля, а в дальнейшем прогноза дозовых параметров среды обитания человека, в частности, контроль поступления и накопления радионуклидов естественного и искусственного происхождения в водных бассейнах становится одной из важнейших научно-прикладных задач нашего времени.

Совершенно очевидно, что задача эта по существу своему сложна и для решения требует кроме знаний об источниках загрязнения совместного рассмотрения геохимических, гидрофизических и метеорологических процессов формирования полей радиоактивности.

Оперативный радиоактивный мониторинг морских сред предполагает исследование процессов распределения природной и антропогенной радиоактивности морской воды и воздуха приводной атмосферы с характерными пространственно-временными масштабами, которые определяются размерами объектов, создающими искусственные аномалии полей радиоактивности. Нижние пределы этих масштабов составляют ~ 1 м и ~ 1 с, для них соотношение активностей искусственной и естественной компонент, а также амплитуд флуктуаций и средней активности фоновой компоненты не

превышают величин $\sim 10^{-2} - 10^{-3}$.

Среди методов исследования полей радиоактивности морских сред можно выделить два основных: "in-situ" и метод отбора проб, при этом содержание отдельных радионуклидов определяют в лаборатории измерением радиоактивности образцов приготовленных из содержимого отобранных проб морской воды. В зависимости от концентрации радионуклида, ориентируясь на пороговые параметры измерительной методики, приходится отбирать значительные по об'ему пробы морской воды, до 100 – 200 литров. Отбор проб выполняют батометрами и на борту судна из этого объёма воды осуществляют осаждение одного или группы изотопов. Последующую обработку, как правило, проводят в береговых лабораториях на низкофоновых измерительных установках [1,11]. Чтобы получить этим методом окончательные результаты, требуются месяцы работы на берегу группы специалистов. Этот трудоёмкий процесс проводится в радиохимических лабораториях и трудно поддаётся автоматизации.

Лишь после обработки отобранных проб в береговой лаборатории исследователь в состоянии объективно оценить правильность выбора района исследований, местоположения отдельных станций и т.д. В итоге часть отобранных проб может оказаться бесполезной не несущей ценной информации, а темп исследований – неоправданно низким.

Радиохимический метод, несмотря на его недостатки, является наиболее чувствительным и универсальным. Он применим для определения α, β, γ -излучателей. Этим методом получено много ценных результатов о распределении в водах Мирового океана как естественных, так и искусственных радиоактивных элементов [18,6,11,16].

Перспективной разновидностью этого метода, получившей широкое распространение в практике океанологических исследований, является метод концентрирования радионуклидов из морской воды с помощью ионообменных сорбентов [4,7,13]. Существенным достоинством этого метода является сокращение трудоемкости и времени концентрирования и обработки проб, с месяцев при радиохимическом методе до дней и часов при сорбционном. Однако, оперативность метода, тем не менее, ограничена, что не позволяет перейти к исследованию полей радиоактивности в указанных выше пространственно-временных масштабах.

Наиболее перспективным в этом отношении представляется метод регистрации излучения радионуклидов «in-situ». Детектор излучения или их набор размещается в среде, а статистическая информация по каналу связи передается в бортовое регистрирующее устройство.

Среди других видов излучения гамма-поле обладает, в этом плане, рядом достоинств: оно содержит полную информацию о покомпонентном составе радиоактивности, имеет линейчатый спектр, исключительно высокую скорость передачи информации, а также оптимальные транспортные параметры излучения (средняя длина свободного пробега в среде превышает характерные конструктивные размеры детекторов, но меньше пространственных масштабов исследуемых процессов). Достаточно простой способ регистрации излучения и широкий набор ядернофизических параметров излучателей, обуславливающий высокую информативность поля для их идентификации, дополняет этот ряд преимуществ.

До настоящего времени для детектирования, идентификации и определения статистических параметров флуктуаций компонентного состава и активности гамма-излучателей использовались характерные для них энергетические параметры излучения, т.е. селекция по элементам объема фазового пространства (ФП) гамма- поля осуществлялась только по элементам (диапазонам) энергии излучения. В связи с этим обстоятельством, существующие способы детектирования (обнаружения) и идентификации изменений активности природных сред носят названия радиометрии и спектрометрии, соответственно. Отличаются они регистрирующей частью аппаратуры. В гамма-радиометрах используются интеграторы или пересчетные схемы, а в спектрометрах - многоканальные амплитудные анализаторы импульсов. Отсюда их достоинства и недостатки. Требование оперативного обнаружения изменения активности среды - радиометрия - позволяет значительно упростить аппаратуру, но требует априорной информации о ширине и положении наиболее репрезентативного энергетического диапазона. Требование идентификации варьирующего излучателя - спектрометрия приводит к удлинению времени анализа τ и усложнению схемы.

Из радиометров, применявшихся различными авторами, следует отметить приборы, созданные Б.А.Нелепо [10], А.Ф.Фёдоровым [20], Л.М.Хитровым [14], Т.Акияма [18], Н.Г.Гусевым [5], Ю.В.Пейсиковым [12], П.А.Арбузовым [2]. Они использовались для решения различных задач детектирования повышенных уровней загрязненности морской воды. Существенным различием между ними следует считать положение и ширину энергетической области, вырезаемую в спектре гамма-излучения прибором, для решения конкретной радиометрической задачи.

Спектрометрия гамма-излучения морской воды позволяет решать задачу идентификации, что было показано создателями этих приборов В.Н.Лавренчиком [8], Б.А.Нелепо [10], Р.Ше-

сселе [19], Г.Рилем с сотр. [22], С.М.Проктором [21], Г.Ф.Батраковым [3], С.Ведекином [23] и И.Лукашиным [9]. Все эти приборы использовались или для идентификации появляющегося радионуклида на значительных акваториях (за достаточно длительные промежутки времени) по проявлениям соответствующих пиков полного поглощения (ППП) в спектрах излучения или в радиометрическом режиме путем анализа счетностей в узких энергетических диапазонах соответствующих ППП радионуклидов.

Такое использование стандартных методов измерения, с одной стороны, - ввиду влияния рассеивающие-поглащающих свойств среды, ограничивает информативность гамма- поля сравнительно узкими объемами фазового пространства и даже небольшими энергетическими интервалами спектра излучения, а с другой, - предельно низкие активности радионуклидов в морской воде по отношению к параметрам чувствительности существующих типов аппаратуры, а также специфический квантовый характер поля радиоактивности, требуют для получения статистически обеспеченных результатов значительного увеличения счетностей используемых детекторов для решения обозначенных задач.

Если фоновые загрузки стандартных детекторов в ППП естественных гамма-излучателей составляют ~ 1 имп/сек, а естественные флуктуации их активности обеспечивают добавки загрузок $\sim 0,01$ имп/сек, то исходя из стандартных критериев значимости [15]

$$\Delta I\tau \geq \alpha \sqrt{2I\tau} \quad (1)$$

здесь τ - время экспозиции, α - коэффициент, соответствующий установленному критерию значимости. Время экспозиции, необходимое для детектирования такого изменения активности (ΔI) составляет

$$\tau \geq 2\alpha^2 \left(\frac{I}{\Delta I} \right)^2 \frac{1}{I} \quad (2)$$

и для 5% - ного уровня значимости равно 80 000 сек, что значительно превышает анализируемые временные масштабы явления.

Единственным способом преодоления отмеченных трудностей представляется увеличение эффективного излучающего объема среды за счет увеличения чувствительного объема детекторов в 1 000 раз, что в настоящее время ни за счет увеличения их размеров, ни за счет увеличения количества не представляется возможным. Наряду с этим очевидны и другие противоречия и трудности стандартных способов спектрометрических и радиометрических измерений. Оперативный контроль состояния радиоактивности морской среды подразумевает

получение оперативной информации о статистических параметрах полей радиоактивности. Только в этом случае исследователь имеет возможность активного проведения эксперимента, поиска, оконтуривания и изучения пространственно-временного распределения активности на акватории. Однако, стандартные способы спектрометрии требуют выполнения измерений в фоновых и в «сигнальных» условиях, что подразумевает наличие априорной информации о распределении активности на акватории. Такую информацию могут дать, например, радиометрические способы измерения, однако, они требуют априорной информации о покомпонентном составе смеси радионуклидов.

Т.Е. стандартные способы измерения требуют предварительных прикидочных измерений, выполненных на основе априорной информации о поле радиоактивности.

Кроме того, процессы контроля качества информации (выявление, идентификация и выявление различного рода сбоев и выбросов; периодическое проведения калибровочных измерений; осуществление контроля стабильности работы измерительных каналов) требуют для стандартных способов измерения периодического прерывания процесса измерения на довольно длительные промежутки времени, сравнимые со временем экспозиции, что приводит к неизбежным потерям темпа исследований.

Эти противоречия и трудности обусловили отсутствие прогресса в развитии методов и средств оперативного контроля радиоактивного состояния морской среды до настоящего времени. Их преодоление возможно на основе системного подхода к созданию измерительных средств, автоматизации процессов измерения и статистической обработки информации в режиме реального времени путем оптимального сочетания методов радиометрии и спектрометрии. О возможности такого подхода говорит анализ использованной информативности гамма- поля при стандартных способах измерения. Информативность спектрального состава излучения используется не полностью, до 90% спектра излучения радионуклидов в среде не анализируется. Информативность различных энергетических диапазонов не одинакова ввиду разной статистической обеспеченности информации в них, однако, при существующих методах измерения время экспозиции выбирается таким, чтобы обеспечить условие (1) в диапазоне с наименьшей счетностью. При этом избыточность информации (с точки зрения обеспеченности) в других диапазонах никак не используется и не анализируется. Информативность других измерительных каналов радиоактивных и не радиоактивных параметров не используется для повышения статистической обеспеченности измерений, что позволило бы

уменьшить время экспозиции, перейти к исследованию более мелких пространственно-временных масштабов явлений, а также повысить надежность детектирования, идентификации и определения статистических параметров флюктуаций активности.

Системный подход к проблеме создания методик и технических средств измерения, а также математического обеспечения для обработки статистической информации и управления процессом измерения позволяет значительно увеличить селективность (по компонентам) метода, его разрешение (по концентрациям отдельных компонент и масштабам их пространственно-временного распределения). Регистрация излучения в максимальном объеме ФП поля и его селекция на основе принципа быстрой спектрометрии наряду с оптимальным сжатием статистической информации на основе корреляционного и факторного анализа позволяют решать задачу обнаружения и идентификации флюктуаций активности в указанных пространственно-временных масштабах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтерман А.И., Степанов А.В. Низкофоновый гамма-спектрометрический анализ как средство для определения низких концентраций естественных радионуклидов. Препринт, Л., изд. РИ, 1978, с.34
2. Арбузов П.А., Калашников П.А., Мишарев В.И. Экспедиционный радиометр., "Труды МГИ АН УССР", Киев, "Наукова думка", 1969, т.41, с.136-142.
3. Батраков Г.Ф. Поле гамма-излучения в верхнем слое Чёрного моря., "Атомная энергия", 1972, т.33, с.785-788.
4. Бондаренко Г.Н., Калашникова Ю.С., Ионобменная методика определения Цезия в морской воде., Радиохимия, 1973, 15, № 5, с.680-684.
5. Гусев Н.Г. Экспресс метод определения удельных активностей воды в больших водоемах, "Труды Всесоюзной конференции по медицинской радиологии", М., Медгиз, 1957 с.
6. Кароль И.Л., Радиоактивные изотопы и глобальный перенос в атмосфере, Л., Гидрометеоиздат, 1972, с.365.
7. Крылов В.Н., Гедеонов Л.И., Раков Н.А., Трофимов А.М., Неограниченные сорбенты в радиохимическом анализе морской воды, Радиохимия, 1973, 15, № 5, с.654-658.
8. Лавренчик В.Н., Софиев Г.Н., Интенсивность и спектральный состав гамма-излучения океанической воды, "Изв. АН СССР" сер. Геофизическая, 1962, № 2, с.275.
9. Лукашин И.Ф. Быстрое детектирование возмущений поля гамма-излучения. "Морские

- гидрофизические исследования ", Севастополь, № 4, с. 104 – 111.
10. Нелепо Б.А., Калашников П.А., Приборы для ядернофизических исследований, "Исследования в области физики океана", ЭИ, Севастополь, МГИ АН УССР, 1969, № 13, с.32.
11. Нелепо Б.А., Ядерная гидрофизика, М., Атомиздат, 1970, с.224.
12. Пейсиков Ю.В. и др., Исследование радиоактивности водных толщ методом непрерывной радиометрической съёмки, "Информационный бюллетень СНИИП", 1966, № 12(96), с.43-56.
13. Степанов А.В. и др., Селективные сорбенты для ядерно-физических исследований в океане, Морские гидрофизические исследования, 1978, № 2, с.56-65.
14. Хитров М.М., Котляров К.А., Глубоководный гамма-радиометр и измерение радиоактивности глубинных слоев воды Индийского океана, "Океанология", 1962, т.2, с.334.
15. Худсон Д. Статистика для физиков. М., Изд. Мир, 1970, с. 296.
16. Шведов В.П., Патин С.А., Радиоактивность океанов и морей, М, Атомиздат, 1968, с.286.
17. Ядерная геофизика, Под ред. Израэля Х., и Кребса А., М., Мир, 1964, с.560.
18. Akijama T., On the instrument for "in-situ" measurement of gamma-ray activity in deep water of the ocean, " The Oceanographical Magazine ", 1965, vol.17, n.1-2, p.69.
19. Chesselet R., Gyebine T., Lambert G., Nordeman D., Spectrometrie gamma de la eau de mer, DE/SEP/ 1568-198, 1962, p.47/
20. Fedorov A.F., Natural Radioactivity in Sona Ocean Regions, " Bull. Inst. Oceanogr.", Monaco, 1965, vol.64, n.1335, p.53.
21. Proctor C.M., e.a., Response of gamma-scintillation detectors for field survey use, "Limnolog. and Oceanogr.", 1962, no.7, p.273-279.
22. Riel G.U., New Under water Gamma Spectrometer, "Электроника", 1963, т.36, № 10, с.37.
23. Wedekind C., Drutto- gamma-strahlen-sonde mit interner registrierung fur in-situ-messungen im Meer bis 5 000 m Tiefe., "Dtsch. Hydrogr. Z.", 1977, vol.30, no.1, p.31-36.