

## 5. СКРИНИНГ РАДИОАКТИВНЫХ ОБРАЗЦОВ

Количественная оценка  $\alpha$ -излучающих радионуклидов в природных образцах, радиоактивных отходах и биологических пробах требует проведения большого числа измерений суммарного  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения. Скрининг образцов на суммарную  $\alpha$ - и  $\beta$ -активность необходим также при решении некоторых спорных вопросов в судебном порядке.

Традиционно для определения суммарной  $\alpha/\beta$ -активности используются газопоточные пропорциональные счетчики. Однако, по сравнению с жидкостными сцинтилляционными счетчиками (ЖСС), газопоточные счетчики обладают рядом недостатков. Эффективность регистрации ими  $\alpha$ -излучения составляет 30%, по сравнению с 100% у ЖСС.  $\alpha$ -частицы и, в меньшей степени,  $\beta$ -частицы ослабляются солями и твердыми отложениями, образующимися при выпаривании образца на подложке. Так, 100 мг твердых отложений приводят к снижению эффективности регистрации  $\alpha$ -излучения с 30% до 10%. При измерении на ЖСС ослабление не является проблемой, так как образец полностью растворяется в сцинтилляционном коктейле. Системы с газопоточными счетчиками не обеспечивают разрешения по энергии. Определить содержание трития в воде при помощи газопоточного счетчика невозможно, так как образец предварительно необходимо выпарить до сухого осадка, при этом весь тритий улетучивается.

В жидкостном сцинтилляционном счетчике, разработанным компанией Packard Instrument, используется технология анализа спада импульса (АСИ). Система обеспечивает разделение  $\alpha$ - и  $\beta$ -событий в образце на основе длительности световых импульсов, образующихся в жидком сцинтилляторе. Для классификации импульсов на  $\alpha$ - или  $\beta$ -события технология АСИ использует специальный дискриминатор спада импульса, при этом зарегистрированные события сохраняются в многоканальных анализаторах (МКА).

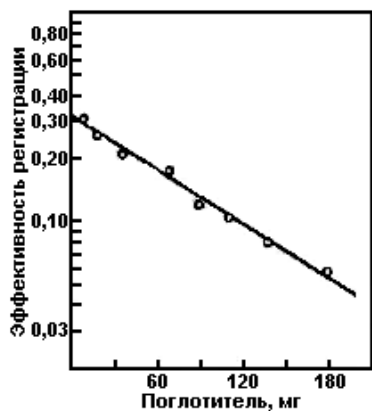
Жидкостные сцинтилляционные счетчики (ЖСС) с возможностью дискриминации  $\alpha/\beta$ -событий завоевывают все большую популярность при скрининге суммарной  $\alpha/\beta$ -активности. Наиболее привлекательными особенностями ЖСС являются их близкая к 100% эффективность регистрации  $\alpha$ -излучения; упрощенная процедура подготовки проб для большинства образцов, особенно жидкостей; низкий уровень фона (0.1 имп/мин в области  $\alpha$ -излучения с энергией 5 МэВ); определенная степень энергетического разрешения; возможность смены образцов.

Благодаря преимуществам применения ЖСС с анализом спада импульсов для дискриминации  $\alpha/\beta$ -событий, эта технология является идеальным решением для высокопроизводительного скрининга воды, воздушных фильтров и мазков. Технологию можно использовать для исследования почвы, а также для выполнения биоанализа мочи. ЖСС с АСИ является быстрой и простой альтернативой трудоемким  $\alpha$ -спектрометрическим методам в тех случаях, когда не требуется специфический изотопный анализ.

Проведём сравнение возможностей трех методов (ЖСС с АСИ, газопоточные счетчики и  $\alpha$ -спектрометрия) с точки зрения применения их для высокопроизводительного скрининга интегральной  $\alpha/\beta$ -активности образцов.

Для одновременного определения количественного содержания  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучающих радионуклидов в одном и том же образце применяются два метода: газопоточные пропорциональные счетчики и ЖСС с дискриминацией  $\alpha/\beta$ -импульсов. Химическое разделение и  $\alpha$ -спектрометрия высокого разрешения используются только в тех случаях, когда необходимо провести анализ по отдельным изотопам. Первые два метода находят свое применение при высокопроизводительном скрининге, когда требуется быстрый анализ образца и его количественная оценка. Альфа-спектрометрические методы широко применяются для определения присутствия  $\alpha$ -излучающих радиоизотопов в моче. Для  $\alpha$ -спектрометрических исследований требуется длительная процедура подготовки пробы, обеспечивающая разделение исследуемых  $\alpha$ -излучателей от побочных изотопов с близкой энергией  $\alpha$ -излучения, а также позволяющая удалить  $\beta$ -излучающие нуклиды. Поэтому  $\alpha$ -спектрометрия для высокопроизводительного скрининга образцов не применяется.

Подготовка пробы включает в себя выпаривание образца на подложке до сухого осадка, в котором концентрируются присутствующие твердые включения. Твердые образования, осажденные на планшете, в значительной степени ослабляют  $\alpha$ -излучение. В некоторых случаях, когда в образце присутствует большое количество материала в виде твердых частиц, требуется этап фильтрации. Присутствие твердого материала даже в миллиграммовых количествах существенно влияет на эффективность регистрации (ЭР)  $\alpha$ -излучения и, в меньшей степени,  $\beta$ -излучения. Кривая зависимости эффективности регистрации от количества примесей и соответствующее ей математическое выражение для  $\alpha$ -излучающего нуклида  $^{239}\text{Pu}$ , представлены на **Рис. 15**. После подготовки образца на подложке его помещают под детектор.



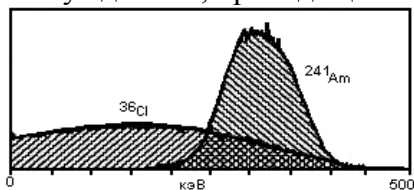
**Рис.15.** Кривая массового ослабления - зависимость эффективности регистрации от толщины слоя поглотителя (метка  $^{239}\text{Pu}$ , Э.Р.= $0,328 \cdot e^{-(0,01 \times \text{мг})}$ ).

Типовой газопроточный счетчик состоит из трубки с медным корпусом, обладающим высокой электропроводностью, анодного провода, тонкого майларового окна и входного и выходного газовых патрубков. Счетчик заполняется газом Р-10 (смесь аргона с метаном).  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы проникают в полость счетчика через окно и ионизируют газ. Из-за наличия разности потенциалов между анодом и катодом эта ионизация вызывает дальнейшую ионизацию (лавинная ионизация). Ионы, образованные в результате лавинной ионизации, собираются на аноде и формируют электрический импульс. Амплитуда импульса зависит от степени ионизации, вызванной  $\alpha$ - или  $\beta$ -

частицей. Фон, создаваемый космическим излучением, исключается за счет применения охранного детектора и схемы антисовпадений. Разделение  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучателей осуществляется по высоте импульсов. Это возможно благодаря тому, что амплитуда импульса, порожденного альфа-частицей, примерно в 40 раз больше амплитуды импульса от  $\beta$ -частицы. В современных системах импульсный сигнал усиливается, оцифровывается и направляется на многоканальный анализатор (МКА), в котором определены зоны исследования (ЗИ), предназначенные для подсчета  $\alpha$ - и  $\beta$ -событий. Для оптимизации разделения  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц в системе должно быть соответствующим образом выставлены величина высокого напряжения и коэффициент усиления. Количество ошибочно классифицированных частиц составляет 1-3%. Типовая эффективность регистрации - 30% для  $\alpha$ -излучения и 40% для  $\beta$ -излучения при уровне  $\alpha$ -фона 0.05-0.5 имп/мин. Газопроточные пропорциональные счетчики не обеспечивают никакого энергетического разрешения.

Второй метод одновременного количественного определения  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц в одном образце состоит в применении жидкостного сцинтилляционного счетчика с анализом спада импульса. Технология АСИ использует для разделения  $\alpha$ - и  $\beta$ -импульсов специальную электронику дискриминации времени спада импульса, принцип действия которой построен на различии времени, в течение которого спадают импульсы от разного типа частиц в жидком сцинтилляторе. Дискриминатор спада импульсов (ДСИ) оптимизирован для точного разделения импульсов от  $\alpha$ - и  $\beta$ - частиц. Зарегистрированные им импульсы от альфа и бета частиц подаются в отдельные МКА для сбора и анализа спектров. Необходимость применения электроники дискриминации  $\alpha$ -/ $\beta$ -импульсов обусловлена тем, что при измерении в жидком сцинтилляционном коктейле наблюдаемая энергия  $\alpha$ -частицы равна примерно 1/10 ее кинетической энергии. Таким образом,  $\alpha$ - частицы с энергией 5.00 МэВ регистрируются как симметричный пик с энергией около 500 кэВ. В случае, когда в образце присутствуют как  $\alpha$ -частицы, так и  $\beta$ -частицы с высокой энергией, различить их по энергии не представляется возможным. Эта ситуация проиллюстрирована на **Рис.16**, где изображены наложенные спектры  $^{36}\text{Cl}$  и  $^{241}\text{Am}$ . Хотя наблюдаемая энергия  $\alpha$ -частиц соответствует 1/10 их кинетической энергии, эффективность регистрации остается равной 100%, так как даже несмотря на гашение регистрируется каждое событие распада.

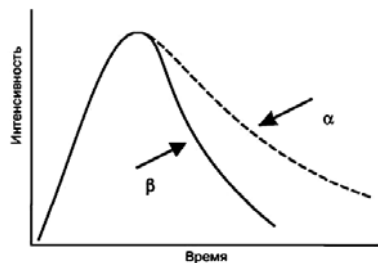
В силу этого световой импульс, образованный  $\alpha$ -частицей, рассеивается более продолжительное время, чем импульс от  $\beta$ -частицы. Технология АСИ обеспечивает возможность разделения  $\alpha$ - и  $\beta$ -событий, несмотря на близость их энергий при измерении на жидкостном сцинтилляционном счетчике. В основу данной технологии положен тот факт, что  $\alpha$ -частицы порождают в коктейле световые импульсы большей длительности, чем  $\beta$ -частицы. Большее количество света, порождаемое  $\alpha$ -частицами, объясняется возбуждением, приводящим к затягиванию начального  $\alpha$ -импульса.



**Рис.16.** Дисплей многоканального анализатора  $\alpha$ -/ $\beta$ -ЖСС -  $^{241}\text{Am}$  и  $^{36}\text{Cl}$ .

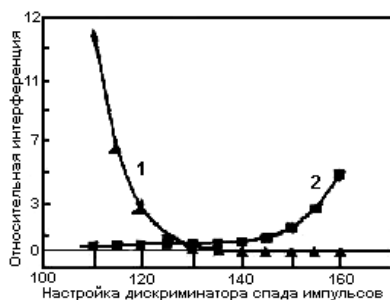
Разница в длительности  $\alpha$ - и  $\beta$ -импульсов продемонстрирована на **Рис.17**. Такая особенность спада импульсов позволяет оптимальным образом настроить дискриминатор  $\alpha$ -/ $\beta$ -событий. Для оптимальной настройки дискриминатора необходимы только чистый  $\alpha$ -излучающий и чистый  $\beta$ -излучающий стандартные образцы. Прибор автоматически формирует график относительной частоты попаданий  $\alpha$ -событий в  $\beta$ -МКА и  $\beta$ -событий в  $\alpha$ -МКА. Оптимальная величина настройки дискриминатора автоматически выбирается в точке пересечения полученных кривых. Типовой график относительной взаимной интерференции приведен на **Рис.18**. После определения оптимальной величины она заносится в библиотеку и может быть использована с любым протоколом измерения. При оптимальной настройке относительная величина ошибочной

классификации событий составляет не более 0.5% для типовых образцов. Как  $\alpha$ -, так и  $\beta$ -МКА обеспечивают определенное энергетическое.



**Рис. 17.** Характерная форма световых вспышек от альфа- и бета- частиц в жидкостном сцинтилляционном счётчике.

Третьим методом, применяемым для регистрации  $\alpha$ -излучения, является  $\alpha$ -спектрометрия. Этот метод обычно применяется для измерения отдельных актиноидов в природных образцах и биологических пробах, а также для непосредственного измерения фильтров. Регистрация излучения осуществляется полупроводниковым кремниевым детектором. Преимуществами  $\alpha$ -спектрометрии являются высокое энергетическое разрешение (15-30 кэВ) и низкий уровень фона (0.003-0.01 имп/мин). Недостатки же метода заключаются в относительно невысокой эффективности регистрации (порядка 25%), а также в необходимости выполнения при подготовке пробы достаточно трудоемкой процедуры химического разделения, а также осаждения образца. В основном процедура подготовки пробы построена на последовательных этапах жидкостной экстракции и ионнообменной хроматографии. Помимо этого в пробу необходимо вводить метку для определения химического выхода. Химическое разделение является ответственной процедурой, так как неверное разделение может явиться причиной некорректной идентификации. Неудачное осаждение приводит к ухудшению энергетического разрешения (смазывание). При этом идентификация отдельных изотопов становится затруднена, если вообще возможна. Осаждение образца (образец осаждается либо электролитическим методом, либо при помощи небольшого количества фторида какого-либо редкоземельного элемента) важно потому, что излишняя толщина осажденного слоя является причиной самопоглощения и приводит к некорректным результатам. Из-за необходимости выполнения трудоемкой процедуры подготовки пробы, включая химическое разделение и осаждение образца, для высокопроизводительного скрининга  $\alpha$ -спектрометрия не используется. Тем не менее, в дальнейшем сравнении этот метод рассматривается, так как широко применяется для измерения  $\alpha$ -излучения.



**Рис. 18.** Типовой график  $\alpha/\beta$  интерференции —  $^{241}\text{Am}$  и  $^{36}\text{Cl}$ : 1 — бета и альфа; 2 — альфа и бета.

Количественное сравнение различных методов измерения можно провести на основе показателя качества (ПК). ПК выражается как отношение квадрата эффективности регистрации ( $\epsilon^2$ ) к уровню фона (В).  $\epsilon^2$  представляет собой возведенную в квадрат относительную эффективность регистрации, а В - уровень фона в имп/мин. Для оценки чувствительности трех описанных методов в выражение для ПК вводится дополнительный коэффициент ослабления. Модифицированное выражение для показателя качества при этом приобретает вид  $(E^2/V) \cdot \text{Коэффициент ослабления (КО)}$ . Ослабление обуславливается самопоглощением в источнике и приводит к снижению эффективности регистрации.

Чувствительность методов можно сравнить, воспользовавшись показателем качества, модифицированным с учетом ослабления:

	$(E^2/V)(КО)$
Газопроточные	7350
Пропорциональные счетчики ЖСС с АСИ	36200
Альфа-спектрометрия	208333

Для вычисления ПУ для ЖСС с АСИ был взят уровень фона 1.0 имп/мин. ПК для газопроточных пропорциональных счетчиков и  $\alpha$ -спектрометрии вычислялся с уровнем фона 0.05 и 0.003 имп/мин соответственно. Видно, что для высокопроизводительного скрининга смешанных  $\alpha/\beta$  образцов метод ЖСС с АСИ обеспечивает достаточно высокую чувствительность. Хотя этот метод характеризуется меньшей величиной показателя качества, чем альфа-спектрометрия, для него не требуется такой трудоемкой процедуры подготовки пробы. В случае необходимости, первоначальный скрининг методом ЖСС может сопровождаться  $\alpha$ -спектрометрическими измерениями для образцов, обладающих  $\alpha$ -активностью.

Другим параметром для сравнения методов является минимальная детектируемая активность (МДА). Сравнение вычисленных величин МДА для времен измерения 30 и 100 минут и объема образца 10 мл приведено на **Рис.19**. При вычислении МДА использовался следующий уровень фона: ЖСС - 0.25 имп/мин; газопроточный счетчик - 0.05 имп/мин;  $\alpha$ -спектрометрия - 0.003 имп/мин. Величина ослабления и эффективность регистрации взяты из **Табл.1**. Приведенные данные свидетельствуют о том, что при

одинаковом объеме образца метод ЖСС обеспечивает минимально детектируемую активность, сравнимую с  $\alpha$ -спектрометрией и существенно меньшую, чем для газопоточных счетчиков.

Наиболее важным фактором, определяющим производительность скрининговых исследований, является время, необходимое для подготовки проб, их измерения и достижения требуемой МДА. Скрининговые измерения суммарной  $\alpha$ -/ $\beta$ -активности охватывают исследования различных типов образцов, включая фильтры (мониторинг воздуха или исследование мазков), воду, твердые материалы и пробы мочи. Процесс подготовки пробы для газовых пропорциональных счетчиков требует концентрирования, выпаривания и растворения в кислоте для образцов жидкости. Твердые образцы готовятся путем влажного или сухого озоления. Наиболее трудоемкой является процедура подготовки пробы для  $\alpha$ -спектрометрии, так как в этом случае необходимо выполнить химическое разделение и/или хроматографию, а также нанести образец в виде тонкой пленки на подложку. Так готовят пробы мочи. Для проведения скрининговых исследований данный метод непригоден.

С точки зрения подготовки пробы метод ЖСС требует минимальное время и минимальное количество операций. Основным требованием любой методики подготовки пробы для ЖСС является гомогенность (растворимость) образца и возможность смешивания его со сцинтилляционным коктейлем. Жидкие образцы можно добавлять непосредственно в коктейль. При подготовке проб твердых материалов применяется озоление, элюция или растворение. Даже в случае необходимости применения озоления или растворения процедура подготовки пробы сокращена, так как после растворения образца его обычно добавляют непосредственно в коктейль. Большинство процедур подготовки пробы для ЖСС занимают менее шести часов, и, таким образом, общее время, затрачиваемое на образец, не превышает 24 часа. Помимо этого,  $\alpha$ -/ $\beta$ -ЖСС обеспечивают автоматическое измерение 408 больших (20 мл) или 720 малых (4 или 7 мл) флаконов. Быстрые и простые процедуры подготовки пробы для ЖСС стандартизованы. Методики подготовки проб для газопоточных счетчиков или  $\alpha$ -спектрометрии адаптируются для ЖСС и упрощаются. Благодаря высокой эффективности регистрации метод ЖСС обеспечивает чувствительность при измерении образца объемом 1 литр близкую к  $\alpha$ -спектрометрическому методу.

Табл. 1.

	Альфа фон (имп/мин)	Альфа эффективность регистрации	Ослабление
Газопоточные пропорциональные счетчики	0,05 – 0,5	35%	0,30
ЖСС (с АСИ)	0,1 – 1,0	95%	Нет
Альфа-спектрометрия	0,003 - 0,01	25%	Нет (при соответствующей подготовке пробы)

$$МДА = [2.71 + (4.65 * B^{1/2})] / (2.22 * T * \epsilon * КО * V * Y) \quad (40)$$

где:  $B$  = суммарное количество импульсов для соответствующего неактивного регента;  $T$  = время измерения в минутах;  $\epsilon$  = эффективность регистрации;  $КО$  = коэффициент ослабления (если применимо);  $V$  = объем образца (если применимо) в литрах;  $Y$  = химический выход (если применимо). Вычисленная по данной формуле величина выражена в пКи/л.

Особая значимость выполнения требований по МДА объясняется тем, что на основе этого параметра принимается решение о необходимости дальнейшей обработки образца. Если суммарная  $\alpha$ -активность не превышает 15 пКи/л (исключая радон и уран), или суммарная  $\beta$ -активность не превышает 50 пКи/л, то большинство образцов не требуют дальнейших исследований, так как соответствуют требованиям нормативных документов. Таких величин минимально детектируемой активности легко достичь с помощью метода ЖСС с АСИ. Например, при измерении неконцентрированного водного образца объемом 10 мл в течение 60 минут достигается МДА по  $\alpha$ -излучению 16.4 пКи/л (эффективность регистрации 95%, оптимизированный фон 0.25 имп/мин, надежность 95.5%). Для получения той же МДА на газопоточном счетчике время измерения составит примерно 400 минут (эффективность регистрации 35%, коэффициент ослабления 0.5, уровень фона 0.05 имп/мин). Разница между двумя методами может быть даже больше, так как использованная оценка коэффициента ослабления занижена.

	пКи/л (Бк/л) 30 минут	пКи/л (Бк/л) 100 минут
Газопоточные пропорциональные счетчики	120.2 (4.4)	56.2 (2.1)
ЖСС (с АСИ)	24.4 (0.9)	12.3 (0.5)
Альфа-спектрометрия	24.7 (0.9)	9.5 (0.4)

Рис.19. Вычисление минимально детектируемой активности

(альфа)

Время, необходимое для достижения требуемой МДА, является важным параметром для исследований мочи, Метод ЖСС с АСИ позволяет достичь сравнимых величин МДА для аналогично подготовленных проб и обеспечивает принятие решения о проведении дальнейших исследований методами  $\alpha$ -спектрометрии высокого разрешения.

В **Табл. 2** приведено сравнение трех рассмотренных методов по нескольким параметрам.

Метод ЖСС позволяет измерять образцы объемом до 10 мл непосредственно или после обработки при помощи химического разделения, концентрирования или осаждения. Независимо от методики подготовки пробы метод ЖСС с АСИ обеспечивает высокую чувствительность анализа благодаря близкой к 100% эффективности регистрации и низкому уровню фона альфа-МКА ( $< 1.0$  имп/мин для всего МКА).

Функция смены образцов, реализованная в  $\alpha/\beta$ -ЖСС Packard Tri-Carb TR/AB, позволяет измерять 720 проб объемом 7 мл или 408 проб объемом 20 мл без участия оператора. Некоторые модели газопоточных пропорциональных счетчиков оборудованы устройствами смены образцов емкостью до 240 образцов.  $\alpha$ -спектрометрические методы позволяют измерять только один образец без возможности подключения устройства смены образцов. Поэтому метод ЖСС обеспечивает автоматические измерения образцов без участия оператора. ЖСС семейства Packard Tri-Carb TR/AB позволяют автоматически измерять самые разнообразные образцы, используя для каждого из них собственный протокол измерения. Например, в протоколах можно описать условия измерения, необходимые для исследования различных образцов, включая образцы воды, воздуха, мочи или почвы.

**Табл. 2.**

	Жидкосцинтиляц. счётчики	Пропорциональные счётчики	Альфа спектрометрия
Мин. Детект. Актив. (пКи/л) (параметры взяты из Рис.6; время измерения -100 минут)	12,3	56,2	9,5
Количество образцов	408-720	$\leq 240$	1 на детектор
Автоматический выбор протокола	Да	Нет	Нет
Количественное определение трития	Да	Нет	Нет
Дискриминация по энергии	Да	Нет	Да (альфа)
Ошибочная классификация (%)	$\leq 0,5$ (оптимальные условия)	1-3	Разделены

Суммарную  $\alpha/\beta$  активность измеряют по разным причинам. В зависимости от типа образца измерение суммарной  $\alpha/\beta$ -активности дает информацию, достаточную для принятия решения об его дальнейшем исследовании. Скрининг является средством быстрого определения соответствия образцов требованиям различных нормативных документов. При мониторинге рабочей среды высокая производительность позволяет быстрее получить ответы на возникающие вопросы и, в случае необходимости, быстрее принять соответствующие меры.

Другим преимуществом метода ЖСС является возможность количественного определения трития, особенно в воде и образцов, получаемых при поверхностном мониторинге.  $\alpha$ -спектрометрические методы не позволяют определить количественное содержание трития. Газопоточные пропорциональные счетчики позволяют количественно измерять тритий только при снятом входном окне. И даже в этом случае эффективность регистрации остается крайне низкой. Помимо этого необходимо учитывать загрязнение детектора. ЖСС с АСИ позволяет измерять тритий в мазках и воде, одновременно определяя  $\alpha$ -активность. По существу, в низкофоновом режиме при непосредственном добавлении образца в коктейль, возможно получить МДА по тритию, меньшую 10 Т.У./л (71.9 расп/мин/л).

$\alpha$ -спектрометрия обеспечивает разрешение по  $\alpha$ -излучению 15-30 кэВ, но не позволяет разделить  $\alpha$ - и  $\beta$ -события. Газовые пропорциональные счетчики разделяют  $\alpha$ - и  $\beta$ - излучения, однако не обладают разрешающей способностью по энергии. ЖСС/АСИ обеспечивают как дискриминацию  $\alpha/\beta$ -частиц, так и определение энергии  $\alpha/\beta$ -излучения. Энергетическое разрешение по  $\alpha$ -излучению составляет 400-500 кэВ (ПШПВ), а энергетическое разрешение по  $\beta$ -излучению не отличается от обычных ЖСС.

Важным параметром при скрининговых исследованиях  $\alpha/\beta$ -образцов является количество неверно классифицированных  $\alpha$ - или  $\beta$ -событий. В  $\alpha$ -спектрометрии используется методика физического разделения  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучающих радионуклидов. Газовые пропорциональные счетчики способны различать  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы с вероятностью попадания  $\alpha$ -события в  $\beta$ -канал 3% и  $\beta$ -события в  $\alpha$ -канал - 1%. При оптимальных условиях метод ЖСС/АСИ позволяет обеспечить уровень взаимной интерференции 0.5%. Это может оказаться существенным в том случае, когда велика частота попаданий  $\beta$ -событий в  $\alpha$ -канал. При прямом добавлении в коктейль метод позволяет исследовать на  $\alpha$ -активность образцы,  $\beta$ -активность которых в 200 раз превышает  $\alpha$ -активность. Точное определение  $\alpha$ -активности при 10000-кратном превышении  $\beta$ -активности возможно с применением экстракционных сцинтилляторов.

Методы измерения  $\alpha$ -излучения, позволяющие определить  $\alpha$ -активность, пригодны для определения суммарной  $\alpha$ -активности, измерения  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  и урана.  $\alpha$ -активность измеряется после соответствующей подготовки пробы одним из нескольких типов детекторов в сочетании с соответствующими электронными компонентами. В системах для измерения  $\alpha$ -излучения используются газопоточные пропорциональные счетчики, ячеистые сцинтилляционные системы и жидкостные сцинтилляционные счетчики совместно с такими электронными компонентами, как источник высокого напряжения, предусилитель, усилитель, счетные и записывающие устройства. Для измерения урана дополнительно предлагается методика, использующая флуорометрию и  $\alpha$ -спектрофотометрию. Используется также непосредственное измерение  $\alpha$ -излучателей в малых объемах при помощи жидкостных сцинтилляционных счетчиков. Жидкий сцинтиллятор или органический фосфор смешивается в соответствующем минеральном масле или сцинтилляционном коктейле на органической основе с образцом воды. Благодаря смешиванию обеспечивается равномерное распределение перед измерением. При этом устраняется этап подготовки пробы на подложке или на диске, обычно предшествующий измерению при использовании сцинтилляционных методов.

Из сравнения в **Табл.2** видно, что метод ЖСС обладает крайне высокой чувствительностью при измерении  $\alpha$ -излучения в сочетании с энергетическим разрешением. Возможность автоматического выбора протокола измерения позволяет обследовать большое количество образцов (408-720) в автоматическом режиме. Благодаря всем этим преимуществам жидкостные сцинтилляционные счетчики со схемой анализа спада импульса становятся наиболее предпочтительным методом для скрининговых измерений суммарного  $\alpha/\beta$ -излучения.

В настоящее время жидкосцинтилляционная спектрометрия используется как самостоятельный метод оценки радиационных характеристик различных проб. Данный метод сочетает возможности распознавания отдельных компонентов радионуклидного состава пробы по аналитическому сигналу и расчета их количественных характеристик и дает ряд преимуществ по сравнению со стандартными подходами. В соответствии с федеральными нормативными документами, для решения большинства прикладных задач необходимо иметь методическую базу, позволяющую оперативно анализировать радионуклидный состав водных объектов или жидких технологических сред при содержании компонентов на уровне 0.1 - 100 Бк/л, для твердых образцов эти уровни соответствуют 100 -  $1 \cdot 10^5$  Бк/кг. Внедрение нового алгоритма расшифровки непрерывных спектров позволило с помощью метода жидкосцинтилляционной спектрометрии получать значения активностей радионуклидов непосредственно после измерений (также как в гамма-спектрометрии) или, по крайней мере, надежно определять превышение каких-либо контрольных уровней на определенные радионуклиды, что зачастую является главной задачей радиационного мониторинга.

Жидкосцинтилляционная спектрометрия - оптимальный метод проведения массовых скрининговых исследований, как с точки зрения производительности, так и определения радиационных параметров объектов.