

## **METHODICAL APPROACHES FOR RADON IN SOIL GAS MEASUREMENTS BASED ON LSC**

*M. Buzinny*

*Building sites require radon soil gas testing. We propose a measurement method for  $^{222}\text{Rn}$  in soil gas based on liquid scintillation counting (LSC). It utilizes a soil gas sampling system produced by RADON v.o.s. in the Czech Republic. One approach includes direct soil gas counting in special LS vial coated inside with plastic scintillation material, Meltilex<sup>TM</sup>. Such vial, developed by Kaihola, looks like a Lucas chamber. Another approach is the high sensitive (15-20 time)  $^{222}\text{Rn}$  measurement method. It includes glass bubblers filled with a 20 ml portion of a toluene based LS cocktail which after sampling, is moved to plastic vials for counting. It should be mentioned also that radon sorption in toluene depends on the time of air contact with the cocktail, and on the volume of the bubbler.*

*In both cases an air volume portion of a 150 ml syringe is blown through a vial or a bubbler. The bubbler method, to be more reproducible, requires 2-3 times the air volume trapped through the bubbler. It also requires a precise calibration for radon sorption in toluene, while trapping depends on air properties i.e. temperature and humidity. Thus a set of bubbler samples (15 and more) requires 1-3 air samples to be measured in LS vials with Meltilex<sup>TM</sup>. Both methods utilize modern LSC measurement techniques, capable for alpha/beta separation. Different scintillators require individual corresponding settings of alpha/beta separation parameters. We tested the method on both, the Quantulus 1220<sup>TM</sup> and the Triathler base. Taking into account the sensitivity required, to measure radon in soil gas at the level of  $1 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$ , the described measurement approaches give a count rate of 2.4 CPM for direct counting in Meltilex<sup>TM</sup> coated vials and 36-48 CPM when radon is trapped in toluene.*

## **БЕТА–СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДА $^{90}\text{Sr}$ В ПРОБАХ ВОДЫ В ПРИСУТСТВИИ ГАММА–ИЗЛУЧАЮЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ**

*Краснопёрова А.П.<sup>1</sup>, Юхно Г.Д.<sup>1</sup>, Мартынова В.И.<sup>1</sup>,  
Пинчук И.П.<sup>2</sup>, Кожушко П.В.<sup>2</sup>, Козыренко А.М.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина*

*<sup>2</sup>Харьковская областная санитарно-эпидемиологическая станция*

*Рецензент: к. ф.-м. наук Летучий А.Н.*

Испытание ядерного оружия, сброс радиоактивных веществ в открытые водоемы, а также технологические нарушения и аварийные ситуации на предприятиях ядерно-

топливного цикла привели к появлению в окружающей среде продуктов деления  $^{235}\text{U}$  (рис.1), включая наиболее опасный долгоживущий радионуклид  $^{90}\text{Sr}$ . Этот радионуклид легко

включается в пищевые цепочки, за-  
вершающиеся человеком, что может

привести к неоправданному переоблу-  
чению отдельных органов.

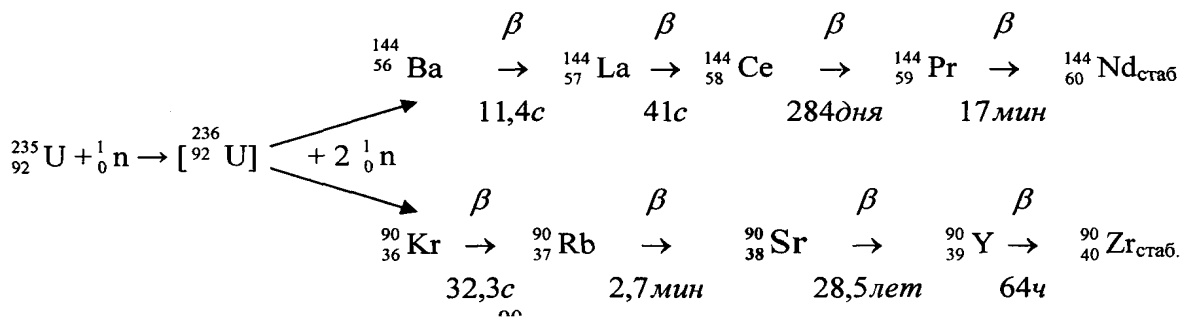


Рисунок 1. Схема образования  ${}^{90}\text{Sr}$  в результате деления  ${}^{235}_{92}\text{U}$ .

Поэтому содержание радионуклида  ${}^{90}\text{Sr}$  в пищевых продуктах и воде строго регламентируется нормативными документами [1-3].

Широкое распространение для определения содержания  ${}^{90}\text{Sr}$  в объектах окружающей среды получили два метода — радиохимический и спектрометрический [4,5]. Радиохимический метод включает около 24 последовательных операций выделения, разделения и концентрирования, что позволяет выделить исследуемый радионуклид в радиохимически чистом состоянии. Радиохимический анализ считается арбитражным, однако, он очень трудоемкий и длительный. Например, при определении  ${}^{90}\text{Sr}$  радиохимическим методом результат может быть получен только через 2 недели.

Поэтому актуальной проблемой является поиск надежных и экспрессных методов определения  ${}^{90}\text{Sr}$  в различных объектах. Такими методами являются бета-спектрометрические методы, основными преимуществами которых, по сравнению с радиохимическим, является меньшая трудоемкость и экспрессность [6].

Сложность определения  ${}^{90}\text{Sr}$  методом бета-спектрометрии обусловле-

на наличием в пробах объектов окружающей среды естественных радионуклидов, в первую очередь – радионуклидов  ${}^{226}\text{Ra}$  и  ${}^{232}\text{Th}$ . Содержание в пробе  ${}^{226}\text{Ra}$ ,  ${}^{232}\text{Th}$  и их дочерних продуктов распада (ДПР) оказывает влияние на точность определения содержания  ${}^{90}\text{Sr}$  и  ${}^{90}\text{Y}$  вследствие того, что энергетические спектры бета-частиц дочерних радионуклидов  ${}^{226}\text{Ra}$  и  ${}^{232}\text{Th}$  подобны спектрам  ${}^{90}\text{Sr}$  и  ${}^{90}\text{Y}$  [7]. Особенно это влияние проявляется при обработке спектра современными спектрометрами в значительно расширенном анализируемом диапазоне энергий бета-частиц например, методом матричной факторизации.

Поверхностные природные воды являются контролируемым объектом, в котором можно ожидать загрязнение как техногенными, так и природными радионуклидами.

Целью настоящей работы являлось усовершенствование бета-спектрометрической методики определения радионуклида  ${}^{90}\text{Sr}$  в пробах воды с учетом содержания  ${}^{226}\text{Ra}$  и  ${}^{232}\text{Th}$ .

Для моделирования загрязнений радионуклидами были приготовлены водные растворы с различным содержанием  ${}^{90}\text{Sr}$ ,  ${}^{226}\text{Ra}$ ,  ${}^{232}\text{Th}$ .

В работе использовались наработки, отраженные в уже существующих и используемых методиках [8-9].

Так как исследуемые радионуклиды в водных растворах находятся в субмикрочколичествах, обязательным этапом при анализе воды является их концентрирование. Для концентрирования радионуклидов был применен метод ионообменной хроматографии с использованием катионита КУ-2-8 в аммонийной форме. Применение такой пробоподготовки обеспечило по-

лучение однородных проб со стабильными характеристиками (плотность, масса, однородность распределения нуклидов). Это позволило исключить влияние геометрии измерения.

Предварительно в статических и динамических условиях были исследованы сорбционные свойства ионита в различных формах по отношению к нуклидам  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ . Сорбционные свойства катионита КУ-2-8 в аммонийной форме по отношению к нуклидам  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  приведены в таблице 1.

Таблица 1. Коэффициенты сорбции катионов на катионите КУ-2-8.

Катион	Ионный радиус, нм	$K_s$ , %
$\text{Th}^{4+}$	0.095	99.9
$\text{Sr}^{2+}$	0.120	99.5
$\text{Ra}^{2+}$	0.144	99.0
$\text{K}^+$	0.133	98.8

Полученные значения коэффициентов сорбции позволяют расположить исследуемые катионы в следующем ряд:  $^{232}\text{Th}^{4+} > ^{90}\text{Sr}^{2+} > ^{226}\text{Ra}^{2+} > ^{40}\text{K}^+$ .

Приготовленные навески смолы массой 10 г помещались в кювету, запечатывались полиэтиленовой плёнкой и выдерживались перед всеми измерениями в течение 2 недель для достижения равновесия нуклидов  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{90}\text{Sr}$  с их ДПР.

Количественные определения радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , а также их различные комбинации проводились с помощью спектрометра бета-излучений СЕБ-01-150 и спектрометра гамма-излучений СЕГ-002 «АКП-П» на базе ППД ДГДК-160, которые позволили проводить измерения с высокой эффективностью и одновременно

анализировать содержание нескольких бета- и гамма-излучающих нуклидов.

Модифицированный метод бета-спектрометрии радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  базируется на одновременном проведении гамма- и бета-спектрометрии модельных проб воды, совместной обработки результатов измерений с последующим вычитанием из суммарного бета-спектра составляющих от сопутствующих естественных радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  с их ДПР. Необходимые математические операции подготовки вычитаемых парциальных спектров проводились с помощью пакета программного обеспечения (ПО) АК1. После вычитания проводилась обработка полученного спектра методом матричной факторизации в пакете ПО АКWin (рис.2).

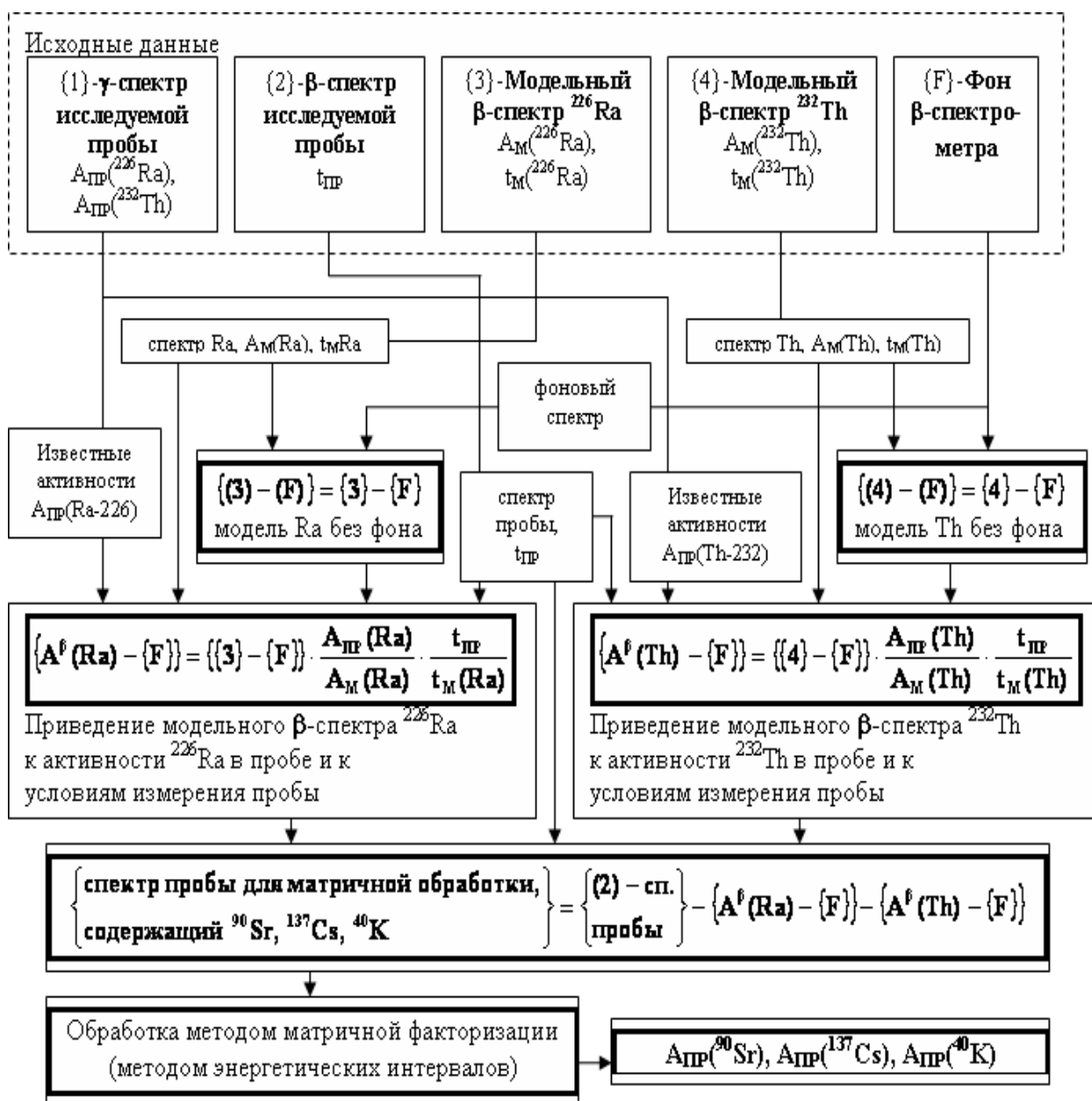


Рисунок 2. Схема обработки бета-спектров при наличии в пробе  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ .

Обозначения на рисунке:  
 $A_{\text{пр}}(^{226}\text{Ra})$  – активность  $^{226}\text{Ra}$  в пробе,  
 $A_{\text{пр}}(^{232}\text{Th})$  – активность  $^{232}\text{Th}$  в пробе,  
 $t_{\text{пр}}$  – время измерения пробы,  
 $A_{\text{м}}(^{226}\text{Ra})$  – активность  $^{226}\text{Ra}$  в объёмном источнике при получении модельного бета-спектра  $^{226}\text{Ra}$ ,  $t_{\text{м}}(^{226}\text{Ra})$  – время измерения модельного бета-спектра  $^{226}\text{Ra}$ ,  $A_{\text{м}}(^{232}\text{Th})$  – активность  $^{232}\text{Th}$  в объёмном источнике при получении модельного бета-спектра  $^{232}\text{Th}$ ,

$t_{\text{м}}(^{232}\text{Th})$  – время измерения модельного бета-спектра  $^{232}\text{Th}$ .

Для проведения калибровки спектрометров нами были изготовлены калибровочные объёмные меры радиоактивности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ .

Для проверки предложенной методики радиохимическим методом определено содержание  $^{90}\text{Sr}$  в модельных образцах воды, содержащих разные комбинации содержаний радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  (табл. 2).

Таблица 2. Радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  в модельных пробах воды.

№ пр.	Радионуклид	Введено, Бк/кг	Радио-химический метод, Бк/кг	$\gamma$ -спектром. метод Бк/кг	Активность, (обработан исходный спектр без проведения дополнительных этапов обработки спектра), Бк/кг	Активность, (обработан спектр после проведения дополнительных этапов обработки спектра), Бк/кг
1	$^{90}\text{Sr}$	48,1	$46 \pm 5$	—	42,3	—
2	$^{226}\text{Ra}$	23,4	—	$20,8 \pm 2,5$	—	—
3	$^{90}\text{Sr}$	48,1	$43 \pm 5$	—	73,5 *	$59 \pm 19,2$
	$^{226}\text{Ra}$	23,4	—	$24,2 \pm 2,5$	—	—
4	$^{90}\text{Sr}$	48,1	$47 \pm 5$	—	106,1*	$49,5 \pm 17,4$
	$^{226}\text{Ra}$	58,5	—	$53,8 \pm 8,1$	—	—
5	$^{90}\text{Sr}$	48,1	$45 \pm 5$	—	163,4 *	$52,9 \pm 17,4$
	$^{226}\text{Ra}$	117,0	—	$111,0 \pm 16,0$	—	—
6	$^{232}\text{Th}$	32,4	—	$28,2 \pm 2,7$	—	—
7	$^{90}\text{Sr}$	48,1	$45 \pm 5$	—	163,4 *	$52,9 \pm 17,4$
	$^{232}\text{Th}$	32,4	—	$34,9 \pm 6,2$	—	—
8	$^{90}\text{Sr}$	48,1	$44 \pm 5$	—	129,5 *	$52,4 \pm 16,8$
	$^{232}\text{Th}$	81,0	—	$72,1 \pm 6,1$	—	—
9	$^{90}\text{Sr}$	48,1	$43 \pm 5$	—	204,8 *	$54,4 \pm 19,8$
	$^{232}\text{Th}$	160,0	—	$147,0 \pm 17,0$	—	—
10	$^{90}\text{Sr}$	48,1	$41 \pm 5$	—	120,2 *	$54,8 \pm 25,5$
	$^{226}\text{Ra}$	23,4	—	$27,8 \pm 2,5$	—	—
	$^{232}\text{Th}$	160,0	—	$28,5 \pm 2,8$	—	—
11	$^{90}\text{Sr}$	48,1	$43 \pm 5$	—	206,2 *	$53,9 \pm 29,0$
	$^{226}\text{Ra}$	58,5	—	$67,3 \pm 7,8$	—	—
	$^{232}\text{Th}$	81,0	—	$73,7 \pm 8,1$	—	—
12	$^{90}\text{Sr}$	48,1	$41 \pm 5$	—	342,5 *	$56,3 \pm 26,7$
	$^{226}\text{Ra}$	117,0	—	$132,2 \pm 7,0$	—	—
	$^{232}\text{Th}$	162,0	—	$153,3 \pm 12,0$	—	—

Примечание: \* – полученный результат не достоверен.

### Выводы

1. Исследована сорбционная способность катионита КУ-2-8 в отношении радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ . На основании анализа полученных данных можно предложить следующий ряд сорбционной способности катионита КУ-2-8 в аммонийной форме в отношении катионов:  $^{232}\text{Th} > ^{90}\text{Sr} > ^{226}\text{Ra} > ^{40}\text{K}$ .
2. Предложенный модифицированный метод обработки бета-спектров позволяет в совместных гамма-бета-спектрометрических измерениях определять содержание  $^{90}\text{Sr}$  в присутствии  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ .

3. Результаты измерения по предложенной бета-спектрометрической методике хорошо согласуются с результатами радиохимического анализа.
4. Усовершенствованная методика может быть распространена на анализ пищевых продуктов, содержащих в пробах  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні гігієнічні нормативи. -Київ: Відділ поліграфії Українського центру держсанепіднагляду МОЗ України, -1997. -125с.
2. Державні гігієнічні нормативи «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді» ГН 6.6.1.1-130, -2006.
3. ДСан Пін 383-96 «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання». -Київ, -1996.
4. Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды. /Под общей редакцией Маррея А.Н.и Зыковой А.С. -М.: Минздрав СССР, -1980. -336с.
5. Лаврухина А.К., Малышева Т.В., Павловская Ф.И. Радиохимический анализ. -М.: Изд-во АН СССР, 1963 -448с.
6. Бабенко В.В., Казимиров А.С., Рудык А.Ф. Проблемы определения малых активностей. -Киев: НПП «АКП», -1998. -38с.
7. Моисеев А.А., Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. -М.: Энергоатомиздат, -1990. -252с.
8. Активность радионуклидов в счетных образцах. /Методика выполнения совместных измерений на гамма-бета-спектрометре с использованием программного обеспечения «LSRM». -Менделеево-Дубна: ГП «ВНИИФТРИ» ООО «ЛСРМ», -1996. -21с.
9. Активність бета-випромінюючих радіонуклідів у лічильних зразках водних об'єктів. Методика виконання вимірювань з використанням бета-спектрометрів і програмного забезпечення АКwin. -Київ: ТОВ НВП «АКП», -2003. -36с.

### **БЕТА–СПЕКТРОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДУ $^{90}\text{Sr}$ У ПРОБАХ ВОДИ В ПРИСУТНОСТІ ГАММА–ВИПРОМІНЮЮЧИХ РАДІОНУКЛІДІВ**

*А.П. Красноперова<sup>1</sup>, Г.Д. Юхно<sup>1</sup>, В.І. Мартинова<sup>1</sup>, І.П. Пінчук<sup>2</sup>, А.М. Козиренко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна*

<sup>2</sup>*Харківська обласна санітарно-епідеміологічна станція*

*Розроблені додаткові етапи обробки бета-спектрів, які дозволяють проводити експресні (без радіохімічної підготовки) вимірювання вмісту  $^{90}\text{Sr}$  у пробах, що вміщують  $^{226}\text{Ra}$  та  $^{232}\text{Th}$ . Випробувана обробка бета-спектрів на модельних пробах води. Вимірювання проводились на атестованих спектрометрах бета-випромінювань СЕБ-01-150 та гамма-випромінювань СЕГ-002 «АКП-П»*

на базі НПД ДГДК-160. Для пробонідготовки використовувалась іонообмінна хроматографія (катіоніт КУ-2-8). Підібрані умови пробонідготовки.

## **BETA–SPEKTROMETRY DETERMINATION OF RADIONUKLID OF $^{90}\text{Sr}$ IN WATER SAMPLE IN PRESENCE GAMMA–EMITTING RADIONUKLIDES**

*A.P. Krasnopyorova<sup>1</sup>, G.D. Yukhno<sup>1</sup>, V.I. Martinova<sup>1</sup>*

*I.P. Pinchuk<sup>2</sup>, A.M. Kozyrenko<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Karazin Kharkov national university*

*<sup>2</sup> Kharkov regional department of hygiene and sanitary*

*The additional stages of treatment of beta-specters are developed. The stages allowed conducting measuring of maintenance of  $^{90}\text{Sr}$  in water samples, containing  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$ . Conditions of sample prepare with use cationite KU-2-8 was select.*

## **МІЖЛАБОРАТОРНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ: УНІКАЛЬНИЙ ДОСВІД ОЦІНКИ ЯКОСТІ РАДІАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ У МАСШТАБІ КРАЇНИ**

*Михайлова Л.Л.<sup>1</sup>, Михайлов О.В.<sup>2</sup>, Циганков<sup>2</sup> М.Я.*

*<sup>1</sup>Державна установа «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва  
АМН України», м. Київ*

*<sup>2</sup>Науковий центр радіаційної медицини АМН України, м. Київ*

*Рецензент: докт.мед.наук, професор Корзун В.Н.*

**Вступ.** Забезпечення якості результатів вимірювання вмісту радіонуклідів у об'єктах довкілля або продуктах харчування є невід'ємним елементом самого процесу вимірювання та актуальним питанням у сфері протирадіаційного захисту населення. Радіаційні вимірювання виконують у моніторингових лабораторіях, установах санепіднагляду, на підприємствах, що виробляють або реалізують ту або іншу продукцію, у науково-дослідних установах тощо. На підставі отриманих даних приймаються рішення щодо подальшого використання виробів відносно їх радіаційної безпеки, втру-

чання або проведення відповідних протирадіаційних заходів.

Таким чином, питання якості результатів радіаційних вимірювань є не лише метрологічним питанням, але і таким, від вирішення якого залежить ефективність системи протирадіаційного захисту населення.

У лабораторіях світу накопичено багатий досвід проведення досліджень за чітко організованою схемою та процедурами, дотримання яких на всіх етапах процесу вимірювань встановлює ступінь відповідальності персоналу, захищає від грубих промахів, допомагає мінімізувати похибки, забезпечуючи в цілому належний рівень