

Г. В. Лаптев, Л. С. Пірнач, Т. І. Дивак

Український гідрометеорологічний інститут НАН та ДСНС України, Київ

**ВИЗНАЧЕННЯ АКТИВНОСТІ  $^{90}\text{Sr}$  У ВОДІ ШЛЯХОМ ПРЯМОГО ВИМІРЮВАННЯ РІДИННО-СЦИНТИЛЯЦІЙНИМ ЛІЧИЛЬНИКОМ**

У дослідженні на прикладі проб води, радіоактивно забрудненої в результаті аварії на ЧАЕС, продемонстровано можливість прямих вимірювань  $^{90}\text{Sr}$  рідинно-сцинтиляційним спектрометром Triathler по реєстрації черенковського свічення та випромінювання зразка у сцинтиляційному коктейлі. Представлено також один із способів урахування ефекту гасіння та метод урахування присутності у пробі  $^{137}\text{Cs}$ . Результати показали хороший збіг з даними, отриманими за класичною методикою радіохімічного аналізу. Найкращі показники якості реєстрації показав метод вимірювання Triathler зразків у сцинтиляційній суміші.

*Ключові слова:* метод визначання  $^{90}\text{Sr}$ , рідинна сцинтиляція, радіоактивне забруднення.

**Вступ**

$^{90}\text{Sr}$  – один із найпоширеніших продуктів розпаду, випущений в атмосферу з початку ядерних випробувань 1945 р. Унаслідок довготривалих фізичного та біологічного періодів напіврозпаду ізотопу (28,6 і 49,3 років відповідно) його вважають одним із головних вкладників у повну колективну дозу від штучних джерел радіації.

Потенційна шкода цього продукту розпаду спричинена його хімічною подібністю до кальцію. Після надходження в ґрунт  $^{90}\text{Sr}$  може потрапити в людський організм, переважно в кістки, через їжу та воду. Крім того, унаслідок своїх фізико-хімічних властивостей  $^{90}\text{Sr}$  виділяється серед інших радіонуклідів підвищеною мобільністю, що сприяє його швидкому розповсюдженню.

Таким чином,  $^{90}\text{Sr}$  – один із найважливіших продуктів розщеплення, вміст якого необхідно визначати в межах структури моніторингу радіоактивності довкілля. Відповідно до Державних гігієнічних нормативів [1] значення допустимих рівнів вмісту  $^{90}\text{Sr}$  у питній воді становить 2 Бк/л.

Вимірювання гамма-випромінюючих радіонуклідів, таких як  $^{137}\text{Cs}$ , не спричиняють суттєвих складнощів при необхідності проведення масових визначень. Але  $^{90}\text{Sr}$ , як і його дочірній продукт  $^{90}\text{Y}$ , являють собою чисті бета-випромінювачі (максимальні енергії 0,54 та 2,27 МеВ відповідно). На відміну від гамма-радіонуклідів у переважній більшості випадків визначення  $^{90}\text{Sr}$  можливе лише з використанням досить розгалужених схем радіохімічних процедур, у результаті чого аналіз стає досить тривалим і вимагає суттєвих додаткових витрат на реактиви, матеріали, обладнання тощо.

Без сумніву, найпростішим методом визначення будь-якого радіонукліда, у тому числі  $^{90}\text{Sr}$ , є пряме вимірювання. І в деяких виняткових випадках таке вимірювання можливе завдяки пере-

вагам застосування методів рідинно-сцинтиляційної (РС) спектрометрії.

**Вимірювання  $^{90}\text{Sr}$  по черенковському випромінюванню  $^{90}\text{Y}$** 

Можливість безпосереднього вимірювання активності  $^{90}\text{Sr}$  виникає за рахунок того, що тільки досить обмежена кількість радіонуклідів, розповсюджених у довкіллі, спроможна вносити суттєвий вклад у черенковське випромінювання (свічення).

Черенковське свічення виробляється, коли частинки з високою енергією рухаються в прозорому середовищі зі швидкістю, що перевищує швидкість світла. Емісія черенковського світла головним чином залежить від енергії бета-частинки та від заломлюючого індексу середовища, в якому бета-частинки рухаються. Вода – одне з найкращих простих середовищ, що показують відносно хорошу ефективність. Високоенергетичні бета-радіонукліди, такі як  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{106}\text{Rh}$  та  $^{144}\text{Pr}$ , спроможні виробляти черенковське випромінювання.

Ефективність вимірювання черенковського свічення у воді залежить від долі частинок, енергія яких перевищує енергетичний поріг 256 кеВ. Наприклад, ефективність реєстрації РС аналізатора TRI-CARB моделі 1550 (Canberra Packard) для 15 мл водних зразків становила, %:  $^{90}\text{Y}$  - 50,  $^{40}\text{K}$  - 28,  $^{89}\text{Sr}$  - 27,  $^{90}\text{Sr}$  - 2,5,  $^{137}\text{Cs}$  - 3,5,  $^{60}\text{Co}$  - 5,4,  $^{134}\text{Cs}$  - 2,4 [2]. Таким чином, якщо у воді крім  $^{90}\text{Sr}$  ( $+^{90}\text{Y}$ ) присутній лише  $^{137}\text{Cs}$  у невеликій кількості, його внесок у черенковське випромінювання буде несуттєвим і ним можна знехтувати.

**Пряме вимірювання  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  у рідкому сцинтиляторі**

У випадку радіоактивних забруднень від ядерних випробувань або аварій на АЕС радіо-

активні опади містять декілька сотень різноманітних радіонуклідів. Проте більшість із них має мізерну концентрацію або швидко розпадається. Починаючи з моменту викиду та впродовж декількох десятиріч після нього, радіоекологічна обстановка визначається дією довгоживучих ізотопів, головними чином  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$ .

Прикладом такої ситуації є картина радіоактивного забруднення, що склалася на теперішній час на територіях, постраждалих у результаті аварії на ЧАЕС у 1986 р. У зразках природної води, водоймищ, що розташовані на цій території, внесок  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  в загальну бета-активність зазвичай на два порядки перевищує сумарний внесок усіх останніх бета-випромінювачів. У таких випадках, крім визначення  $^{90}\text{Sr}$  за черенковським випромінюванням, вимірювання вмісту  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  може бути також здійснене в середовищі рідкого сцинтилятора. На відміну від черенковського свічення ефективності реєстрації бета-випромінювання  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  зразків у сцинтиляційному коктейлі близькі за своїми значеннями, тому за цих умов виникає необхідність урахування можливого внеску  $^{137}\text{Cs}$ .

У даному дослідженні на прикладі води, радіоактивно забрудненої в результаті аварії на ЧАЕС, продемонстровано методи прямого вимірювання вмісту  $^{90}\text{Sr}$  із застосуванням портативного РС спектрометра як шляхом реєстрації черенковського свічення, так і шляхом реєстрації випромінювання зразка в середовищі рідкого сцинтилятора. При цьому враховували ефект гасіння проби та присутність  $^{137}\text{Cs}$ .

### Матеріали, реактиви та методи вимірювання

У роботі використовували розчин  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  з відомою питомою активністю 4,5 Бк/г, розчин  $^{137}\text{Cs}$  з активністю 147 Бк/г, сцинтиляційний коктейль Ultima Gold AB (Perkin Elmer, США) та поліпропіленові віали на 20 мл (Eppendorf, Німеччина).

Вимірювання  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  у сцинтиляційному коктейлі та за черенковським випромінюванням проводили з використанням 425-004 моделі РС лічильника-спектрометра Triathler (Hidex Oy, Фінляндія). Для зниження рівня фону лічильник помістили в додатковий свинцевий захисний будиночок. Вимірювання проводили на мітці  $^3\text{H}$  у логарифмічному масштабі енергій. Тривалість кожного вимірювання 36000 с.

Контрольні вимірювання бета-активності препарату оксиду ітрію, отриманого із застосуванням традиційного радіохімічного аналізу (гідроокисна методика) [3], проводили бета-радіометром (РУБ-01П, Росія).

Активність гамма-випромінювачів, зокрема

$^{137}\text{Cs}$ , виміряли гамма-радіометром на основі HPGe (High-Purity Germanium) детектора GWL-100210 (Coaxial Well Photon Detector System).

### Підготування зразків до вимірювання

Досліджували зразки природної води оз. Глибоке, що розташоване на найбільш забрудненій ділянці лівобережної заплави р. Прип'ять на відстані декількох кілометрів від аварійного блока ЧАЕС. На водозборах озера та в мулах дна, навіть через 20 років після аварійного викиду, збереглась значна кількість паливних часток, викинутих із зруйнованого реактора. Руйнування та вилуговування радіонуклідів із цих часток є основним джерелом високого рівня забруднення водойми  $^{90}\text{Sr}$  (порядку  $100 \div 200$  Бк/л). Інтенсивність забруднення води впродовж останніх років тут не тільки не зменшилася, а зберігає тенденцію до підвищення [4].

Пробу води зберігали законсервованою відповідно до ДСТУ ISO 5667-3-2001. Перед вимірюванням воду відфільтрували через паперовий фільтр «синя стрічка». З метою оцінки частки  $^{90}\text{Sr}$  на завислих частках черенковське випромінювання вимірювали також без фільтрування проби.

Для вимірювання  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  за черенковським свіченням було підготовлено зразки: зразок природної води (без фільтрування) масою 20 г; зразок фільтрованої води масою 20 г; фоновий зразок: до 19 г дистильованої води додали 1 г 0,05 моль/л  $\text{HNO}_3$ ; контрольний зразок (КЗ): до 19 г дистильованої води додали 1 г підкисленого розчину з активністю 4,5 Бк ( $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ ).

Для вимірювання  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  у середовищі рідкого сцинтилятора зразки готували таким чином: пробу природної води масою 20 г випарили до сухого залишку, розчинили в 3 мл 0,5 моль/л  $\text{HNO}_3$  та змішали з 17 мл сцинтиляційного коктейлю; зразок фону: 3 мл 0,5 моль/л  $\text{HNO}_3$  змішали з 17 мл коктейлю; контрольний зразок  $^{90}\text{Sr}$  (КЗ<sub>Sr</sub>): до 1 г розчину з активністю 4,5 Бк ( $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ ) додали 2 мл 0,5 моль/л  $\text{HNO}_3$  та змішали з 17 мл коктейлю; контрольний зразок  $^{137}\text{Cs}$  (КЗ<sub>Cs</sub>): до 0,05 г розчину з активністю 6,8 Бк ( $^{137}\text{Cs}$ ) додали 2,95 мл 0,5 моль/л  $\text{HNO}_3$  та змішали з 17 мл коктейлю.

Фонові та контрольні зразки було використано для визначання ефективності реєстрації Triathler для кожного з розглянутих випадків та врахування ефекту гасіння.

### Вимірювання та обчислювання результатів

Вимірювання гамма-активності показали наявність у пробі фільтрованої води єдиного джерела гамма-випромінювання –  $^{137}\text{Cs}$ . Його активність була  $3,6 \pm 0,2$  Бк/л.

Розрахунки активності проводилися таким чином.

Ефективність  $E_{\text{рнд}}$  вимірювання приладу у відсотках для кожного з радіонуклідів ( $^{90}\text{Sr}$  або  $^{137}\text{Cs}$ ) у даному діапазоні енергетичних каналів обчислювали за формулою

$$E_{\text{рнд}} = \frac{(n_{\text{КЗ рнд}} - n_{\phi})}{A_{\text{КЗ рнд}}} \cdot 100, \quad (1)$$

де  $n_{\phi}$  – швидкість лічби фонового зразка, імп./с;  $n_{\text{КЗ рнд}}$  – швидкість лічби КЗ даного радіонукліда, імп./с;  $A_{\text{КЗ рнд}}$  – активність КЗ даного радіонукліда, Бк/зразок.

Для кожної серії зразків (водні зразки або скитиляційні коктейлі) проводився окремий вибір границь діапазону енергетичних каналів (вікна) по максимальному значенню показника якості вимірювання приладом FOM (англ., the figure of merit)  $^{90}\text{Sr}$ , який обчислюють за формулою

$$FOM = \frac{E_{\text{Sr}}^2}{N_{\phi}}, \quad (2)$$

де  $N_{\phi} = n_{\phi} \cdot 60$  – швидкість лічби фону в даному діапазоні енергетичних каналів, імп./хв.

Оскільки очікувана активність  $^{90}\text{Sr}$  у пробі значно перевищувала отримане значення вмісту  $^{137}\text{Cs}$ , присутність останнього у випадку черенковського випромінювання з вищенаведених причин не враховувалась.

Значення швидкості лічби  $^{90}\text{Sr}$ – $n_{\text{Sr}}$  (імп./с) і відповідно активність  $A_{\text{Sr}}$  (Бк/л) було обчислено як

$$n_{\text{Sr}} = n - n_{\phi} - n_{\text{Cs}}, \quad (3)$$

$$A_{\text{Sr}} = \frac{n_{\text{Sr}} \cdot 100}{E_{\text{Sr}} \cdot V}, \quad (4)$$

де  $n$  – повна швидкість лічби від всіх радіонуклідів у даному діапазоні енергетичних каналів, імп./с;  $V$  – об'єм водного зразка, л;  $n_{\text{Cs}}$  – швидкість лічби  $^{137}\text{Cs}$  (для черенковського випромінювання  $n_{\text{Cs}} = 0$ ), імп./с, що була обчислена за формулою

$$n_{\text{Cs}} = \frac{E_{\text{Cs}}}{A_{\text{Cs}} \cdot V \cdot 100}, \quad (5)$$

$A_{\text{Cs}}$  – активність  $^{137}\text{Cs}$ , отримана за результатами вимірювань гамма-випромінювання, Бк/л.

Для оцінки якості вимірювання, окрім показника FOM, визначали також значення так званої межі детектованої активності вимірювання (МДА). Воно залежить головним чином від три-

валості вимірювання, фону та ефективності реєстрації лічильника, що використовується. Значення МДА, Бк/пробу, обчислювали за формулою, рекомендованою для віал на 20 мл, без гасіння стандартом DIN 25482 ч. 1 (Німеччина),

$$A_{\text{МДА}} = \frac{100 \cdot (k_{1-\alpha} + k_{1-\beta}) \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{n_{\phi}}{t_m}}}{E} \quad (6)$$

у наближенні  $k_{1-\alpha} + k_{1-\beta} = 2$ ; де  $k_{1-\alpha}$  – квантиль стандартного нормального розподілу для помилок 1-го типу;  $k_{1-\beta}$  – квантиль стандартного нормального розподілу для помилок 2-го типу;  $t_m$  – тривалість вимірювання,  $t_m = 36000$  с.

На рис. 1 і 2 продемонстровано спектри, спричинені випромінюванням радіонуклідів, що містяться у зразках, підготованих вищенаведеним способом. На кожному з рисунків подано спектри зразків природної води оз. Глибоке, а також спектри КЗ та зразків фону. Для порівняння на рис. 1 наведено також спектр зразка води, який не був попередньо відфільтрований.

Рахунок, імп. за 36000 с

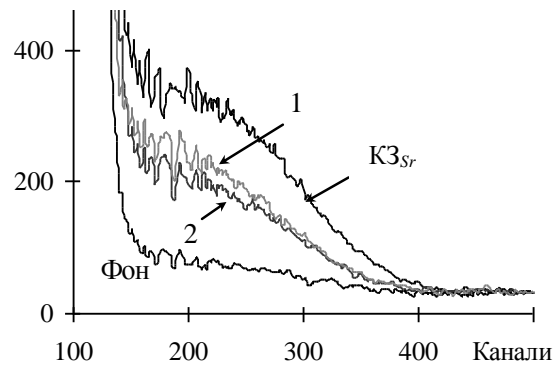


Рис. 1. Спектри черенковського випромінювання водних зразків оз. Глибоке (1 – до фільтрування і 2 – після фільтрування), а також фону і КЗ $_{\text{Sr}}$ .

Рахунок, імп. за 36000 с

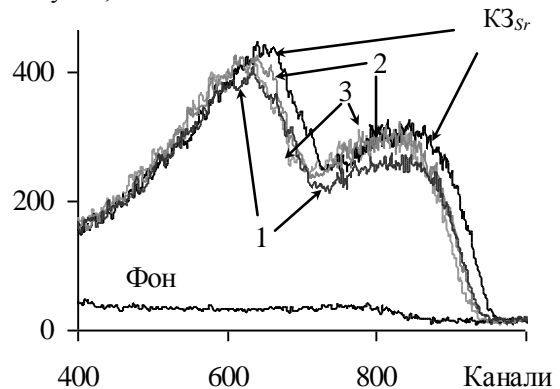


Рис. 2. Бета-спектри зразків води оз. Глибоке в РС суміші (виміряні безпосередньо після приготування (1), через три (2) та через п'ять місяців після приготування (3)), а також фону і КЗ $_{\text{Sr}}$ .

Вимірювання зразків у сцинтиляційній суміші було проведено тричі в різний час після приготування (див. рис. 2). У такий спосіб було виконано перевірку наявності і стабільності стану рівноваги між  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{90}\text{Y}^*$ .

На рис. 2 можна помітити деякий зсув спектрів природної води в область низьких енергій порівняно зі спектром  $\text{KZ}_{\text{Sr}}$ . Такий ефект міг бути спричинений присутністю у пробі будь-якого типу (хімічного, кольорового, оптичного) гасіння (англ., Quench).

Для врахування цього явища нами було застосовано метод корекції на гасіння по відношенню енергетичних вікон CR (англ., Chanel Ratio Method). При цьому було зроблено припущення, що оскільки за попередніми даними  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  відіграють домінуючу роль у радіоактивному забрудненні досліджуваної пробі, саме вони мають головним чином визначати геометричні показники спектра.

Відповідно до методу CR було проведено серію вимірювань зразків фону та контрольних зразків  $\text{KZ}_{\text{Sr}}$  і  $\text{KZ}_{\text{Cs}}$  з симуляцією підвищення інтенсивності гасіння, яке на лічильнику Thriatler можна отримати шляхом поступового відкручування кришечки вимірювальної камери, що призводить до часткової втрати випромінювання. Таким чином отримали набір спектрів фону,  $\text{KZ}_{\text{Sr}}$  і  $\text{KZ}_{\text{Cs}}$  з різною мірою гасіння (рис. 3 та 4).

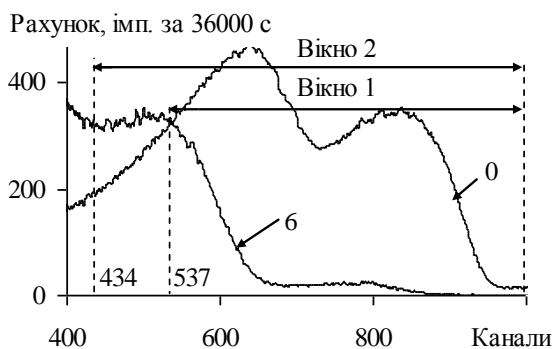


Рис. 3. Спектри  $\text{KZ}_{\text{Sr}}$ : 0 – з мінімальним та 6 – з максимальним рівнем гасінням. Установлення вікон для використання CR методу.

Параметр, що розраховується як відношення швидкості лічби у вікні 2, де гасіння мінімальне, до швидкості лічби у вікні 1, де гасіння максимальне (див. рис. 3), називається параметром гасіння  $^{90}\text{Sr}$  ( $QP_{\text{Sr}}$ ).

\* Дати вимірювань після двотижневого терміну, достатнього для встановлення стану рівноваги між  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{90}\text{Y}$ , обирались довільно.

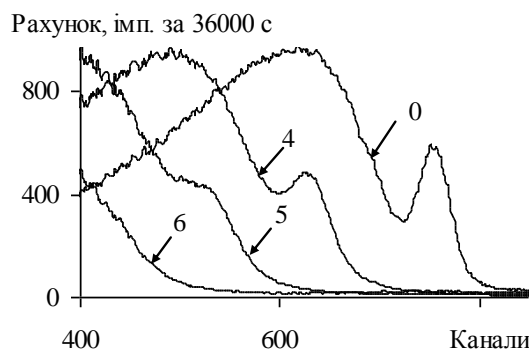


Рис. 4. Рух спектрів  $\text{KZ}_{\text{Cs}}$  з ростом гасіння від 0 (мінімального) до 6 (максимального) рівнів.

Далі було побудовано так звану криву корекції гасіння: функцію залежності падіння  $E_{\text{Sr}}$  від росту  $QP_{\text{Sr}}$ , а також функції залежності  $n_{\phi}$  та  $E_{\text{Cs}}$  від  $QP_{\text{Sr}}$  (рис. 5 - 7).

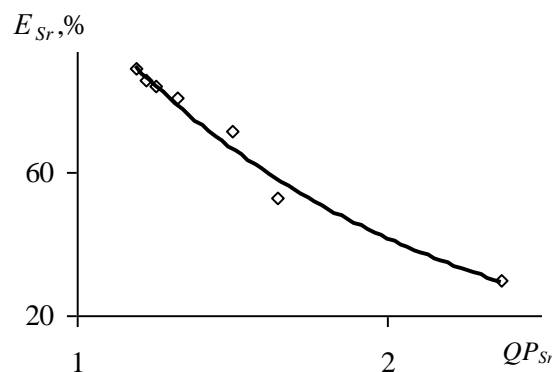


Рис. 5. Крива корекції гасіння  $^{90}\text{Sr}$ .

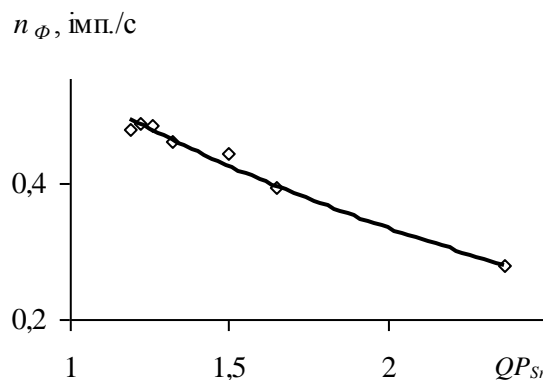
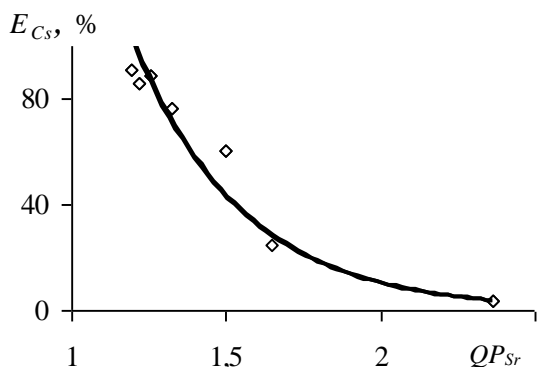


Рис. 6. Залежність фону від  $QP_{\text{Sr}}$ .

Для досліджуваної пробі з невідомим рівнем гасіння визначили значення  $QP_{\text{Sr}}$ , знайшли відповідне значення фону, ефективності лічби  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$ . По цих показниках за формулами (3) - (5) обчислили активність  $^{90}\text{Sr}$ . Результати подано в табл. 1.

У табл. 2 зведено інформацію щодо результатів визначання  $^{90}\text{Sr}$ , а також результати обчислень показників якості вимірювання, отриманих усіма застосованими методами.


 Рис. 7. Крива залежності  $E_{Cs}$  від  $QP_{Sr}$ .

Згідно з отриманими результатами як вимірювання зразка у сцинтиляційній суміші, так і вимірювання за черенковським світінням показали хороший збіг із результатом класичної гідроокисної методики радіохімічного аналізу [3]. При цьому застосування сцинтиляційних сумішей дало змогу отримати найкращі показники якості вимірювання приладу.

У випадку застосування РС сумішей повторні вимірювання  $^{90}\text{Sr}$  показали значення активності на 8 % більше стартових, що могло бути спричинене порушенням стану рівноваги між  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{90}\text{Y}$  на початку вимірювань.

Таблиця 1. Результати обчислення даних трьох вимірювань зразка у сцинтиляторі

№ вимірювання	$n_{Sr}$ у вікнах, імп./с		$QP_{Sr}$	$E_{Sr}$	$E_{Cs}$	$n$	$n_{\phi}$	$n_{Cs}$	$A_{Sr}$ , Бк/л
	434 - 1000	537 - 1000		%			імп./с		
1	3,679	3,022	1,22	87,09	86,93	3,679	0,490	0,063	89,7
2	3,944	3,258	1,21	87,64	87,42	3,944	0,492	0,063	96,6
3	3,900	3,193	1,22	86,74	86,62	3,900	0,489	0,062	96,6

Таблиця 2. Результати, отримані класичною методикою [3] (1), а також вимірюванням Triathler: зразків у сцинтиляційній суміші (2) та черенковського світіння (3)

Метод визначення	$n_{\phi}$ , імп./с	$E$ , %	FOM	$A_{МДА}$ , Бк/пробу	Діапазон каналів	Активність $^{90}\text{Sr}$ , Бк/л
1	0,02	12	151	0,010 <sup>1</sup>	-	96,8
2	0,49	87	275	0,012	434 - 1000	96,6(89,7 <sup>2</sup> )
3	0,78	26	14	0,051	136 - 1000	95,9(112,2 <sup>3</sup> )

<sup>1</sup> Для бета-радіометра РУБ-01П значення МДА, Бк/пробу, обчислили за формулою

$$A_{МДА} = \frac{100 \cdot 1,6 \sqrt{\frac{n_{\phi}}{t_m}}}{E};$$

де  $t_m = 36000$  с. Слід зауважити, що для методики [3] зазвичай застосовується тривалість вимірювання 1000 с унаслідок необхідності врахування розпаду вимірювального препарату  $^{90}\text{Y}$ . Тоді  $A_{МДА} = 0,06$  Бк/пробу.

<sup>2</sup> У дужках наведено значення першого вимірювання, виконаного безпосередньо після підготування зразка.

<sup>3</sup> У дужках наведено значення, отримане для проби, що не була відфільтрована. Таким чином, внесок  $^{90}\text{Sr}$  на завислих частках становив 15 % від сумарної активності.

## Висновки

Дослідження демонструє перспективність впровадження методів РС спектрометрії для прямих вимірювань вмісту  $^{90}\text{Sr}$  у воді аварійно забруднених водойм. При цьому навіть за умов наявності у пробі ефекту гасіння та присутності  $^{137}\text{Cs}$  оперативних результатів задовільної якості можна досягти при застосуванні досить простих РС спектрометрів класу Triathler, яким не притаманні низький фон і висока стабільність.

Не піддаючи сумніву корисність і переваги запропонованого методу визначення  $^{90}\text{Sr}$ , слід пам'ятати про певні обмеження при його застосуванні. Зокрема, у випадку вимірювань  $^{90}\text{Sr}$  за черенковським світінням дочірнього  $^{90}\text{Y}$  проба не

має містити радіонуклідів, спроможних внести суттєвий вклад у черенковське світіння. У випадку застосування РС сумішей внесок  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  в загальну бета-активність має бути суттєво більше внеску всіх останніх бета-випромінювачів.

Слід також зауважити, що радіохімічні методики визначення  $^{90}\text{Sr}$  дозволяють у різний спосіб концентрувати радіонуклід із досить великих об'ємів води (до 20 л), таким чином суттєво покращуючи показники чутливості визначення. Тоді як для РС методів (без попереднього концентрування) вимірюваний зразок готується з аліквоти материнської проби об'ємом 20 мл, що обмежує МДА визначення  $^{90}\text{Sr}$  в перерахунку на питому активність (за  $t_m = 36000$  с) до 0,6 Бк/л для вимірювань у РС суміші і 2,5 Бк/л для вимірювань

черенковського випромінювання.

Наш експериментальний досвід показує, що для РС методу також припустиме концентрування, зокрема помірне упарювання, яке мало впли-

ває на стан рівноваги між  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{90}\text{Y}$ . Але при цьому слід урахувувати небезпеку підвищення інтенсивності ефекту гасіння до занадто високого рівня.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Допустимі* рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді (ДР-97): Державні гігієнічні нормативи. - К.: Чорнобиль-інтерінформ, 1997. - 10 с.
2. Rao D., Sudheendran V., Baburajan A. et al. Measurement of high energy gross beta and  $^{40}\text{K}$  by Cherenkov counting in liquid scintillation analyzer // J. Radioanal. Nucl. Chem. - 2000. - Vol. 243, No. 3. - P. 651 - 655.
3. *Инструкции* и методические указания по оценке радиационной обстановки на загрязненной территории. - М.: Госкомгидромет СССР, 1989. - 118 с.
4. *20 лет* Чернобыльской катастрофы. Взгляд в будущее: Национальный доклад Украины. - К.: Атика, 2006. - 232 с.

Г. В. Лаптев, Л. С. Пирнач, Т. И. Дывак

*Украинский гидрометеорологический институт НАН и ГСЧС Украины, Киев*

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ $^{90}\text{Sr}$ В ВОДЕ ПУТЕМ ПРЯМОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЖИДКОСТНО-СЦИНТИЛЯЦИОННЫМ СЧЕТЧИКОМ

В исследовании на примере проб воды, радиоактивно загрязненной в результате аварии на ЧАЭС, продемонстрирована возможность прямых измерений  $^{90}\text{Sr}$  жидкостно-сцинтиляционным спектрометром Triathler по регистрации черенковского свечения и излучения в сцинтиляционном коктейле. Представлен также один из способов учета эффекта гашения и метод учета присутствия в пробе  $^{137}\text{Cs}$ . Результаты показали хорошее совпадение с данными, полученными по классической методике радиохимического анализа. Наилучшие показатели качества регистрации показал метод измерения Triathler с использованием сцинтиляционного коктейля.

*Ключевые слова:* метод определения  $^{90}\text{Sr}$ , жидкостная сцинтиляция, радиоактивное загрязнение.

G. V. Laptev, L. S. Pirnach, T. I. Dyvak

*Ukrainian Hydrometeorological Institute, National Academy of Sciences and State Emergency Service of Ukraine, Kyiv*

#### DETERMINATION OF $^{90}\text{Sr}$ IN WATER BY DIRECT MEASUREMENT USING LIQUID SCINTILLATION COUNTER

Results of research showing the possibility of direct measurements of  $^{90}\text{Sr}$  on liquid scintillation spectrometer using registration of the Cherenkov luminescence and radiation in scintillation cocktail on a series of water samples, collected on territory with radioactive contamination after the Chernobyl accident, are shown. Solution for quench correction and accounting on presence within the sample of  $^{137}\text{Cs}$  are also demonstrated. Results have shown good correspondence to that received by classical radiochemical analysis. The best performance in term of quality of registration was shown by the method of measurement with using scintillation cocktail.

*Keywords:* method of  $^{90}\text{Sr}$  determination, liquid scintillation, radioactive pollution.

#### REFERENCES

1. *Acceptable* levels of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  radionuclides in food and drinking water (DR-97): State hygienic standards. - Kyiv, Chornobylinterinform, 1997. - 10 p. (Ukr)
2. Rao D., Sudheendran V., Baburajan A. et al. Measurement of high energy gross beta and  $^{40}\text{K}$  by Cherenkov counting in liquid scintillation analyzer // J. Radioanal. Nucl. Chem. - 2000. - Vol. 243, No. 3. - P. 651 - 655.
3. *Instructions* and guidelines for the assessment of the radiation situation in the contaminated area. - Moskva: Goskomgidromet, 1989. - 118 p. (Rus)
4. *20 years* after the Chernobyl disaster. Looking to the future: the National Report of Ukraine. - Kyiv: Atika, 2006. - 232 p. (Rus)

Надійшла 12.03.2015

Received 12.03.2015