

# Проблемы жидкосцинтилляционной спектрометрии в современных условиях. Сцинтилляционный коктейль

Приведены основные проблемы жидкосцинтилляционной спектрометрии в нынешних условиях. Проанализирована возможность работы на ЖС радиометрах при использовании сцинтилляционных коктейлей, созданных на базе доступных в России реагентов. Показаны сравнительные результаты тестирования модельных радионуклидных смесей в фирменных (ULTIMA GOLD AB, INSTA-FLUOR) сцинтилляционных коктейлях и приготовленных в лабораторных условиях на основе ароматического растворителя толуола (ксилола).

**Ключевые слова:** жидкосцинтилляционная спектрометрия, сцинтилляционный коктейль, экстракционная технология, радионуклидный анализ, счетный образец.

**Ю.Н.Гончар, Н.О.Гудыменко,  
И.А.Каширин, В.А.Гудыменко,  
С.В.Малиновский**

ООО Главный контрольно-испытательный центр  
питьевой воды (ООО «ГИЦ ПВ»), г. Москва

**Ж**идкосцинтилляционная спектрометрия (ЖСС) в сочетании с современными методами разделения и концентрирования радионуклидов обладает рядом преимуществ, основными из которых являются высокая эффективность регистрации практически всех видов излучения и быстрота приготовления счетных образцов при минимальной трудоемкости аналитического процесса. Поэтому этот метод определения радиоактивности в последние десятилетия входит в число наиболее востребованных практически во всех отраслях, использующих радиоизотопы. Разработанный ранее инновационный методический подход [1-10] позволил значительно расширить возможности коммерчески доступных жидкосцинтилляционных радиометров, в большинстве случаев превратив

их в полноценные спектрометры, способные определять радионуклидный состав измеряемых проб. В настоящее время разработано специализированное программное обеспечение (СПО) «SpectraDec/LiquidMaster», реализующее этот подход, используется на многих предприятиях России, в том числе практически на всех атомных станциях и многих других специализированных предприятиях, занимающихся радионуклидным анализом и использующих в своей деятельности радиоизотопы (ФГУП «РАДОН», ООО «ГИЦ ПВ», АО «ВНИИ-АЭС», ФГУП «ПО «МАЯК», АО «ИРМ», «ГХК», АО «СХК», НИЦ БТС, подразделения НИЦ «Курчатовский институт», ФМБА, Центры гигиены и эпидемиологии и т. д.).

Однако в последнее время в связи со сложившейся ситуацией и введенными санкционными ограничениями, в области ЖС спектрометрии возникли ощутимые проблемы, которые достаточно подробно описаны в работе [11]. Это, прежде всего, невозможность приобретения новых зарубежных ЖС приборов, а также расходных материалов, без которых ЖС спектрометрия неосуществима. С флаконами для ЖС измерений задача в настоящее время более-менее решается, со сцинтилляционными же коктейлями дела обстоят крайне плохо.

Необходимо отметить, что применяемое в России СПО «SpectraDec/LiquidMaster» для расшифровки ЖС спектров базируется на калибровочных спектрах счетных образцов, приготовленных из смеси образцовых растворов радионуклида и сцинтилляционного коктейля UltimaGold AB (или OptiPhase HiSafe) на основе растворителя ди-изопропилнафталина. Эти коктейли сейчас можно приобрести по параллельному импорту по ценам, которые в 4–5 раз превышают досанкци-

онные, да и сроки поставки могут достигать многих месяцев. При этом сама возможность поставки может исчезнуть в любой момент.

Настоящая работа посвящена тестированию возможности приготовления сцинтилляционных коктейлей на основе доступных реагентов, способных если не заменить фирменные коктейли, то хотя бы приблизиться к их характеристикам и обеспечить работоспособность откалиброванных на этих коктейлях приборов.

### **Приготовление сцинтилляционного коктейля в лабораторных условиях из доступных реагентов**

Применяемые в настоящее время в России сцинтилляционные коктейли на основе растворителя ди-изопропилнафталина (Ultima Gold AB, OptiPhase HiSafe III) по своим свойствам являются оптимальными для спектрометрических измерений. Они хорошо смешиваются с водой (в идеальном случае 1:1) и минеральными кислотами, сохраняя удовлетворительный уровень гашения<sup>1</sup> счетного образца, обеспечивают наилучшее разделение альфа- и бета-излучений, приемлемое разрешение альфа-пииков и считаются биodeградируемыми, более безопасными для здоровья.

В настоящее время приобретение этих сцинтилляционных коктейлей достаточно проблематично, в равной степени как и растворителя ди-изопропилнафталина для их приготовления.

Авторами предпринята попытка создания в лабораторных условиях сцинтилляционного коктейля на основе доступных реагентов («лабораторный» коктейль), который смог бы если не заменить фирменные коктейли, то хотя бы обеспечить приемлемую работоспособность имеющегося ЖС оборудования в комплексе с СПО «SpectraDec/LiquidMaster».

<sup>1</sup> Гашение (тушение, quenching) – энергетические потери, происходящие в процессе преобразования энергии распада в электрические импульсы ФЭУ, приводящие к деформации измеряемого спектра.

В качестве основного компонента коктейля взят ароматический растворитель толуол. К сожалению, он не смешивается с водой. Проблема решается добавлением к толуолу эмульгатора (солюбилизатора), обеспечивающего совместимость создаваемого коктейля с водой. Этим солюбилизатором является Тритон X-100 (октилфенолдекаэтилен-гликолевый эфир  $C_{34}H_{62}O_{11}$ ). Также в состав коктейля необходимо ввести сцинтилляторы, которые и обеспечат фотовспышки при взаимодействии с радиоактивным излучением. В нашем случае это первичный сцинтиллятор 2,5-дифенилоксазол (ППО) с максимумом флюоресценции в области 375 нм и вторичный сцинтиллятор [1,4-бис-[2-(5фенилоксазолил)]-бензол (ПОПОП) с максимумом флюоресценции в области 415 нм, которая является оптимальной для чувствительности современных ФЭУ.

Коктейли готовили с постоянным содержанием ППО (0,4%) и ПОПОП (0,02%) и переменной концентрацией Тритона X-100.

Необходимо отметить, что смешение всех перечисленных компонентов при комнатной температуре ( $\approx 22-25^\circ\text{C}$ ) в конечном итоге не приводит к подходящей совместимости с водой (не более 200 мкл водной пробы), несмотря на наличие даже достаточно высоких (до 30%) концентраций эмульгатора.

**Для того, чтобыготавливаемый коктейль совмещался с водными пробами, необходимо нагреть как толуол, так и Тритон X-100**

**в отдельной посуде до температуры порядка  $45^\circ\text{C}$ , и только после этого их смешивать. Далее охладить до комнатной температуры и добавить сцинтилляторы. Перед подготовкой счетных образцов (СОБР) с водными (кислотными) пробами коктейль желательно выдержать 2–3 часа при температуре измерений.**

Нами был приготовлен ряд сцинтилляционных коктейлей с возрастающей концентрацией Тритона X-100. В табл.1 приведены полученные начальные характеристики фоновых СОБР с 10 мл коктейлей, измеренных на ЖС «Tri-Carb 4810» в течение 30 мин.

#### **Тестирование «лабораторных» сцинтилляционных коктейлей на совместимость с водными пробами и минеральными кислотами**

Для выяснения границ совместимости с водными и кислотными пробами проведены эксперименты по внесению в одинаковые объемы (10 мл) коктейлей с возрастающими количествами эмульгатора. В каждый из флаконов вносили увеличивающиеся объемы воды и кислоты с визуальным контролем качества счетного образца. Для лучшей визуализации опыты проводились в стеклянных 20 мл флаконах для ЖС измерений. Также получены соответствующие зависимости значения параметра гашения ( $tSIE$ ), получаемого СОБР от объема вносимых растворов. В табл. 2 и 3

**Табл.1.** Свойства фоновых счетных образцов, приготовленных на основе ароматического растворителя толуола с постоянным содержанием первичного (ППО) и вторичного (ПОПОП) сцинтилляторов и переменной концентрацией Тритона X-100 (в сравнении с коктейлем Ultima Gold AB).

№ п/п	Содержание Тритон X-100, %	Значение гашения ( $tSIE$ )	Скорость счета (СРМ)	Значение люминесценции (Бк)
1	20	654	32	$\approx 0,03$
2	31	563	33	$\approx 0,03$
3	39	502	33	$\approx 0,03$
4	50	421	35	$\leq 0,1$
5	60	356	36	$\leq 0,1$
Ultima Gold AB («PerkinElmer»)		687	33	$\approx 0,03$

представлены полученные значения для проб воды и 1М HNO<sub>3</sub>, соответственно. В качестве «эталоны сравнения» был выбран фирменный коктейль Ultima Gold AB.

Представленные данные свидетельствуют о том, что по параметру гашения к фирменному коктейлю Ultima Gold AB наиболее близок приготовленный «лабораторный» коктейль №1 (содержание тритона 20%). Однако не менее важна совместимость коктейля с водными (кислотными) пробами. Ниже приводятся эти данные (табл. 2 и 3).

Показано, что с точки зрения совместимости с водными (кислотными) пробами из приготовленных «лабораторных» смесей наиболее приемлемы коктейли с содержанием тритона X-100 31% и 39%, которые смешиваются с 3–5 мл водной пробы, сохраняя при этом удовлетвори-

тельную гомогенность, прозрачность и уровень гашения счетного образца.

«Лабораторные» коктейли с высокой концентрацией тритона (50%, 60%) изначально лучше смешиваются с большими объемами водных проб, но имеют при этом плохие характеристики по гашению, со временем могут загустевать, образуя мягкие гели, что препятствует равномерному распределению радиоактивности по объему счетного флакона при перемешивании. Для небольших объемов (до 3–5 мл) пробы они также удовлетворительно применимы.

Кроме того, были проведены подобные эксперименты по совместимости с водными растворами и растворами 1М HNO<sub>3</sub> «лабораторных» коктейлей, в которых ароматический растворитель толуол был заменен на ксилол. Полученные результаты «ксилольных» коктейлей

**Табл.2.** Свойства СОБР (параметр гашения tSIE, прозрачность, гомогенность) с различным содержанием Тритона X-100, приготовленных с добавлением возрастающего количества H<sub>2</sub>O.

Содержание Тритона X-100, %	+1 мл H <sub>2</sub> O		**+2 мл H <sub>2</sub> O		+3 мл H <sub>2</sub> O		+4 мл H <sub>2</sub> O		+5 мл H <sub>2</sub> O		+7 мл H <sub>2</sub> O	
	*Прозрачность	tSIE	Прозрачность	tSIE	Прозрачность	tSIE	Прозрачность	tSIE	Прозрачность	tSIE	Прозрачность	tSIE
20	++-	519	+++	483	---	470	Исключен					
31	+++	420	+++	374	++-	346	+++	327	Исключен			
39	+++	370	+++	319	+++	287	++-	271	+++	251	+++	221
50	+++	310	+++	269	+++	236	++-	218	+++	201	+++	168
60	+++	265	+++	231	+++	205	++-	189	+++	172	+++ (гель)	142
Ultima Gold AB	+++	529	+++	482	+++	447	+++	419	+++	398	+++	357

Примечания.  
 \* +++ прозрачный гомогенный раствор; ++- - слабое помутнение раствора, опалесценция; +++ - значительное помутнение раствора; --- - сильное помутнение раствора (молоко).  
 \*\* Для приготовления СОБР из водно-толуольных смесей желательно не использовать объемы водных проб от 1 до 2 мл во избежание возможного расслоения счетного образца.

**Табл.3.** Свойства СОБР с различным содержанием Тритона X-100, приготовленных с добавлением возрастающего количества 1 М HNO<sub>3</sub> (параметр гашения tSIE, прозрачность, гомогенность).

Содержание Тритона X-100, %	+1 мл 1 М HNO <sub>3</sub>		+2 мл 1 М HNO <sub>3</sub>		+3 мл 1 М HNO <sub>3</sub>	
	Прозрачность	tSIE	Прозрачность	tSIE	Прозрачность	tSIE
20	++-	388	+++	328	---	304
31	+++	275	++-	219	+++	193
39	+++	224	+++	158	+++	140
50	+++	184	+++	120	+++ вязкий	93
60	+++	150	+++	95	+++ вязкий	69
Ultima Gold AB	+++	423	+++	376	+++	346

практически не отличались от «толуольных» (данные не приводятся).

### Тестирование «лабораторных» сцинтилляционных коктейлей на модельных радионуклидных смесях

Ранее было отмечено, что СПО «Spectra Dec/LiquidMaster», установленное на ЖС оборудовании предприятий России, базируется на аналитической базе, построенной, главным образом, с использованием фирменного сцинтилляционного коктейля Ultima Gold AB. В связи с этим необходимо выяснить, можно ли приготовленный «лабораторный» сцинтилляционный коктейль в случае необходимости заменить на фирменный. Для этого из образцовых радионуклидных растворов с известной активностью были приготовлены модельные смеси в «лабораторных» коктейлях и в Ultima Gold AB. Смеси измеряли на ЖСС «Tri-Carb 4810», полученные спектры обрабатывали с помощью СПО «SpectraDec». Результаты тестирования представлены в табл.4.

На рис.1–5 представлены полученные на ЖСС «Tri-Carb 4810» спектры модельных радионуклидных смесей в коктейлях различного состава и их расшифровка с помощью СПО «SpectraDec».

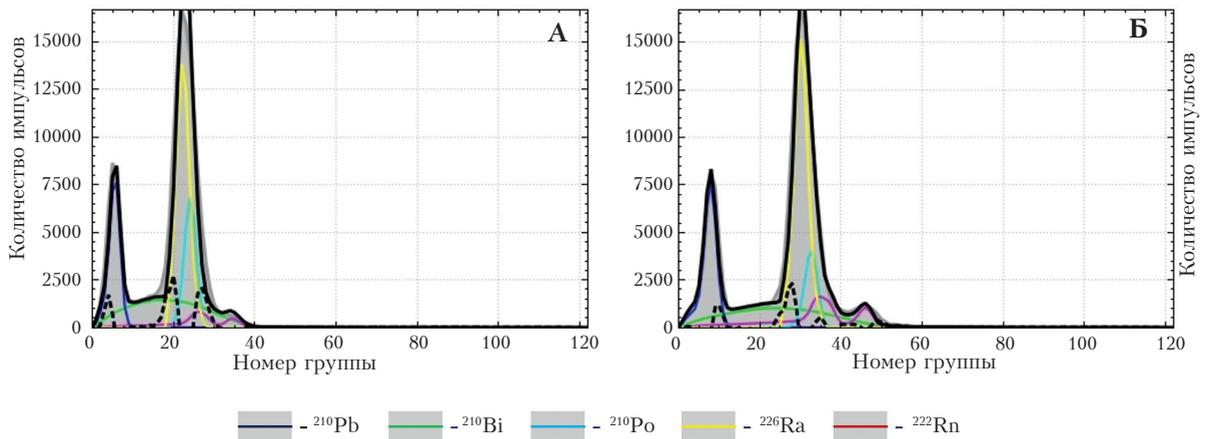
Как видно из приведенных данных, представленных в табл.4 и на рис.1–5, СПО «SpectraDec/LiquidMaster» позволяет достаточно корректно обрабатывать спектры модельных радионуклидных смесей, приготовленных на основе «лабораторных» сцинтилляционных коктейлей, измеренные на приборах, откалиброванных на фирменных коктейлях.

### Сцинтилляционные коктейли для экстракционной технологии извлечения радионуклидов, приготовленные в «лабораторных» условиях

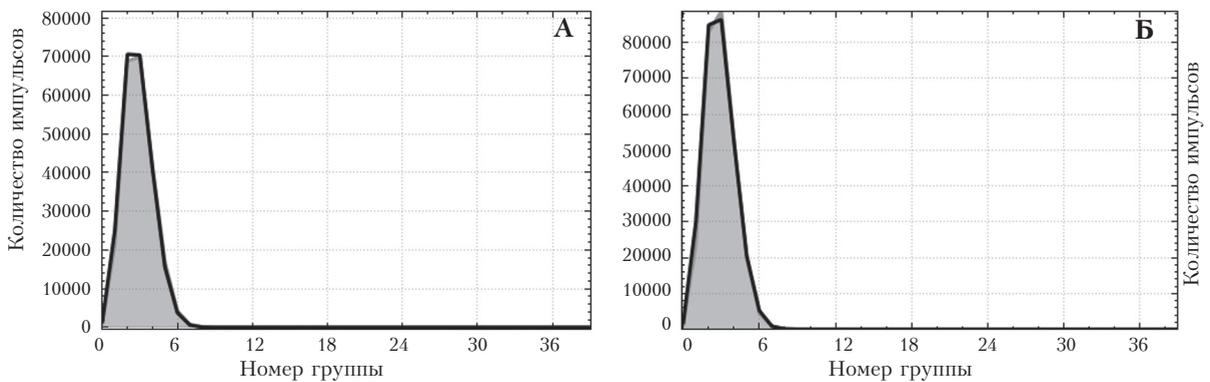
Несмотря на уникальные возможности жидкосцинтилляционного метода определения радиоактивности, ему присущ один существенный недостаток – низкое разрешение  $\alpha$ -пиков

**Табл.4.** Результаты тестирования модельных радионуклидных смесей, измеренных в приготовленных «лабораторных» и фирменном Ultima Gold AB коктейлях.

СОБР	Состав коктейля	Состав смеси	Найденная активность, Бк	Известная активность, Бк
1	Толуол+тритон 50% + 7 мл H <sub>2</sub> O	<sup>210</sup> Pb <sup>210</sup> Bi <sup>210</sup> Po <sup>226</sup> Ra	9,4±1,1 9,0±1,0 6,0±0,9 17,0±2,0	9,0±0,5 9,0±0,5 6,0±0,3 17,0±1,0
2	Ultima Gold AB + + 3 мл 1М HNO <sub>3</sub>	<sup>210</sup> Pb <sup>210</sup> Bi <sup>210</sup> Po <sup>226</sup> Ra	9,5±1,0 9,0±1,0 5,8±0,8 17,0±1,8	9,0±0,5 9,0±0,5 6,0±0,3 17,0±1,0
3	Толуол+тритон 31% + 4 мл H <sub>2</sub> O	<sup>3</sup> H	215±37	240±20
4	Ultima Gold AB% + + 7 мл H <sub>2</sub> O	<sup>3</sup> H	255±33	240±20
5	Толуол+тритон 39% + + 3 мл H <sub>2</sub> O	<sup>3</sup> H <sup>14</sup> C <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y <sup>241</sup> Am	170±25 220±20 72±7 11±1	185±15 210±10 70±2 12,0±0,4
6	Толуол+тритон 39%	<sup>125</sup> I <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y <sup>241</sup> Am	31±4 44±5 6±1	30,0±0,3 45,0±1,4 6,0±0,2
7	Ксилол+тритон 39% + + 4 мл H <sub>2</sub> O	<sup>3</sup> H <sup>241</sup> Am	153±20 7,5±0,8	160±14 7,0±0,2



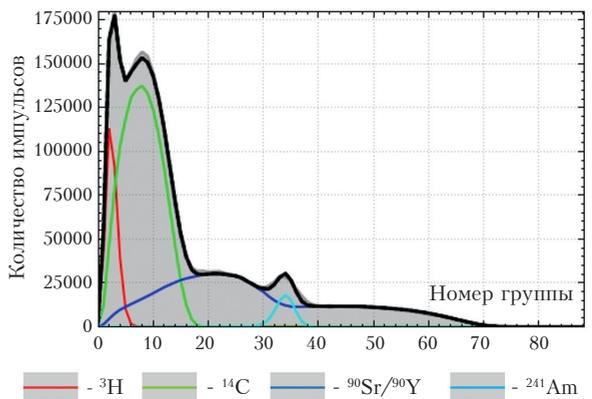
**Рис.1.** Расшифровка спектров  $^{226}\text{Ra}$  + ДПП, полученных на ЖСС «Tri-Carb 4810» в «лабораторном» коктейле: толуол + тритон 50% + 7 мл  $\text{H}_2\text{O}$  (А) и фирменном Ultima Gold AB + 3 мл 1М  $\text{HNO}_3$  (Б) (СОБР 1 и 2 таблицы 4, соответственно).



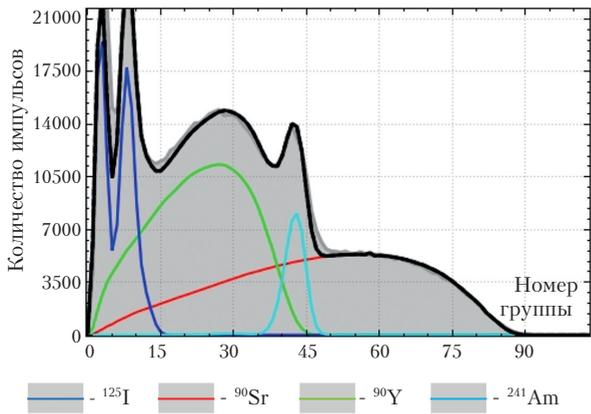
**Рис.2.** Расшифровка спектров трития, полученных на ЖСС «Tri-Carb 4810» в «лабораторном» коктейле: толуол + тритон 31% + 4 мл  $\text{H}_2\text{O}$  (А) и фирменном Ultima Gold AB + 7 мл  $\text{H}_2\text{O}$  (СОБР 3 и 4 таблицы 4, соответственно).

по сравнению с традиционной полупроводниковой  $\alpha$ -спектрометрией, что вызывает значительные затруднения при качественном и количественном определении  $\alpha$ -излучающих радионуклидов с близкими энергиями.

В настоящее время известно несколько способов улучшения разрешения сцинтилляционных  $\alpha$ -пиков, но для стандартного ЖС оборудования единственно приемлемым методом является получение счетного образца с минимальным гашением. Процесс получения такого счетного образца предполагает применение жидкостной экстракционной технологии с использованием либо фирменных коммерческих экстрактивных



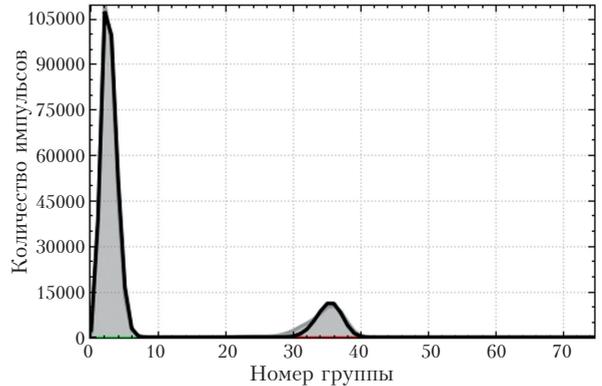
**Рис.3.** Расшифровка спектра модельной радионуклидной смеси  $^3\text{H}+^{14}\text{C}+^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}+^{241}\text{Am}$ , полученного на ЖСС «Tri-Carb 4810» в «лабораторном» коктейле: толуол + тритон 39% + 3 мл  $\text{H}_2\text{O}$  (СОБР 5 таблицы 4, соответственно).



**Рис. 4.** Расшифровка спектра модельной радионуклидной смеси  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}+^{125}\text{I}+^{241}\text{Am}$ , полученного на ЖСС «Tri-Carb 4810» в «лабораторном» коктейле: толуол + тритон 39% (СОБР 6 таблицы 4, соответственно).

сцинтилляторов, либо приготовленных из соответствующих реагентов в лабораторных условиях, что позволяет селективно извлекать определяемые радионуклиды в объем сцинтиллятора с одновременным получением счетного образца. Экстракционная технология не только убыстряет и облегчает процесс концентрирования  $\alpha$ -излучающих радионуклидов из сложных смесей, но и способствует значительному уменьшению гашения счетного образца, вследствие чего существенно улучшается разрешение сцинтилляционных  $\alpha$ -пиков. Это позволяет применять подход расшифровки сложных спектров к анализу сложных смесей радионуклидов с близкими энергиями излучения, базирующийся на СПО «SpectraDec/LiquidMaster».

Ранее были коммерчески доступны готовые к применению экстрактивные сцинтилляторы фирмы «ETRAC» (OAK RIDGE, USA) такие как «ALPHAEX», «URAEX», «THOREX», «POLEX», «RADAEX», в состав которых входят ароматические растворители, жидкие органические экстрагенты и сцинтилляторы. Эти экстрактивные сцинтилляторы позволяли селективно выделять из соответствующих сред изотопы урана, тория, плутония, полония, радия. В настоящее время они не доступны.



**Рис. 5.** Расшифровка спектра модельной радионуклидной смеси  $^3\text{H}+^{241}\text{Am}$ , полученного на ЖСС «Tri-Carb 4810» в «лабораторном» коктейле: ксилитол+тритон 39% + 4 мл  $\text{H}_2\text{O}$  (СОБР 7 таблицы 4, соответственно).

В данный момент в ГИЦ ПВ ведутся работы по разработке «лабораторных» аналогов вышеперечисленных реагентов. Направления проводимых работ:

1) Приготовление аналога «ALPHAEX» с применением толуола, сцинтилляторов ППО и ПОПОП и Ди-(2-этилгексил) фосфорной кислоты (ДЭГФК) в качестве экстрагирующей молекулы. Этот коктейль является великолепным экстрагирующим коктейлем для извлечения актинидов U, Th, Pu, Am и Cm из соответствующих кислых растворов. Обычно экстракцию U, Th, Pu проводят из 0,5–1 М растворов  $\text{HNO}_3$ , а трехвалентных изотопов Am, Cm из разбавленных растворов  $\text{HNO}_3$  (0,005–0,01 М).

2) Имитация «URAEX» вышеописанным набором реагентов, где в качестве экстрагента использован три-н-октиламин (ТОА) в сульфатной форме. Такой коктейль предназначен, в основном, для извлечения изотопов урана из сернокислых растворов в широком диапазоне концентраций (от 10–5 до 1 М).

3) Использование вместо «THOREX» указанной смеси толуола, сцинтилляторов и экстрагента 1-нонилдециламина (NDA) в сульфатной форме. Такой коктейль предназначен, в основном, для извлечения изотопов Th из сернокислых растворов.

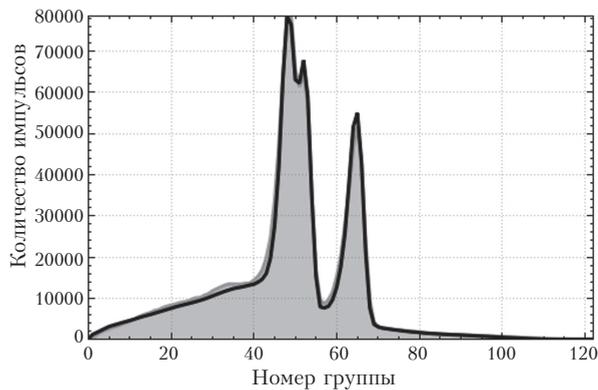
4) Приготовление коктейля, аналогичного фирменному «POLEX». В нем использован перечисленный ранее состав: толуол+ППО+ПОПОП, а в качестве экстрагирующей молекулы используется триоктилфосфиноксид (ТОФО). Коктейль, в основном, предназначен для извлечения из кислых растворов изотопов полония. Исключительную селективность к полонию коктейль проявляет в среде 7 М  $\text{H}_3\text{PO}_4$  – 0,01 М  $\text{HCl}$ .

5) Разработан и уже внедрен в производственную практику ГИЦ ПВ метод извлечения радиоактивного инертного газа радона ( $^{222}\text{Rn}$ ). Радон с высоким выходом извлекается из водных сред в толуол, а затем смешивается с коктейлем состава толуол+ ППО+ПОПОП. Здесь экстрагентом является непосредственно сам толуол. На рис.6 представлен типичный спектр  $^{222}\text{Rn}$  в равновесии с дочерними продуктами распада (ДПР), выделенный по вышеописанному методу, и его расшифровка программой «SpectraDec».

Отличительной чертой вышеописанных «лабораторных» экстрактивных коктейлей является то обстоятельство, что им не нужно с водными пробами образовывать гомогенный раствор (или эмульсию), а, наоборот, необходима гетерогенная фаза, в которой в верхнюю (органическую) фракцию извлекаются радионуклиды.

## Выводы

В настоящее время метод определения радиоактивных изотопов с помощью жидкосцинтилляционной спектрометрии испытывает ряд объективных трудностей, одной из которых является проблема с основным расходным материалом – сцинтилляционным коктейлем. Основной применявшийся в России фирменный коктейль марки Ultima Gold AB можно приобрести только по параллельному импорту и по неоправданно завышенным ценам, сильно увеличив стоимость каждого анализа.



**Рис.6.** Расшифровка спектра радионуклидной смеси  $^{222}\text{Rn}$ +ДПР, полученного на ЖСС «Tri-Carb 4810» при использовании экстракции радона в «лабораторный» коктейль: толуол+ППО+ПОПОП.

Попытки отечественных производителей создать сцинтилляционные коктейли, приближенные по свойствам к фирменному (совместимость с водой 1:1, оптимальное гашение СОБР, низкое значение фона) на сегодняшний день не привели к успеху. Исследованные в нашей организации образцы коктейлей, приготовленные другими лабораториями, показали изначально высокую степень гашения, огромную люминесценцию и несовместимость с водой, что затрудняет их использование для ЖС спектрометрии.

В данной работе авторы описали рецепты приготовления коктейлей в лабораторных условиях из имеющихся доступных реагентов и представили результаты их тестирования. Основными ингредиентами этих коктейлей являются: ароматический растворитель толуол (ксилол), эмульгатор марки Тритон Х-100 в различных концентрациях, первичный (ППО) и вторичный (ПОПОП) сцинтилляторы.

Показано, что хотя ни один из приготовленных коктейлей по своим характеристикам (совместимость с водной пробой, гашение) не может конкурировать с фирменным Ultima Gold AB, они могут быть успешно использованы для проведения жидкосцинтилляционных измерений. Коктейли с содержанием Тритона

X-100 31–39% могут смешиваться с 3–5 мл водной (кислотной) пробы с сохранением прозрачности и гомогенности счетного образца с приемлемым уровнем гашения, что является достаточным для проведения полноценного ЖС анализа. Спектры, полученные в этих коктейлях, после измерения на ЖС радиометрах, обрабатываются программой расшифровки спектров «SpectraDec» не хуже, чем измеренные в коктейле Ultima Gold AB.

Параллельно авторами ведутся исследования по разработке экстрактивных сцинтилляторов. Показано, что для экстракционной технологии извлечения радионуклидов из водных (кислотных) сред приготовленные в лабораторных условиях коктейли на основе толуола, сцинтилляторов и органических экстрагентов приемлемы в качестве готовых к применению в ЖС спектрометрии в качестве экстрактивных сцинтилляторов. Результаты этих исследований предполагается опубликовать в ближайшее время.

### Литература

1. S.V. Belanov, I.A. Kashirin, S.V. Malinovsky, «Method for Identifying Radionuclides in Probes Using a Liquid Scintillation Sensor», PCT/RU98/00372 (12.11.98).
2. Беланов С.В., Каширин И.А., Малиновский С.В., Егорова М.Е., Ефимов К.М., Тихомиров В.А., Соболев А.И. «Способ идентификации радионуклидов с помощью жидкосцинтилляционного счетчика». Пат. 2120646 (приоритет от 08.12.97).
3. Беланов С.В., Каширин И.А., Малиновский С.В., Ермаков А.И., Ефимов К.М., Тихомиров В.А., Соболев А.И. «Способ идентификации радионуклидов с помощью жидкосцинтилляционного счетчика». Пат. 2132074 (приоритет от 03.04.98).
4. I.A. Kashirin, A.I. Ermakov, S.V. Malinovskiy, S.V. Belanov, Yu.A. Sapozhnikov, K.M. Efimov, V.A. Tikhomirov, A.I. Sobolev, «Liquid scintillation determination of low level components in complex mixtures of radionuclides. Appl.Rad.Isotopes, 53, 2000, p. 303-308.
5. Каширин И.А., Малиновский С.В., Соболев А.И. и др. Способ идентификации альфа-излучающих радионуклидов в пробах с использованием жидкостного сцинтилляционного счетчика. Патент на изобретение РФ № 2191409 (приоритет от 26.10.2000).
6. Ермаков А.И., Малиновский С.В., Каширин И.А. и др. Жидкосцинтилляционная  $\beta$ - $\alpha$ -спектрометрия // Атомная энергия. 2002. Т. 92, вып. 1. С. 68-75.
7. S.V. Malinovsky, I.A. Kashirin, A.I. Ermakov, S.V. Belanov, A.I. Sobolev, V.A. Tikhomirov. Mathematical Aspects of Decoding Complex Spectra Applied to LSC. LSC-2001, Advances in Liquid Scintillation Spectrometry, RADIOCARBON, 2002, pp. 127-135.
8. S.V. Malinovsky, I.A. Kashirin, A.I. Ermakov, A.I. Sobolev, L.L. Kaihola, A.A. Fedotov., V.A. Tikhomirov. New Software for Analyzing Complex Spectra Obtained with Ultra Low Level Liquid Scintillation Spectrometer «Quantulus». LSC 2001, Advances in Liquid Scintillation Spectrometry, RADIOCARBON, 2002, pp. 119-126.
9. Малиновский С.В., Каширин И.А., Беланов С.В., Соболев А.И., Тихомиров В.А. Универсальный программный комплекс сбора и обработки спектрометрической информации. VII ежегодный семинар «Спектрометрический анализ. Аппаратура и обработка данных на ПЭВМ», 20-24 ноября 2000 г., Обнинск: изд. ГЦИПК. С. 159-170.
10. Малиновский С.В., Каширин И.А., Ермаков А.И., Соболев А.И., Тихомиров В.А. Спектрометрическое универсальное программное обеспечение «RadSpectraDec». XI ежегодный семинар «Спектрометрический анализ. Аппаратура и обработка данных на ПЭВМ», ноябрь 2004, Обнинск: изд. ГЦИПК, 2005.
11. Малиновский С.В., Каширин И.А. Жидкосцинтилляционная спектрометрия. Современное состояние // АНРИ. 2024. № 2(117).

## The Problems of Liquid Scintillation Spectrometry in Modern Conditions. Scintillation Cocktail

Gonchar Yuriy, Gudymenko Natalya, Kashirin Igor, Gudymenko Vasiliy, Malinovskiy Sergey  
(Limited liability company «The main checkpoint testing centre of drinking water», Moscow, Russia)

**Abstract.** The main problems of liquid scintillation spectrometry in the current modern conditions are presented. The possibility of working on LC radiometers using scintillation cocktails created on the basis of reagents available in Russia was analyzed. Comparative results of testing model radionuclide mixtures in proprietary (UltimaGold AB, INSTA-FLUOR) scintillation cocktails and those prepared in laboratory conditions based on the aromatic solvent toluene (xylene) are shown.

**Keywords:** liquid scintillation spectrometry, scintillation cocktail, extraction technology for radionuclide analysis.

Ю.Н.Гончар (к.т.н., генеральный директор), Н.О.Гудыменко (зав. ЛРИ), И.А.Каширин (к.х.н. ст. эксперт), В.А.Гудыменко (к.б.н., эксперт), С.В.Малиновский (к.ф.-м.н., ст. эксперт)

ООО Главный контрольно-испытательный центр питьевой воды (ООО «ГИЦ ПВ»),  
г. Москва

Контакты: тел. +7 (909) 691-59-15; 79096915915@yandex.ru