

ИДЕНТИФИКАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ МОРСКОЙ ВОДЫ

И.Ф. Лукашин, Г.Ф. Батраков

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

В работе предложены построение комплекса аппаратуры и методика статистической обработки спектрометрической информации для решения задачи обнаружения и идентификации флуктуаций концентрационных характеристик радионуклидов-гамма-излучателей в морской воде. Получены оценки чувствительности метода.

Введение. В морской воде содержится целый ряд гамма-излучающих изотопов. Это обстоятельство позволяет, в принципе, исследовать пространственно-временную изменчивость концентраций этих изотопов прямыми методами, т.е. погружая датчик в воду и измеряя гамма-спектр излучения [1]. Но в связи с тем, что концентрации гамма-излучающих изотопов в морской воде очень низки, таким способом, достаточно просто, можно определять только концентрации К-40. Для того, чтобы почувствовать прямыми методами содержание других изотопов, необходимо создать более эффективный комплекс аппаратуры и разработать более совершенную методику обработки результатов. Такой комплекс и методика предлагаются в настоящей работе.

Оперативный радиоактивный мониторинг морских сред предполагает исследование процессов распределения природной и антропогенной радиоактивности морской воды и воздуха приземной атмосферы с характерными пространственно-временными масштабами, которые определяются размерами объектов, создающих искусственные аномалии полей радиоактивности. Их нижние пределы составляют ~1м и ~1с, и соотношение активностей искусственной и естественной компонент, а также амплитуд флуктуаций и средней активности фоновой компоненты не превышают величин $\sim 10^{-2} - 10^{-3}$.

Если фоновые загрузки стандартных детекторов в пике полного поглощения (ППП) естественных гама-излучателей составляют ~1 имп/сек, а естественные флуктуации их

активности обеспечивают добавки загрузок ~0,01 имп/сек, то, исходя из стандартных критериев значимости,

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

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%-уровня значимости равно 80 000с, что значительно превышает анализируемые временные масштабы явления. Единственным способом преодоления указанных 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 их количества не представляется возможным. Требуется новый подход к анализу информативности гамма-поля [2]. Необходим такой выбор регистрируемых параметров и их анализа, который бы позволил снизить требуемые пороговые загрузки при измерениях и обеспечил бы статистическую надежность получаемой информац. Преодоление этих противоречий возможно на основе системного подхода к созданию технических и программных средств для исследования р/а полей [2].

Выбор такого параметра возможен на основе регистрации факта синхронности – несинхронности проявлений флуктуаций интенсивности излучения по элементам фазового пространства поля излучения, что обусловлено свойствами процессов переноса, рассеяния и поглощения излучения в среде и регистрации его в детекторе. Он включает в себя следующие основные особенности.

А. Физика процессов формирования полей концентраций гамма-излучающих радионуклидов, а также процессов распада ядер, рассеяния и поглощения излучения обуславливает разделение модели гамма поля на два звена: гидрофизическое – описывающее пространственно-временную структуру полей концентраций радионуклидов с помощью аппарата непрерывных случайных функций и ядернофизическое – описывающее статистику локального поля излучения

аппаратом дискретных (квантовых) случайных функций.

Б. Квантовый характер гамма – поля накладывает специфические условия на процесс измерения и построения измерительной аппаратуры, а также на возможности решения обратной задачи. Дополнительная (ядерно-физическая) случайная составляющая гамма–поля увеличивает статистическую неопределенность решения, величина которой пропорциональна объему фазового пространства гамма–поля.

В. Системный подход к проблеме позволяет выделить принципы построения методики оперативного мониторинга, это: разделение регистрационно–измерительной части аппаратных средств на две измерительные системы – обнаружения и идентификации, обеспечивающих параллельный режим оперативной обработки сигналов детекторов, с максимальной статистической обеспеченностью этих режимов и с минимальным пропуском сигналов в условиях исследования явлений минимальных пространственно–временных масштабов и активностей компонент поля.

Г. Наилучшим параметром системы обнаружения в смысле обеспечения статистических критериев значимости является величина $\sum_E \sum_t \sum_{\Gamma} I(E, t, x, y, z)$, поэтому повышение обнаружительных способностей методики возможно путем исключения селекции излучения по элементам ФП излучения и расширения его объема за счет увеличения эффективного объема детекторов (тем или другим способом), регистрации излучения во всем энергетическом спектре и в течение времени соответствующего длительности возмущения. Построение аппаратуры канала обнаружения должно обеспечивать минимальные пропуски сигнала за счет мертвого времени и за счет потери информации при передаче.

Д. Выбор оперативного параметра гамма–поля для идентификации причин флуктуаций его интенсивности возможен на основе синхронности проявления этих флуктуаций по элементам ФП поля. Наилучшим таким параметром является коэффициент корреляции между счетностями в этих элементах. Полную информацию о синхронности флуктуаций интенсивности содержит корреляционная матрица (МКПК) по всему ФП поля излучения. Достаточно простые и надеж-

ные критерии статистической обеспеченности получены нормализацией элементов МКПК приобразованием Фишера [3]. Такой выбор параметра идентификации позволяет снизить пороговые загрузки (счетности) элементов ФП до единиц имп/с, что в свою очередь позволяет существенно снизить время экспозиции (набора статистики) до величин ~нескольких секунд, обеспечивающих получение статистически значимой информации.

Е. Модель корреляционной спектрометрии гамма – поля требует выполнения условий: а) случайности характера флуктуаций фонового излучения, и б) статистической обеспеченности вклада энергии флуктуаций активности компонент.

Ж. Системный подход к созданию метода и средств для детектирования, идентификации и определения статистических параметров флуктуаций активности в среде позволяет указать оптимальные способы повышения чувствительности, селективности и надежности метода и снижения времени экспозиции. Это принцип быстрой корреляционной полной нелинейной многоканальной многотрактовой спектрометрии с режекцией фона мешающего излучения и перекрестным контролем качества статистической информации.

Комплекс аппаратуры. Рассмотренный выше способ быстрой корреляционной нелинейной многоканальной многотрактовой спектрометрии гамма–поля во всем спектре излучения с режекцией фона мешающего излучения и перекрестным контролем качества статистической информации реализован в виде бортового измерительного комплекса аппаратуры [1]. Блок–схема комплекса представлена на рисунке. Он состоит из двух частей погружной и бортовой. Погружная часть состоит из трех датчиков с кристаллами NaI(Tl) размером 150x100 мм. Датчики расположены на расстоянии ~0.2 м и под углом 120° друг к другу. Бортовая часть включает в себя три многоканальных амплитудных анализатора АИ-1024, которые вместе с миниЭВМ организованы в регистрационно–измерительную и информационно – вычислительную части, объединенные "online". Программное обеспечение комплекса создано на основе приведенных выше алгоритмов [4-7].

Параметры чувствительности. Приведенные ниже результаты натуральных исследований естественных гамма – полей морских

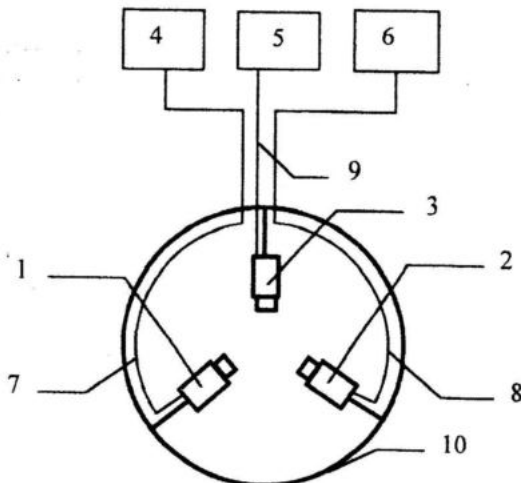


Рис. Блок-схема комплекса аппаратуры для корреляционной гамма-спектрометрии морской воды. 1, 2, 3 – датчики; 4, 5, 6 – анализаторы; 7, 8, 9 – кабель; 10 – каркас для крепления датчиков

сред позволяют: во-первых, на хорошо обеспеченных статистиках получить типичные отклики методики и аппаратуры на возмущение поля радиоактивности той или иной компонентой и, соответственно, оценить чувствительность метода для предельно низких флуктуаций активности; и во-вторых, оценить идентификационные возможности метода. Флуктуации активности компонент в среде однозначно отображаются синхронными флуктуациями интенсивности излучения по элементам ФП поля гамма-излучения и, соответственно, синхронными флуктуациями счёта в энергетических диапазонах каналов измерительных трактов прибора. Структура этой синхронности отображается параметрами МКПК. Анализ которой позволяет идентифицировать флуктуирующую компоненту и определить энергию флуктуаций. В качестве примера приведем результаты идентификации трех основных компонент гамма-поля морских сред: К-40, Вi-214 – Рb-214 и космической компоненты по данным натурных исследований этих компонент в воздухе и в воде для условий ярко выраженных флуктуаций отдельной компоненты. Такие условия для калиевой компоненты наблюдаются во фронтальных зонах смещения вод сильно различающихся по солености на значительных глубинах с монотонным распределением висмутовой компоненты и слабыми флуктуациями интенсив-

ности космической компоненты. Для висмутовой компоненты значительные перепады активности наблюдаются в воздухе приподнятой атмосферы на сравнительно больших акваториях, например, сахарского аэрозоля в атмосфере тропической Атлантики.

Значительные флуктуации интенсивности излучения космической компоненты связаны с мощными хромосферными вспышками солнечной активности, имеющие временные масштабы 10 – 20 часов, и проявляющиеся в местах пониженной напряженности геомагнитного поля, например, в юго-западном секторе тропической Атлантики.

Данные натурных наблюдений в этих условиях позволили получить параметры отклика измерительной аппаратуры соответствующие флуктуациям отдельных компонент с высокой статистической обеспеченностью измерений. Учитывая, что коэффициент "размножения" излучения при рассеянии составляет от 4,0 до 7,3, получены средние значения счётов первичного и рассеянного излучения по компонентам. Они приведены в таблице.

Полученные оценки по порядку величины средней счётности первичного и рассеянного излучения могут быть уточнены на основании данных о $\mu(E)$ для морской воды и воздуха разной влажности путём расчёта точного эффективного излучающего объёма среды. Для каскадных излучателей возмож-

Таблица - Интенсивность первичного и рассеянного излучения радиоактивных компонент для морской воде средней солености.

Радионуклид	Средняя активность первичного излучения γ -кв/с л	Средняя счётность первичного излучения имп/с	Средняя счётность рассеянного излучения имп/с	Максимальная счётность рассеянного излучения имп/с
K - 40	1.4	5.2	~ 25	~ 30
Cs- 137	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$4.0 \cdot 10^{-3}$	$2.0 \cdot 10^{-2}$	0.20
Be- 7	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$4.0 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-3}$	0.02
U - 238*	0.1	0.4	2.4	5.00
Ra- 226*	$2.3 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$5.0 \cdot 10^{-3}$	0.25
Rn- 222*	$2.3 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$5.0 \cdot 10^{-3}$	0.25
Th- 232*	$6.0 \cdot 10^{-5}$	$2.4 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	0.06
Th- 228*	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$6.0 \cdot 10^{-4}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$	0.20

* В равновесии с дочерними продуктами распада.

ность уточнения результатов состоит в учёте зависимости коэффициента "размножения" излучения от энергии.

Правдоподобность полученных оценок подтверждается данными натуральных исследований в 33-ем рейсе НИС "Академик Вернадский" в Средиземном и Черном морях на примере K-40 компоненты гамма-поля морской воды. Полученный по реализациям в 50-ти трехсотсекундных спектрах (50-ти канальных) для горизонтов 50 м в Чёрном море (18,7‰) и Средиземном море (38,3‰) (данные о солености получены синхронно с помощью минизонда), нормированный на соленость. Вклад других компонент (висмутовой и космической) судя по хвосту спектрального распределения не превышает 3-5%. Интегральная интенсивность излучения калия-40 из этого спектра составляет (в пересчете на соленость 38‰): в фотопике 1,46 мэв - 0,8 имп/с, в комптоне - 4,7 имп/с, по всему спектру - 18 имп/с. Две последние величины хорошо согласуются с данными таблицы (5,2 и 25 имп/с), если учесть, что поглощение излучения кожухами детекторов составляет ~10% для интегрального (по спектру) счета и ~20% для средних энергий радиоактивного диапазона (данные калибровки по точечным источникам Cs-137 и Co-60). Таким образом, совпадение модельных результатов и данных натуральных измерений - полное, если считать эффективность регистрации датчика ~90% для геометрии ~4 л. Для калиевой компоненты, относительно изменений солености, чувствительность детектора состав-

ляет в ППП 0,02 имп/с.‰, в комптоне - 0,12, в интеграле - 0,45.

Параметры спектра излучения единичной активности висмутовой компоненты даны в таблице, натуральный приборный отклик получен в 43-ем рейсе НИС "Михаил Ломоносов" для атмосферного воздуха при пересечении фронта Сахарского аэрозоля на переходе Полигон-м. Кап-Блан. Интегральный отклик компоненты составляет $7 \frac{\mu\text{мт}}{\text{с}} / \frac{\text{расп}}{\text{мин}100.1}$ для общего гамма-излучения и $0,45 \frac{\mu\text{мт}}{\text{с}} / \frac{\text{расп}}{\text{мин}100.1}$ для каскадного при нормальных атмосферных условиях или в других единицах $0,1 \frac{\mu\text{мт}}{\text{расп}100.1}$ и $0,007 \frac{\mu\text{мт}}{\text{расп}100.1}$ соответственно. Зависимость эффективного излучающего объема среды от метео параметров приводит к зависимости величины спектрального отклика компоненты от них. Для морской воды эти параметры изменяются мало. Для средних соленостей интегральная чувствительность общего гамма-излучения компоненты Bi-214 - Pb-214 равна $0,01 \frac{\mu\text{мт}}{\text{с}} / \frac{\text{расп}}{\text{мин}100.1}$.

Космическая компонента поля гамма-излучения имеет характерный экспоненциальный спектр излучения. Точные его параметры могут быть получены решением обратной задачи трансформации излучения при прохождении через атмосферу. Приборный отклик спектрального состава излучения компоненты получен при измерении флуктуаций интенсивности излучения гамма-поля приводного воздуха на переходе Конакри - Рио-де-Жанейро в 43-ем рейсе НИС "Михаил Ломоносов" разностным методом

в спокойное время и в период интенсивной вспышки космического излучения, нормировка спектра осуществлена с помощью тракта жесткой компоненты. Возрастание интенсивности общего гамма-излучения на $3,7 \mu\text{чвн}/\%$ обусловлено увеличением интенсивности жесткой компоненты в 2 раза. Вклад фоновых компонент не превышает 2%. Для примера, используя данные вклада различных компонент космического излучения рассчитан профиль добавки её счетности при смещении прибора в воде на 1 м по вертикали, для горизонта 60 м эта величина составляет $\sim 0,01$ имп/с м. Сравнимые добавки счетности соответствуют флуктуациям калиевой компоненты в 0,1 %, висмутовой – в 1 расп/мин.100 л.

Данные корреляционной спектрометрии. Корреляционный анализ флуктуаций интенсивности спектрального состава излучения для реализаций, полученных в этих трех экспериментах позволяют установить параметры МКПК хорошо обеспеченных статистических флуктуаций активности каждой из основных естественных компонент гамма – поля.МКПК трактов общего и каскадного излучения для этих экспериментов построена для нелинейного 50–ти канального спектрометра, шкала которого соответствует шкале представленных выше спектров компонент. Характерные отличительные признаки основных естественных компонент гамма–поля морских сред хорошо отражены в МКПК, они соответствуют спектральному распределению излучения этих компонент, а также отображают вклад флуктуаций активности СФД и фонового излучения других компонент.

Идентификационными признаками калиевой компоненты служат высокие значения z_{ij} в диапазоне энергий до 1,3 – 1,6 мэв (до окончания хвоста ППП К⁴⁰) и отсутствие таких значений на всей остальной площади МКПК. Для использованной реализации среднее значение величины нестабильности работы спектрометрических каналов $\langle q_{ij}^{123} \rangle$ не превышает 0,5 – 1,0 %, а межканальная нестабильность $q^{pq.3}$ составляет 1–2%. Использованная реализация обеспечивает $\sigma_{z_{ij}} = 0,15$. Это обстоятельство позволяет считать обеспеченными (статистически), как наблюдающиеся в МКПК синхронные флуктуации активности компонент, так и заре-

гистрированную несинхронность срабатывания ($q^{pq.3}$) каналов тракта измерения. В качестве оперативного идентификационного параметра флуктуаций активности на реализации, исходя из вида спектрального распределения рассеянного излучения в среде, целесообразно использовать высокую статистическую обеспеченность измерений в мягкой части спектра. Таким параметром может быть накопленная сумма коэффициентов МКПК между пиком накопления и другими энергетическими диапазонами, т.е. Z_K^E в полосе пика накопления, эта величина соответствует спектру излучения калия–40, однако отмечается и присутствие флуктуаций активности других (фоновых) компонент – висмутовой и космической. Вклад энергий флуктуаций активности компонент имеет следующие значения $\sigma_a^{K-40} = 10,0 \pm 0,3^0/\infty$, $\sigma_a^{Bi} = 2,0 \pm 0,5$ расп/мин100л; $\sigma_a^{косм} = (20 \pm 5)\% I^*$, что отвечает условиям проведения эксперимента. Вклад флуктуаций СФД в состав фоновых флуктуаций меньше указанных выше значений (1–2%) в связи с тем, что поканальное суммирование информации снижает синхронные флуктуации СФД.

Идентификационными признаками космической компоненты излучения служат высокие значения коэффициентов МКПК в самой жесткой части спектра излучения ($> 2,6$ мэв), а также наличие интенсивной каскадной компоненты такого же характера. Реализация, принятая к анализу, обеспечивала $\sigma_{z_{ij}} = 0,11$. Параметры стабильности работы каналов тракта "воздух" на этой реализации оказались сравнительно низкими ($q^{123} = 12\%$, $q^{133} = 14\%$, $q^{233} = 2\%$), поэтому для анализа использовались реализации второго и третьего каналов. Для них $q^{12} = 1.4 \pm 0.3\%$. МКПК для построенной таким образом реализации имеет $Z_{ij} \geq 2,0$ в области энергий $> 2,6$ мэв, что является типичным для космической компоненты. Оперативный идентификационный параметр отмечает наличие флуктуаций активности космической компоненты как в каскадном, так и в общем гамма–фоне. Расчет вкладов других компонент в энергию флуктуаций интенсивности излучения дает следующие значения: $\sigma_a^{косм} = 35 \pm 5\% I$ мягкой компоненты, что соответствует увеличению $I_{ж.к.оп.}^{косм}$ в 5 раз относительно спо-

койного уровня $\sigma_a^{K-40} = 0,2 \pm 0,3 \text{ О/}\infty$, т.е. в пределах чувствительности метода $\sigma_a^{Bi} = 0,3$ расп/мин 100л радона, что также в пределах чувствительности метода для воздуха.

Для висмутовой компоненты характерные идентификационные признаки лежат в диапазоне энергий до 2,2 мэв. В этом случае каналы измерительного тракта "воздух" работали достаточно надежно, значения q^{pq3} лежали в пределах 1%. При пересечении фронта Сахарского аэрозоля интегральный счет детекторов тракта "воздух" возрос с 24 до 34 имп/мин, т.е. с 2 до 12 расп/мин м³. Это обусловило высокий вклад энергии флуктуаций активности висмутовой компоненты. Оперативный параметр идентификации, соответствующей МКПК отвечает характеристикам излучения продуктов распада радона-222. Расчитанный вклад энергии флуктуаций активности компонент составил:

$$\sigma_a^{Bi} = (4 \pm 1) \cdot 10^{-15} \text{ кюри/л, а}$$

$$\sigma_a^{K-40} = (25 \pm 5) \% I_{ж.к.}, \sigma_a^{K-40} = 0,20 \pm 0,03 \text{ О/}\infty$$

и не превышают пределов точности измерений, что отвечает условиям эксперимента.

Оценка покомпонентных порогов чувствительности метода. Кроме исследования структуры и изменчивости полей радиоактивности отдельных районов Мирового океана, постановка специальных экспериментов осуществлялась с целью определения порога чувствительности методами относительно флуктуаций активности отдельных компонент в присутствии, как правило, значительного фона мешающего излучения, даже с использованием различных способов его режекции. Простейшие оценки порога чувствительности метода можно получить следующим образом: для идентификации компоненты по параметрам МКПК достаточные флуктуации счета в энергетических диапазонах спектра мягче ППП компоненты составляют 3–4 имп за время экспозиции. Для космической компоненты это ~50, висмутовой ~30, а калиевой ~20 каналов. Для процессов с характерным временным масштабом флуктуаций ~300с минимально идентифицируемые изменения счетности составляют: 0,0 имп/с, 0,1 и 0,18, соответственно, для калиевой, висмутовой и космической компонент. Следует отметить, что полученные оценки явно завышены, например, для идентификации висмутовой компоненты достаточно зарегистрировать наличие ми-

нимальных загрузок в диапазоне энергий 1,6 ÷ 2,3 мэв и отсутствие их для $\geq 2,6$ мэв.

Полученные значения порогов чувствительности для трехканального спектрометра соответствуют добавкам активности K-40 в 0,05 ‰, воздуха – 0,05 расп/мин. 100 л, для морской воды – 3 расп/мин. 100 л и космической компоненты изменениям глубины $\delta h = 1$ м на горизонте 35 м или приращению жесткого космического излучения ~3%.

Особое внимание при проведении экспериментов для оценки порогов чувствительности прибора уделялось контролю отсутствия флуктуаций фоновых компонент путем синхронных измерений отдельных гидрофизических и гидрометеорологических параметров на дрейфовых станциях, а также контролю качества информации измерительных каналов и трактов прибора. Эксперимент состоял в выборе таких условий измерения на горизонте при обнаружении, идентификации и определению статистических параметров флуктуаций активности компоненты, которые бы обеспечивали отсутствие флуктуаций фоновых компонент с постоянным контролем этих условий и качества информации. Эксперимент выполнен на трех дрейфовых станциях в районах: 1) б.Ампер, 2) Ионического моря с координатами 36°54,0' с.ш. и 12°53,5' в.д., 3) Черного моря с координатами 40°00,4' с.ш. и 26°06,2' в.д. в период с 16.05 по 02.06.86 г.

Конфигурация измерительного комплекса выглядела следующим образом: на горизонте измерения располагался минизонд МГИ – 4204, заборник погружного насоса для отбора проб морской воды, а также детекторы тракта "вода", выполнялся периодический контроль качества информации и состояния гидрофизических параметров на горизонте измерения. Измерения детекторами, разнесенными по горизонтам с интервалом 4 м позволяли детектировать флуктуации активности компонент на различных горизонтах верхнего перемешанного слоя морской воды. Наибольшие градиенты этих параметров наблюдались на горизонтах до 50 м. Они составляли в среднем 0,01 ‰ и 0,05 С^О/м и достигали величин 0,05 ‰/м и 0,1 С^О/м. Этим обстоятельством обусловлен выбор горизонтов измерения, на них градиенты концентрации Rn-222 достигали 0,3 р/мин 100 лм. Погодные условия во время проведения эксперимента отличались сравнительно слабым ветровым волнением, что обеспечива-

ло малые флуктуации горизонта измерения. Таким образом, выбранные условия измерения обеспечивали сравнимые флуктуации счетностей измерительных каналов; несинхронность срабатывания каналов не превышала, как правило, 10% этих величин.

Для приведенных реализаций, размах флуктуаций солености составил 0,09‰ и 0,16‰ вклад энергии флуктуаций калиевой компоненты соответствует $0,1 \pm 0,2$ °/00 и $0,13 \pm 0,30$ °/00 солёности воды. Для этой же реализации на горизонте 43 м отмечается смесь флуктуаций калиевой и космической компонент, соответствующая вкладом флуктуаций в интегральную интенсивность излучения калия –22%, космической –70% или соответственно $0,08 \pm 0,05$ %₀ и 70 % $I_{ж.к.}$. Однако наиболее общий случай – смесь флуктуаций всех трех естественных компонент. Например, одна из реализаций на горизонте 43 м соответствует смеси калиевых и висмутовых флуктуаций, соответственно 24 и 73% или вклад $(0,09 \pm 0,05$ ‰) и (2 ± 1) расп/мин. 100л и 10% $I_{ж.к.}$. Причем, во втором случае заметно уменьшение вклада космической компоненты, лежащее, однако, в пределах чувствительности метода.

Анализ приведенных данных регистрации малых флуктуаций естественных компонент гамма-поля позволяет отметить, что статистическая информация, зарегистрированная комплексом аппаратуры для флуктуаций активности компонент близких к пороговым (указанным выше), имеет хорошую статистическую обеспеченность. Сравнение этих данных с результатами независимых измерений активности компонент подтверждают вывод о завышенности оценок величин порогов чувствительности метода по компонентам. Т.е. порог чувствительности описанного выше комплекса оказывается не хуже 0,05 ‰ солености по калиевой компоненте; 0,005 расп/мин 100 л и 1 расп/мин 100л для висмутовой компоненты в воздухе и в воде относительно концентраций Rn-222 и 2% жесткой компоненты космич. излуч.

Заключение. Повышение чувствительности метода обеспечивается режекцией фона мешающего излучения, связанного в основном с увеличением вклада излучения анализируемой компоненты, а также с селекцией излучения измерительными трактами по различным ядернофизическим характеристикам. Приборная реализация метода предполагает полную автоматизацию процессов

измерения и обработки статистической информации многопроцессорными системами в режиме "on line". Совершенствование метода корреляционной спектрометрии связывается с созданием систем поимпульсной регистрации гамма-поля, позволяющей осуществлять оптимальное квантование статистической информации; созданием и совершенствованием методов режекции фона мешающего излучения, а также с анализом других характеристик излучения таких, как анизотропии потоков, $\beta - \gamma$ совпадений и др, а также нерадиоактивных характеристик среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукашин И.Ф., Еремеев В.Н., Батраков Г.Ф., Винников А.М., Кухарчик А.В. Комплекс аппаратуры для измерения гамма – излучения морской воды- Тезисы докладов на Всесоюзном симпозиуме по комплексному изучению гидрофизических полей океана с использованием изотопных методов. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1979, с. 24-26.
2. Лукашин И.Ф., Подварчан Т.В., Системный подход к мониторингу поля радиоактивности природных сред., в кн. " Системы контроля окружающей среды ", МГИ НАН Украины, Севастополь, 2002 г., стр. 23 – 26.
3. Лукашин И.Ф., Воскресенская Л.В. Метод идентификации флуктуирующего излучателя естественного поля гамма-излучения природных сред в условиях слабой статистической обеспеченности измерений- Атомная энергия, 1987, т.62, вып. 6, с. 404 – 405.
4. Лукашин И.Ф. Оперативные методы статистического анализа флуктуаций поля гамма-излучения морских сред, в кн. " Системы контроля окружающей среды ", МГИ НАН Украины, Севастополь, 2002 г., стр. 29 – 32.
5. Лукашин И.Ф., Воскресенская Л.В. Оперативные возможности корреляционной спектрометрии. доклады АН УССР 89г, №6, с12-15
6. Лукашин И.Ф. Перекрестный контроль качества спектрометрической информации при быстрой корреляционной спектрометрии полей радиоактивности природных сред. Тезисы доклада на симпозиуме 1988г Обнинск.
7. И.Ф. Лукашин, Корреляционная спектрометрия гамма-поля природных сред, в сб. "Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа ", МГИ НАН Украины, Севастополь, 2001 г., стр. 140 – 150.