

О ПОВЫШЕНИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КОМПЛЕКСОВ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИВОДНОЙ АТМОСФЕРЫ И МОРСКОЙ ВОДЫ

Г. Ф. Батраков

Морской гидрофизический институт НАН
Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская 2
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

Предлагается концепция создания комплексов аппаратуры, обладающих повышенной чувствительностью для измерения гамма-излучающих изотопов в океане и приводной атмосфере. Эти комплексы позволяют вычитать фоновое излучение в процессе проведения измерений. Рассматриваются принципы построения измерительных каналов для вычитания трех компонент фона.

Введение. В настоящее время известны комплексы аппаратуры для измерения гамма-излучения приводной атмосферы и морской воды [1, 2], в которых в качестве детекторов используются монокристаллы NaI(Tl) большого размера, а в качестве регистрирующей аппаратуры многоканальный анализатор. Такой аппаратурный комплекс невозможно использовать для обнаружения каких-либо локальных областей искусственной радиоактивности в океане и приводной атмосфере, гамма-излучение от которых сравнимо с фоновым излучением. Это обусловлено тем, что измерения приходится проводить в условиях постоянно изменяющегося естественного фона. В данной работе предлагается концепция комплекса аппаратуры, который позволяет в процессе измерения вычитать различные компоненты фона и тем самым повысить чувствительность.

1. Фон и чувствительность аппаратуры.

Рассмотрим как снижение фона влияет на чувствительность, т. е. на минимально измеряемую активность гамма-излучателя.

Пусть скорость счета, получаемая от датчика, равна n , скорость счета фона n_ϕ , тогда скорость счета, обусловленная излучением гамма-источника, будет равна

$$n_0 = n - n_\phi \quad (1)$$

Относительная среднеквадратичная погрешность этой величины определяется соотношением

$$\delta_0 = \sqrt{\frac{n}{T} + \sigma_\phi^2} \quad (2)$$

где T - время измерения величины n , σ_ϕ^2 - дисперсия фоновой скорости счета.

Если мы заранее зададимся величиной погрешности и временем измерения, то величину n_0 в (2) можно трактовать как минимально измеряемую при этих условиях.

Обозначив ее n_0^{\min} , получим из (2)

$$n_0^{\min} = \alpha + \sqrt{\alpha^2 + n_\phi \left[2\alpha + \left(\frac{\delta_\phi}{\delta_0} \right)^2 n_\phi^2 \right]} \quad (3)$$

где $\alpha = \frac{1}{2\delta_0^2 T}$, $\delta_\phi = \frac{\sigma_\phi}{n_\phi}$. Из (3) видно, что

точность измерения фона весьма существенно влияет как на величину n_0^{\min} , так и на зависимость ее от n_ϕ . Например, при $\frac{\delta_\phi}{\delta_0} = 0$

$$n_0^{\min} = \alpha + \sqrt{\alpha^2 + 2\alpha n_\phi}, \quad \text{при } \frac{\delta_\phi}{\delta_0} \approx 1 \text{ эта}$$

зависимость становится близкой к линейной $n_0^{\min} = 2\alpha + n_\phi$. Уравнение (3) можно записать в следующем виде

$$n_0^{\min} = n_\phi \left(\frac{\alpha}{n_\phi} + \sqrt{\frac{\alpha^2}{n_\phi^2} + 2\frac{\alpha}{n_\phi} + \left(\frac{\delta_\phi}{\delta_0} \right)^2} \right) \quad (4)$$

Таким образом, при условии $2\delta_0^2 T n_\phi \gg 1$ получаем $n_0^{\min} = n_\phi \frac{\delta_\phi}{\delta_0}$.

2. Состав комплекса и принцип работы. Основной вклад в фоновое излучение вносят следующие компоненты: $n_{\text{соб.}}$ - компонента, обусловленная излучением изотопов, входящих в конструктивные элементы датчика; $n_{\text{кал.}}$ - компонента, обусловленная излучением растворенного в морской воде природного радиоактивного изотопа калия-40; $n_{\text{косм.}}$ - компонента, обусловленная космическим излучением; $n_{\text{рад.}}$ - компонента, обусловленная гамма-излучением продуктов распада радона-222, находящихся в океане и приводной атмосфере.

Собственный фон датчика ($n_{\text{соб.}}$) является величиной постоянной и вычитание его не представляет особых трудностей. Величину его можно определить с высокой точностью на низкофоновых измерительных комплексах с защитой от излучения окружающей среды.

С другими компонентами фонового излучения дело обстоит гораздо сложнее и определение их требует организации дополнительных измерений.

Нами предлагаются комплексы аппаратуры, которые состоят из 4-х измерительных каналов. Эти комплексы имеют аналогичную структуру для измерения в морской воде и приводной атмосфере. Первый канал предназначен для измерения суммарного гамма-излучения приводной атмосферы и морской воды. Второй канал предназначен для измерения солености морской воды, определения по солености гамма-излучения, обусловленного излучением растворенного калия-40, и вычитания его из зарегистрированного в первом канале суммарного гамма-излучения. Третий канал предназначен для регистрации гамма-излучения от продуктов распада радона-222 в приводной атмосфере или морской воде и вычитания этой компоненты из регистрируемого общего фона в 1 канале. Четвертый канал предназначен для регистрации космической компоненты и для вычитания ее из суммарного гамма-излучения 1-го канала.

Таким образом, комплекс регистрирует все на него воздействующее гамма-излучение и в процессе работы происходит вычитание трех компонент в 1 канале, что приводит к существенному увеличению чувствительности.

3. Калиевая компонента. Определение калиевой компоненты ($n_{\text{кал.}}$), которая вносит основной вклад в гамма-излучение морской воды и приводной атмосферы, основано на том, что калий в морской воде относится к элементам основного солевого состава и последние данные свидетельствуют о постоянстве калий/хлорного отношения в водах морей и океанов с точностью до 0,5 % [3]. В связи с этим содержание калия в морской воде может быть определено по солености (вернее, по измерениям электропроводности), а содержание калия-40 найдено по изотопному отношению калий-40/калий-39, достаточно точно известному. Таким образом, имея зависимость гамма-спектра для данного детектора в морской воде и приводной атмосфере, мы можем, измеряя соленость, вычесть их из суммарных гамма-спектров. Зависимость спектров гамма-излучения от солености может быть получена путем специально выполненных измерений.

4. Радоновая компонента. Короткоживущие продукты распада радона-222 (висмут-214 и свинец-214) вносят существенный вклад в гамма-излучение приводной атмосферы и океана. Измеряя концентрацию радона-222 в приводной атмосфере и океане и

имея зависимость спектров гамма-излучения приводной атмосферы и морской воды от значений концентрации в этих средах, можно вычитать эти спектры из суммарных спектров.

В настоящее время имеются достаточно экспрессные методы измерения концентрации радона-222 в приводной атмосфере [4] и морской воде [5].

5. Космическая компонента. Для исключения космической компоненты необходимо использовать такую же аппаратуру, как и в первом канале. Эти два канала подключаются к электронному блоку, который исключает прохождение на регистрирующую аппаратуру первого канала совпадающих импульсов в первом и четвертом каналах.

Заключение. Эффективность регистрации и фон определяют чувствительность комплексов аппаратуры для прямых измерений гамма-излучающих изотопов в окружающей среде. Повышение эффективности регистрации достигается увеличением размеров детектора. Здесь путь известен - использование детекторов максимального размера и создание многодетекторных систем. Значительного же уменьшения фона можно добиться на основе вышезложененной концепции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукашин И.Ф., Еремеев В.И., Батраков Г.Ф. Комплексный метод измерения поля гамма-излучения морской воды // Морские гидрофизические исследования. -1979.- N3.- С.25-29.
2. Лукашин И.Ф., Воскресенская Л.В., Орепина Л.М. Макет измерительно-вычислительного комплекса для контроля радиоактивности вод морей, речных и озерных сред / Сб. научных трудов «Системы экологического контроля». - Севастополь: МГИ НАНУ. - 1991. - С.68-72.
3. Анохин В.Н., Батраков Г.Ф., Земляной А.Д. и др. Рентгено-флуоресцентный анализ основных элементов солевого состава // Морской гидрофизический журнал. - 1991.- N3.- С.39-44.
4. Батраков Г.Ф., Еремеев В.Н., Земляной А.Д. Радон-222 в океане / Севастополь. ЭКОСИ-Гидрофизика. - 1995. - 152 с.
5. Батраков Г.Ф., Земляной А.Д., Анищенкова В.А. К методике определения радона-222 в морской воде / Сб. «Экспериментальные методы исследования океана». - Севастополь: МГИ АН УССР. - 1978. - С.59-65.