

## РАДІАЦІЙНА ГІГІЄНА

## RADIATION HYGIENE

<https://doi.org/10.32402/hygiene2020.70.093>

### ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СТАНДАРТИЗАЦІЇ СПЕКТРІВ БЕТА-ВИПРОМІНЮВАНЬ В РІДИННО-СЦИНТИЛЯЦІЙНОМУ ЛІЧЕННІ

Бузинний М.Г.

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ

*Розглянуто особливості стандартизації бета-спектрів для сучасного рідинно-сцинтиляційного лічення (РСЛ) із застосуванням альфа-бета спектрометра Quantulus 1220<sup>TM</sup>. Коло завдань – вимірювання тритію, бета-спектрометричне визначення стронцію-90, визначення стронцію-90 за рахунок Черенковського лічення, визначення свинцю-210 в аерозольних фільтрах, дослідження радіовуглецю.*

*Метою дослідження були узагальнення та аналіз особливостей застосування методів стандартизації спектрів бета-випромінювання при дослідженні радіоактивності об'єктів довкілля на основі рідинно-сцинтиляційного лічення.*

*Матеріали і методи:* рідинно-сцинтиляційне лічення, РСЛ, Черенковське лічення, радіохімічна підготовка проб, декомпозиція бета-спектрів.

*Результати:* проаналізовано методи стандартизації спектрів бета-випромінювання проб при дослідженні вмісту <sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, <sup>90</sup>Sr, <sup>210</sup>Pb в об'єктах довкілля з використанням сучасного рідинно-сцинтиляційного спектрометра Quantulus 1220<sup>TM</sup>. Обґрунтовано прийнятність, результативність та рамки застосування методів стандартизації та декомпозиції спектрів бета-проміння для рідинно-сцинтиляційного лічення, та Черенковського лічення.

*Ключові слова:* Quantulus 1220<sup>TM</sup>, рідинно-сцинтиляційне лічення, РСЛ, декомпозиція бета-спектрів, радіохімічна підготовка проб, Черенковське лічення, тритій, свинець-210, стронцій-90, радіовуглець, <sup>3</sup>H, <sup>210</sup>Pb, <sup>90</sup>Sr, <sup>14</sup>C.

### APPLICATION OF METHODS OF STANDARDIZATION OF BETA-RADIATION SPECTRUM IN LIQUID-SCINTILLATION TREATMENT

M.G. Buzynnyi

State Institution "O.M. Marzheiev Institute for Public Health, NAMSU", Kyiv

*The features of beta spectra standardization for modern liquid scintillation counting (LSC) using Quantulus 1220<sup>TM</sup> alpha beta spectrometer are considered. The range of tasks is tritium measurement, beta-spectrometric determination of strontium-90, determination of strontium-90 by Cherenkov counting, determination of lead-210 in aerosol filters, radiocarbon studies.*

*The purpose of the study was to summarize and analyze the peculiarities of the application of the methods of spectra standardization of beta-emitters in the study of radioactivity of environmental objects based on liquid scintillation counting.*

*Materials and methods:* liquid scintillation counting, LSC, Cherenkov counting, radiochemical preparation of samples, spectra decomposition of beta-emitters.

**Results:** *Methods for spectra standardization of beta-emitters samples were analyzed in the study of  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  in environmental objects using a modern Quantulus 1220<sup>TM</sup> liquid scintillation spectrometer. The acceptability, effectiveness and scope of application of the methods of standardization and spectra decomposition for beta-emitters for liquid scintillation counting and Cerenkov counting are grounded.*

**Keywords:** *Quantulus 1220<sup>TM</sup>, liquid scintillation treatment, LSC, spectra decomposition for beta-emitters, radiochemical sample preparation, tritium, lead-210, strontium-90, radiocarbon,  $^3\text{H}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{14}\text{C}$ .*

Кольорове або хімічне гасіння проб в РСЛ приводить до деформації спектру, його зсуву та зміни швидкості лічення (ефективності реєстрації). Ці зміни відбуваються як при вимірюванні радіонуклідів, так і фону. Для коректного обрахування активності застосовують різні методи: стандартизація підготовки проб та стандартизація умов вимірювань, зокрема, методи внутрішнього та зовнішнього стандарту [1]. Методи підготовки проб, які застосовують - наприклад, дистиляція води, отримання та очистка бензолу, зокрема, сублимаційна. Для вимірювань використовують метод СРМ/ДРМ, що є стандартним протоколом вимірювань (від виробника) у приладах, методи на основі «кривої гасіння», тощо [2]. Для забезпечення відтворюваності використовують однакові умови: об'єм проби, сцинтилятори, матеріали пляшечок, частина спектру - «енергетичне вікно». Метод «вікна» використовуються в техніці РСЛ, зокрема, для вимірювання низьких рівнів  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  і Черенковського лічення. РС спектрометр Quantulus 1220<sup>TM</sup> має аналого-цифровий перетворювач з логарифмуванням спектру. Приведений далі аналіз вимірювань із застосуванням РС Quantulus 1220<sup>TM</sup> можна поширити і на інші спектрометри з урахуванням особливостей їх реалізації.

Очевидно, що, маючи на меті виконання досконалих вимірювань бета- випромінювачів за допомогою методів рідинно-сцинтиляційного лічення, необхідно виконати стандартизацію, або, іншими словами, забезпечити відтворюваність умов вимірювань, що включає вибір та використання: приладу, віал – пляшечок для вимірювань, відповідної сцинтиляційної рідини, певного методу підготовки матеріалу проб, методів запису спектрів випромінювання проб, їх обробки (обрахунків).

Не зупиняючись на виборі приладу (спектрометра) ми, в той же час розуміємо, що ультра низько-фоновий рідинно-сцинтиляційний спектрометр Quantulus 1220<sup>TM</sup> є кращим варіантом, тому подальший опис виконуємо для нього. Оптимізація конкретного завдання вимірювань приводить нас до вибору віал – пляшечок за матеріалом найбільш поширених: скло, поліетилен, тефлон, об'ємом близько 20 мл для більшості завдань, в той же час для вимірювань  $^{14}\text{C}$  - певного ряду об'ємів: 7,0; 3,0; 0,8 мл.

Аналізуючи необхідну підготовку матеріалу досліджуваних проб, його очистку від домішок, концентрування вимірюваної субстанції, якщо це можливо, ми маємо на увазі:

- для дослідження тритію в пробах води доцільно використовувати дистиляцію (бидистиляцію), іонообмінну очистку, або синтезувати з води бензол:  $\text{H}_2\text{O} \gg \text{C}_6\text{H}_6$  для стандартизації стану вимірюваного матеріалу [3,4,5,6]; проводити одночасний запис двох спектрів: оптимізованого для мінімізації впливу люмінесценції, а іншого оптимізованого на обмеження впливу високоенергетичного бета-проміння, використання кількох ділянок спектрів для проведення обрахунків [7];
- для досліджень стронцію-90 методом декомпозиції спектрів доцільно використовувати високоенергетичну ділянку спектру, побудувати та врахувати «криву гасіння» для кожного радіонукліда суміші та набори спектрів компонент, записані за різних умов гасіння проб [8,9,10];
- для досліджень стронцію-90 методом Черенковського лічення доцільно використовувати модифіковану «криву гасіння», де ефективність і фон залежать від інтенсивності реєстрації зовнішнього стандарту, причому вплив можливих домішок ( $^{137}\text{Cs}$  та  $^{40}\text{K}$ ) обмежують їх низькі ефективності реєстрації [9,11];

- для дослідження  $^{210}\text{Pb}$  у врівноважених пробах доцільно застосовувати термостимульоване висадження  $^{210}\text{Bi}$  разом з  $^{210}\text{Po}$  на металеві диски [12]. Домінуючу активність  $^{210}\text{Pb}$  у рідких пробах (розчинених) можна виділяти шляхом розкладання спектрів – над п'єдесталом [13];
- для досліджень  $^{14}\text{C}$  традиційним методом (РСЛ) оптимізація досягається шляхом стандартизації стану вимірюваного матеріалу – бензолу: виготовлення, очистка, стабілізація [14], та використанням для розрахунків виключно високоенергетичної частини спектру - близько 2/3 площі та забезпеченням умов збігу верхньої межі реєстрування  $^{14}\text{C}$  за спектрами калібрування, фону і вимірюваної проби шляхом оптимізації або їх по-каналного зсуву [15].

**Аналіз методів стандартизації.** Застосування процедур хімічної підготовки проб може давати прийнятний результат щодо відтворюваності стану проб: дистиляція, виділення, зокрема, сублімація, екстракція. Умови вимірювання проб: стандарт, фон, невідома проба, в загальному випадку, можуть бути неоднакові, що вимагає виконувати систематичну або індивідуальну корекцію для їх стандартизації – виконання умов взаємної відповідності. Використання фіксованого об'єму матеріалу проби, використання фіксованої ділянки спектру, відслідковування та урахування залежності інтенсивності реєстрації (ефективності стандарту та фону) від зовнішніх факторів (навколишнє середовище) та внутрішніх факторів – хімічне та кольорове гасіння проб, що виражається у застосуванні: побудові та використанні кривої «гасіння» - все це добре відомі елементи стандартизації спектрів.

**Тритій.** Для проб води, адже нас цікавить ізотоп водню ( $^3\text{H}$ ), а не інші радіонукліди розчинені в ній, і чия присутність, навіть в незначній кількості, ускладнює або унеможливає вимірювання тритію, зрозумілим є використання дистиляції проб для стандартизації стану матеріалу проби. В той час, як у випадку досліджень води з околиць ЧАЕС, де супутнє забруднення води  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  на декілька порядків вище за тритій, ми використовували 2-3 крокову очистку проб води аніон- та катіон- обмінними смолами [4]. Проте в ситуації, коли проби води мають забарвлення та складне забруднення різної природи, що формують органічні речовини, поверхнево активні речовини, тощо, дії зі стандартизації досліджуваної субстанції можуть включати синтез бензолу на основі цієї води і наступне дослідження тритію в бензолі [5,6]. Зауважимо, що такі дії надзвичайно результативні, адже дають можливість отримати чистий бензол, а вимірювання тритію в органічних розчинниках (бензол) мають переваги – низький фон та значно вищу ефективність реєстрації [5,6].

Існуючу стандартну конфігурацію приладу для вимірювань тритію, що включає використання 3-х «вікон» зі спектру, в якому здійснюється моніторинг-виключення подій люмінесценції під час його набору, можна доповнити аналізом 3-х «вікон» іншого спектру [7], в якому для формування спектру виключаються події (зарєстровані імпульси) великої довжини за рахунок використання схеми (модуля) PSA. Ця новація введена за рекомендацією [7]. Таким чином, використовується усереднення по двом різним спектрам, три ділянки для кожного, що дає більш точні та більш стійкі результати, що особливо важливо для вимірювань низьких рівнів тритію.

**Бета-спектрометричні дослідження стронцію-90.** Застосування логарифмуючого АЦП в спектрометрі Quantulus 1220<sup>TM</sup> дає більш зручну можливість візуалізації, розуміння і обробки спектрів, ніж за спектрами з лінійними АЦП. Це, зокрема, стимулювало розвиток та застосування бета-спектрометрії – розкладання спектрів на компоненти, їх декомпозиції, наприклад,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ , та  $^{90}\text{Sr}$ , що є затребуваним завданням заради  $^{90}\text{Sr}$ , відповідні спектри приведено на рисунку 1 [8,9,10].

Що стосується стандартизації спектрів тут використовувались залежності ефективності та форми спектрів кожного радіонукліда від приладового параметра гасіння - SQP(E). Для стандартизації: для урахування зміни ефективності реєстрації – будували «криву гасіння» для кожного радіонукліда, а для урахування зміни форми спектрів – реєстрували (записували), а потім використовували набори спектрів для кожного радіонукліда, які вимірювались за різних умов, що відповідали послідовності значень значенням параметра SQP(E) з постійним приростом - 740, 750, ... 820, 830. Всі ці дії повторювали для фонових проб. Для обчислення спектрів вибирали відповідні найближчі за параметром SQP(E)

калібрувальні спектри радіонуклідів та фону, а для обчислень використовували високоенергетичну ділянку спектру, починаючи з 300 або 400 каналу аж до кінця спектру, що відповідає максимальній граничній енергії з радіонуклідів. У якості оптимізації використовували зсув спектру проби відносно спектрів калібрувальних та фону.

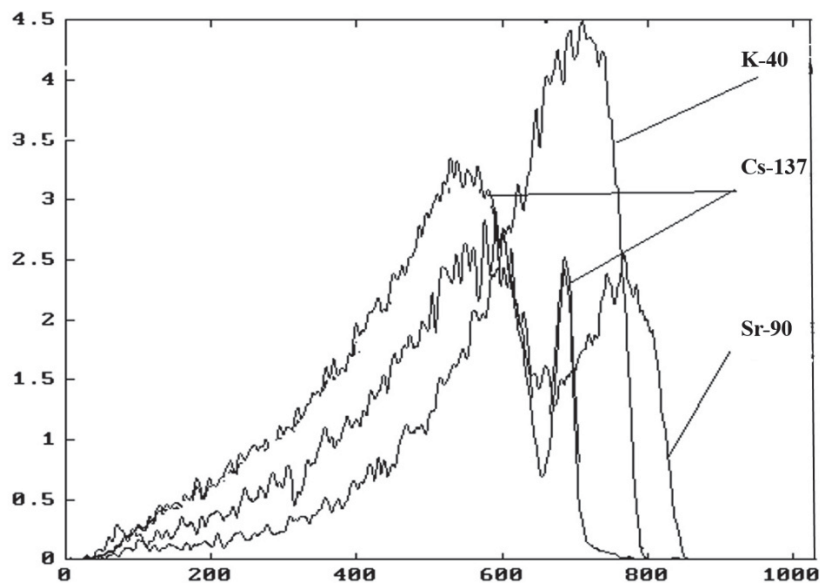


Рисунок 1. Нормовані РСЛ спектри бета-випромінювачів, присутніх у біо-пробах ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ).

Описані вище покрокові дії показують, як реалізується метод бета-спектрометрії або декомпозиції спектрів для випадку РСЛ. Відчуття громіздкості методу можна усунути, застосувавши перетворення спектрів з логарифмічної шкали до лінійної. Якщо таке перетворення спектрів виконувати з урахуванням гасіння отримуємо один набір спектрів компонент, який необхідно зберігати для використання. Для енергетичного калібрування РС спектрометрів використовуємо положення піків кількох джерел конверсійних електронів  $^{207}\text{Bi}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{109}\text{Cd}$  (рис. 2) та їх залежність від параметра гасіння проб SQP(E) (рис. 3) [9]. Зрозуміло, що для калібрування можна також використовувати границі бета спектрів і їм відповідні енергії для кількох радіонуклідів, що менш зручно і менш точно.

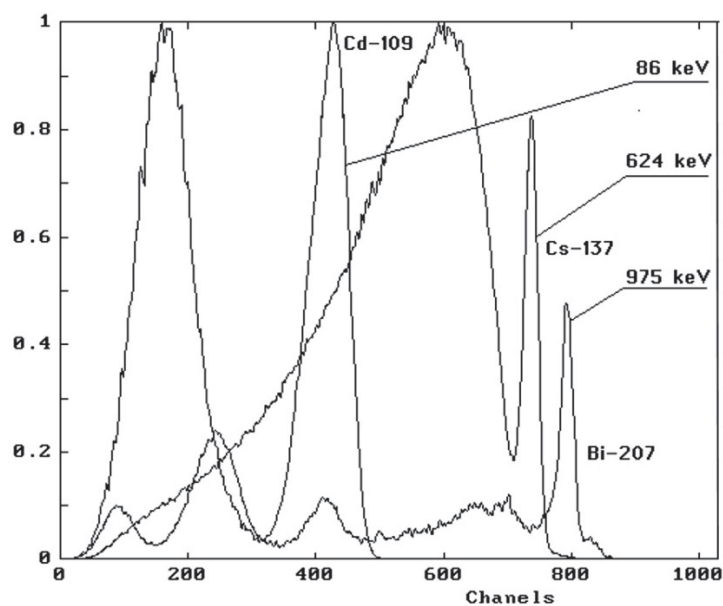


Рисунок 2. Нормовані РСЛ спектри джерел конверсійних електронів ( $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{207}\text{Bi}$ ).

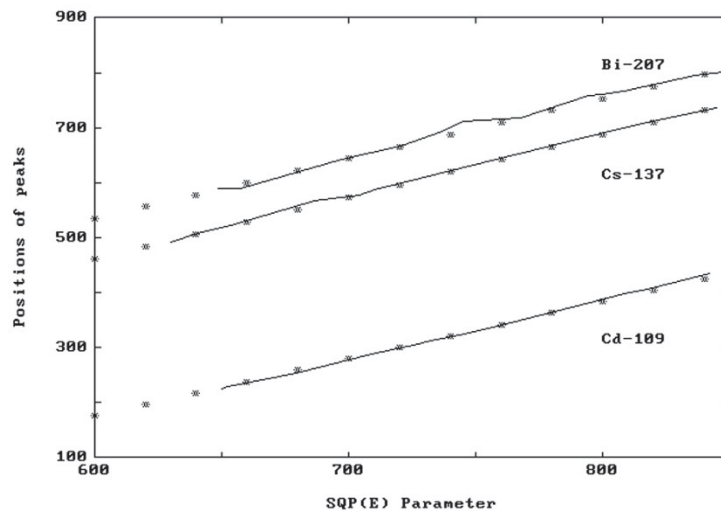


Рисунок 3. Залежності положень піків джерел конверсійних електронів:  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{207}\text{Bi}$  від параметра гасіння проби, SQP(E).

**Черенковське лічення.** Для досліджень вмісту стронцію-90 методом Черенковського лічення доцільно використовувати модифіковану «криву гасіння», де ефективність і фон залежать від інтенсивності реєстрації зовнішнього стандарту, причому вплив можливих домішок ( $^{137}\text{Cs}$  та  $^{40}\text{K}$ ) обмежують їх низькі ефективності реєстрації.

Реєстрації Черенковського проміння на сучасному РСЛ використовується передусім для вимірювання стронцію-90 в об'єктах довкілля. Оскільки приладовий спектр Черенковського проміння лежить в низькоенергетичній ділянці спектру, при його реєстрації надто важливий врахування «гасіння» за рахунок присутності навіть мінімальної кількості домішок, які гасять спектр проби. Параметр гасіння SQP (E), що визначається за спектром зовнішнього стандарту і що застосовується в сучасному РС спектрометрі Quantulus 1220<sup>TM</sup> для врахування і корекції впливу «гасіння» проби при вимірах на основі сцинтиляторів, неприйнятний для Черенковського лічення, оскільки в цьому випадку він не відбиває змін "гасіння". Проблема стандартизації вимірів активності  $^{90}\text{Sr}$  по Черенковському промінню в багатьох типах зразків робить неможливим застосування виключно експресних (спрощених) процедур підготовки проб, таких як концентрування, наприклад, для проб води, оскільки така підготовка проб може призводити до широких коливань ефективності реєстрації бета-випромінювання. За нашими даними, для  $^{90}\text{Sr}+^{90}\text{Y}$  в пробах води ці коливання можуть скласти від 35 до 65%.

Метод СРМ\_Ех запропоновано для стандартизації Черенковського лічення, що виконується на низько-фоновому рідинно-сцинтиляційному спектрометрі Quantulus 1220<sup>TM</sup> [11]. Окрім вимірювання спектру Черенковського проміння кожної проби вимірюється спектр зовнішнього стандарту, що використовується для стандартизації. Встановлено існування залежності швидкості лічення зразка від швидкості лічення зовнішнього стандарту від «гасіння». Реалізація методу полягає у визначенні параметрів залежності швидкості лічення зразка від швидкості лічення зовнішнього стандарту під впливом «гасіння» для кожного з радіонуклідів, передбачуваних до реєстрації. Аналогічна залежність визначається для фонові проби. Отримані залежності використовуються при обрахунку активності проб для визначення значення ефективності реєстрації і швидкості лічення фону для кожного зразка по визначеній для нього швидкості лічення зовнішнього стандарту. Для побудови означених кривих залежності в якості гасника застосовували розчин  $\text{FeCl}_3$ .

**Бета-спектрометричні дослідження свинцю-210.** Свинець-210 має невисоку енергію ( $E_M=63$  кеВ). При його реєстрації методом РСЛ він формує виразний пік в області спектру між каналами 150 та 380 спектрометра. Цей пік значною мірою виділяється, особливо у разі коли, його активність близька або переважає оточення ( $^{210}\text{Bi}$  та ін.). Розробка і застосування

методу пов'язані з визначенням радіоактивності аерозольних фільтрів, на які осаджені аерозолі з об'єму повітря близько  $1000 \text{ м}^3$ .

Не зупиняючись на особливостях відбору проб, увага приділяється відокремленню внеску  $^{210}\text{Pb}$  у сам бета-спектр проби [13]. Для цього віднімається гладка частина бета-спектру, що відповідає  $^{210}\text{Bi}$  та/або іншими радіонуклідами, тобто  $^{137}\text{Cs}$  або навіть  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ , із загального бета-спектру. Розкладання спектрів було виконано аналогічно до [8]. Оминаючи хімічне виділення  $^{210}\text{Bi}$ , було використано спектри інших радіонуклідів, які в цьому енергетичному діапазоні гладкі, тобто спектрів  $^{40}\text{K}$  та  $^{137}\text{Cs}$ . Спектри  $^{137}\text{Cs}$  дали кращі результати за різних умов гасіння.

Калібрування для ефективності підрахунку чітко визначено в широкому діапазоні SQP (E) для стандартного розчину  $^{210}\text{Pb}$  в рівновазі до  $^{210}\text{Po}$ , який можна було б точно виміряти на Quantulus 1220<sup>TM</sup>, використовуючи альфа-бета розділення.

Цей метод випробували для аналізу забруднення фрагментів аерозольних фільтрів із околиць Чорнобильської АЕС. Ці фрагменти, які відповідали аерозолям об'єму повітря 1.0-5.0 тисяч  $\text{м}^3$ , дали можливість виявити окрім піку  $^{210}\text{Pb}$ , ще й пік  $^{241}\text{Pu}$ , які мали різне співвідношення площ, в залежності від місця і часу відбору [13].

**Дослідження радіовуглецю.** Описано метод аналізу бета-спектрів рідинно-сцинтиляційного спектрометра реалізований на основі їх стандартизації шляхом зміщення та багатовіконних обчислень, застосований для обчислень при визначенні  $^{14}\text{C}$  [15]. Збіг спектрів за кінцевою точкою досягається за рахунок їх зміщення. Для розрахунків використовуються високоенергетичні ділянки «вікна» спектрів, що перекриваються між собою.

Розрахунки виконуються для кожної відповідної ділянки за її характеристиками, а остаточним результатом є статистичне усереднення результатів, які отримані по окремих ділянках. Результат усереднення обчислень спектрів у кількох вікнах дає стійкий і більш надійний розв'язок, тоді як відповідне стандартне відхилення або нестабільність результатів дає оцінку якості стандартизації.

Запропонований підхід для обробки спектрів для рідинно-сцинтиляційного спектрометра Quantulus 1220<sup>TM</sup> при вимірюванні  $^{14}\text{C}$ , при використанні трьох видів тefлонових флаконів: 7,0 мл; 3,0 мл та 0,8 мл. При обробці вводимо контрольоване зміщення спектрів для їх візуального збігу за верхньою межею, а розрахунки проводимо для кількох високоенергетичних ділянок спектрів, що перекриваються. Інший, більш точний, варіант вибору оптимального рішення, коли проводиться аналіз результатів обчислення для кількох варіантів зміщення спектру на відповідну кількість каналів вліво або вправо. Далі, із набору розв'язків вибирають оптимальний, де про оптимальність свідчить мінімальне значення стандартного відхилення. Приладова програма Easy View дозволяє в один крок вибрати відповідні спектри калібрування і фону із бібліотеки, а також задати індивідуальні параметри декількох вікон для зчитування, а потім зберегти отримані параметри зчитування спектра кожної відповідної проби у форматі електронної таблиці для наступних розрахунків. Власне розрахунки проводяться в MS Excel або MS Access.

Отже, виконання розрахунків у декількох вікнах для зміщених спектрів дозволяє отримати оптимальний результат та, водночас, провести оцінку його невизначеності. Обробка спектру у декількох вікнах дозволяє отримати кращу (нижчу) невизначеність для зміщених спектрів навіть у випадку, коли результати є сумісними навіть без зміщення.

## Висновки

Проаналізовано ряд методів оптимізації вимірювань бета-випромінювачів за схемою: прилад – пляшечка – сцинтилятор - матеріал проби - обробка спектра для ряду радіонуклідів:  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ , та  $^{90}\text{Sr}$ .

Проілюстровано застосування методу декомпозиції спектрів для визначення трьох різних бета-випромінювачів:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ , та  $^{90}\text{Sr}$ , а також два підходи визначення однієї компоненти для випадку  $^{210}\text{Pb}$  або  $^{14}\text{C}$ . Запропоновані до використання методи декомпозиції

спектрів дають можливість отримати точні і стійкі розв'язки для шуканих компонент спектрів.

Проаналізований метод корекції гасіння Черенковського лічення відкрив можливість просто реалізувати експрес метод вимірювань  $^{90}\text{Sr}$  в пробах води.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Peng C.T. Sample preparation in liquid scintillation counting. In *Advances in Scintillation counting* / Eds. McQuarrie S.A., Edis C., Wiebbe L.I. New York: Academic press, 1983. P. 279.
2. Quantulus. *Measuring Extremely Low Levels of Environmental Alpha and Beta Radiation: Brochure*. 12 p. URL : [http://www.jnhotech.com.tw/comm/up-file/p\\_041105\\_09392.pdf](http://www.jnhotech.com.tw/comm/up-file/p_041105_09392.pdf)
3. Buzinny M. Ten years of tritium monitoring in Ukraine // *Environment and Health*. 2001. Вип. 19 (4). P. 31 - 36 (in Ukrainian).
4. Buzinny M., Panasjuk N., Tsygankov N. LSC-based approach for water analyses around the Chernobyl NPP. *Radiocarbon*. 2006. P. 297 - 303.
5. Neary M.P. Tritium Enrichment – To Enrich or Not to Enrich? *Radioactivity&Radiochemistry*. 1997. Vol. 8. No. 4. P. 23 - 25.
6. Бузинний М.Г. Визначення концентрації тритію методами рідинно-сцинтиляційної лічби: методичні рекомендації для ведення спостережень за радіоактивним забрудненням навколишнього середовища. Київ: УкрНДГМІ, 2001. С. 172 - 181.
7. Taylor C. Personal communication to author.
8. Buzinny M.G., Zelensky A.V., Los' I.P. Beta-Spectrometric Determination of Strontium-90 in Water, Milk, and Other Samples with Ultra-Low-Level Liquid Scintillation Counter In. *Liquid Scintillation Spectrometry // Radiocarbon*. 1993. P. 439 - 446.
9. Бузинний М.Г. Стандартизація рідинно-сцинтиляційних бета-спектрів // *Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія-2006): матер. VI міжнар. наук.-техн. конф.* 2006. Том 2. С. 281 - 285.
10. Buzinny M., Los' I., Shepelevich K. The distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the biomass of pine trees planted in 1987–1988 in the near zone of the Chernobyl nuclear power plant // *Applied Radiation and Isotopes*. 2000. Vol. 52. Is. 4. P. 905 - 910. DOI : 10.1016/S0969-8043(99)00142-6.
11. Бузинний М.Г. Метод коррекции гашения для Черенковского счета на основе интегральной скорости счета внешнего стандарта // *Методы жидкостно-сцинтиляционного счета в радиэкологии : сб. науч. тр.* 1996. Вып. 2. С. 13 - 19. DOI : 10.13140/2.1.4334.9446
12. Buzinny M. 2009. Simultaneous determination of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  using LS technique // *International Topical Conference on Po and Radioactive Pb isotopes*. Sevilla, Spain. DOI : 10.13140/RG.2.2.15078.93760
13. Buzinny M.G. Method for Pb-210 measurement in air based on LSC // *Radiocarbon*. 2006. - P. 215 - 220.
14. Gupta S.K., Polach H.A. *Radiocarbon dating practices at ANU // Radiocarbon Laboratory: Research School of Pacific Studies*. ANU, 1985. 173 p.
15. Бузинний М.Г. Аналіз бета-спектрів рідинно-сцинтиляційного спектрометра шляхом їх стандартизації на основі зміщення і обчислення у багатьох вікнах // *Гігієна населених місць : зб. наук. пр.* Київ, 2014. Вип. 64. С. 222 - 226. URL : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/gnm\\_2014\\_64\\_34](http://nbuv.gov.ua/UJRN/gnm_2014_64_34). DOI : <http://doi.org/10.5281/zenodo.3551696>

#### REFERENCES

1. Peng C.T. Sample preparation in liquid scintillation counting. In *Advances in Scintillation counting*. McQuarrie S.A., Edis C., Wiebbe L.I. (eds.). New York: Academic press, 1983. P. 279.
2. Quantulus. *Measuring Extremely Low Levels of Environmental Alpha and Beta Radiation: Brochure*. 12 p. URL : [http://www.jnhotech.com.tw/comm/up-file/p\\_041105\\_09392.pdf](http://www.jnhotech.com.tw/comm/up-file/p_041105_09392.pdf)
3. Buzinny M. *Environment and Health*. 2001 ; 19(4) : 31-36 (in Ukrainian).

4. Buzinny M., Panasjuk N., Tsygankov N. Radiocarbon. 2006 : 297-303.
5. Neary M.P. Radioactivity&Radiochemistry. 1997 ; 8(4) : 23-25.
6. Buzinny M.G. Vyznachennia kontsentratsii trytiiu metodamy ridynno-stsyntyliatsiinoi lichby: metodychni rekomendatsii dlia vedennia sposterezhen za radioaktyvnym zabrudnenniam navkolyshnoho seredovyscha [Determination of Tritium Concentration by Liquid-scintillation Counting Methods: Guidelines for Monitoring Radioactive Contamination of the Environment]. Kyiv ; UkrNDGMI ; 2001 ; 172-181 (in Ukrainian).
7. Taylor C. Personal communication to author.
8. Buzinny M.G., Zelensky A.V., Los' I.P. Radiocarbon. 1993 ; 439-446.
9. Buzinny M.G. Standartyzatsiia ridynno-stsyntyliatsiinykh beta-spektriv [Standardization of Liquid Scintillation Beta Spectra]. In : Metrolohiia ta vymiriuvalna tekhnika (Metrolohiia-2006): mater. VI mizhnar. nauk.-tekhn. konf. [Metrology and Measurement Techniques" ("Metrology-2006") : Conf. Mater.]. 2006 ; 2 : 281-285 (in Ukrainian).
10. Buzinny M., Los' I., Shepelevich K. Applied Radiation and Isotopes. 2000 ; 52 (4) : 905-910. DOI : 10.1016/S0969-8043(99)00142-6.
11. Buzinny M.G. Metod korrektsii gasheniya dlya Cherenkovskogo scheta na osnove integralnoy skorosti scheta vneshnego standarta [Extinguishing Correction Method for the Cherenkov Account Based on the Integrated Calculation Rate of an External Standard]. In : Metody zhidkostno-stsintillyatsionnogo scheta v radioekologii : sb. nauch. tr. [Methods of Liquid-Scintillation Counting in Radioecology]. 1996 ; 2 : 13-19. (in Russian). DOI : 10.13140/2.1.4334.9446.
12. Buzinny M. 2009. Simultaneous determination of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  using LS technique In : International Topical Conference on Po and Radioactive Pb isotopes. Sevilla, Spain. DOI : DOI : 10.13140/RG.2.2.15078.93760
13. Buzinny M.G. Radiocarbon. 2006 ; 215-220.
14. Gupta S.K., Polach H.A. Radiocarbon dating practices at ANU. Radiocarbon Laboratory: Research School of Pacific Studies. ANU, 1985. 173 p.
15. Buzynnyi M.G. Analiz beta-spektriv ridynno-scyntyliatsiinoho spektrometra shliakhom yikh standartyzatsii na osnovi zmishchennia i obchyslennia u bahatiokh viknakh [LSC Beta Spectra Analysis by Standardization Based on Shifting and Multi-Window Computing]. In : Hygiene of populated places. Kyiv ; 2014 ; 64 : 222-226 (in Ukrainian). URL : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/gnm\\_2014\\_64\\_34](http://nbuv.gov.ua/UJRN/gnm_2014_64_34). DOI : 10.5281/zenodo.3551696

Надійшла до редакції / Received: 15.06.2020

<https://doi.org/10.32402/hygiene2020.70.100>

УДК 614.876:613.55:546.296

## **КОМУНІКАЦІЙНІ СТРАТЕГІЇ ІНФОРМУВАННЯ ПРО РАДОНОВІ РИЗИКИ**

*Аксьонов М.В., Фризюк М.А., Павленко Т.О., Федоренко О.В., Михайленко О.В.  
ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», м. Київ*

*В статті проведено аналіз та визначення найбільш ефективних напрямків комунікаційних стратегій та конкретних підходів до вибору шляхів інформування населення про радонові ризики.*

*Комунікація з населенням стосовно радонових ризиків є невід'ємною частиною національного плану дій щодо радону, а інформування про ризики від радону є специфічною вимогою Основних стандартів безпеки МАГАТЕ.*