*УДК 543.429.3+612.129.1+519.257*

**[1]Стець М.В.,** н.с.; **[1]Поп О.М.,** асп.;
**[2]Сіксай Л.Т.,** д.м.н., проф.; **[2]Сірчак Є.С.,** к.м.н., доц.

# ГАММА-СПЕКТРОМЕТРІЯ КРОВІ ЛЮДИНИ В ПІСЛЯЧОРНОБИЛЬСЬКИЙ ПЕРІОД. ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ

*[1]Інститут електронної фізики НАН України, 88017, м. Ужгород, вул. Університетська, 21, e-mail: oksana_pop@i.ua*
*[2]ДВНЗ «Ужгородський національний університет»,88000, м.Ужгород, вул. Підгірна, 46*

## Вступ

Не дивлячись на віддаленість подій 25-26 квітня 1986 року, коли трапилась аварія на ЧАЕС, інтерес до всього комплексу проблем, які ці події створили, не зникає. Стало зрозумілим, що кількість жертв аварії з часом більше не зростає, а спадає. Рівень радіоактивного забруднення довкілля, в певній мірі, суттєво понизився та стабілізувався. Зараз (на сьогодні) він повинен визначатись, і визначається довгоживучими нуклідами, на рівні активностей, що вписуються в флюктуацію фону. Цей висновок є бажаним і очікуваним, але не очевидним.

У Відділі фотоядерних процесів Інституту електронної фізики НАН України були виконані подальші виміри природної гамма-активності зразків крові ліквідаторів аварії на Чорнобильській АЕС 1986р. Ці виміри є спробою отримати кількісну оцінку змін у нуклідному складі зразків.

## 2. Експериментальна частина

*2.1. Підготовка зразків.* Був здійснений відбір зразків крові ліквідаторів – 16 чоловік (зразки s1 – s16). Маса зразків – від 15г до 23г. Ці зразки після переупаковки у вимірювальні полістиролові стакани герметизувались та вистоювались не менше двох тижнів для відновлення радіоактивної рівноваги між газом радоном $^{222}$Rn та його дочірніми радіонуклідами $^{214}$Pb, $^{214}$Bi.

*2.2. Гамма-спектрометрія.* Виміри виконано на гамма-спектрометричному комплексі, що складається з напівпровідникового Ge(Li) – детектора гамма-квантів ДГДК 100В, електронного та програмного забезпечення SBS-40. В якості стандарту використані зразки атестованого джерела ОИСН на основі нукліда Eu152. Тривалість одного виміру складала від 0,5 годин до 2 годин.

Для покращення якості вимірів зразків з низькими рівнями гамма-активності розроблено та використано систему стабілізації та пониження фону ССПФ [1]. Було здійснено підготовку зразків, гамма-спектрометрію зразків, пошук аналітичних ліній та ідентифікацію радіоактивних нуклідів, визначення їх гамма-активностей.

*2.3. Додаткова обробка даних.* Окрім алгоритмів обробки експериментальних апаратурних гамма-спектрів що входять в пакет програмного забезпечення SBS-40, нами була здійснена додаткова обробка даних [2, 3]. Так, кожен із 16 зразків крові представлений 20 – 40 експериментальними апаратурними гамма-спектрами, що дозволяє використати техніку бутстреп-методів пониження статистичної похибки вимірів.

Для збільшення надійності виділення слабих ліній в апаратурних гамма-спектрах використано Фур'є- та Вейвлет-фільтрацію сигналів.

*2.4. Похибки.* Похибки складались в основному з випадкових похибок, спричинених пуасонівським радіоактивним розпадом. Для слабоактивних по своїй природі та невеликих по масі зразків крові вони могли бути значними і сягати 40%. Засобом пониження, як вказано, було використання комбінованого варіанту бутстреп-методики, який включає повторні виміри. Основним джерелом систематичних похибок була гамма-активність фону – довкілля детектора (захисту, повітря, тощо).

© Стець М.В., Поп О.М., Сіксай Л.Т., Сірчак Є.С.

Окрім використання системи стабілізації та пониження фону ССПФ, яка суттєво понижує та стабілізує фон безпосередньо біля зразка, здійснювались, в разі потреби, повторні серії вимірів. Окрім цього була використана техніка фітінгу [1], яка дозволяє враховувати вклад фонової активності в активність зразка. Вказані засоби дозволяли понизити рівень похибок до рівня ≤ 10%, який на даному етапі слід вважати задовільним.

### 3. Результати експерименту

Експериментально встановлено, що на даний час (25 років після аварії) список нуклідів, ідентифікованих в зразках, складається з:

- в основному з окремих нуклідів радіоактивних рядів (сімейств) $^{232}$Th, $^{235}$U, $^{238}$U; також $^{137}$Cs.
- епізодично довгоживучих уламків поділу, зокрема $^{134}$Cs, $^{152}$Eu, $^{154}$Eu, $^{110m}$Ag, а також $^{22}$Na, $^{60}$Co, $^{40}$K, $^{239}$Pu, $^{241}$Pu, $^{237}$U.

*3.1. Нуклідні спектри.* У роботі ми приводимо частину основних даних у вигляді нуклідних спектрів активностей нуклідів – членів рядів $^{232}$Th, $^{235}$U, $^{238}$U (рис. 1 – 4). Таке представлення, на наш погляд, дозволяє у компактній формі здійснювати порівняльний аналіз.

*3.2. Аналіз отриманих результатів. Висновки.* Позаяк у роботі ми привели в графічному чи табличному виді не всі дані, тому можемо говорити лише про якісні висновки. Наші висновки узгоджується з міркуваннями, приведеними у Вступі. Ми реєструємо гамма-активність нуклідів – членів рядів $^{232}$Th, $^{235}$U, $^{238}$U. $^{235}$U, $^{238}$U, як материнські нукліди рядів, є основним компонентом ядерного палива, яке було розсіяно в атмосфері Землі внаслідок потужної пожежі (горіння графіту) на аварійному блоці ЧАЕС. Не дивлячись на те, що основними компонентами палива по масі були $^{235}$U, $^{238}$U, $^{234}$U, їх вклад в загальну активність та дозу був мізерним в порівнянні з активністю та дозою від уламків поділу.

Зараз, через 25 років, ситуація змінилась: вклад $^{235}$U, $^{238}$U, $^{234}$U став основним. Ми розглядаємо отримані результати як достатньо представницькі, однак кількість зразків необхідно збільшити. Тоді ми зможемо робити більш обґрунтовані висновки про типовість чи випадковість знаходження в організмі ліквідаторів ізотопів плутонію та інших нуклідів, характерних саме для зони відчуження. Для порівняння необхідна гамма-спектрометрія зразків крові здорових людей.

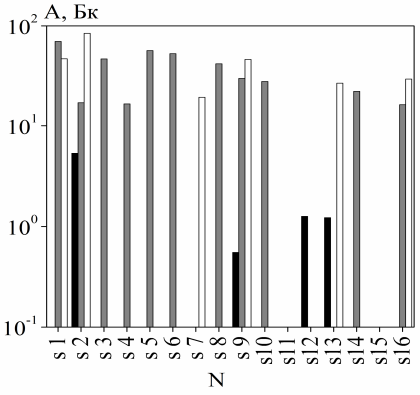


**Рис. 1.** Нуклідний спектр активностей A (Бк) $^{234}$Th (чорний), $^{234m}$Pa (сірий), $^{230}$Th (прозорий). N – номер зразка.

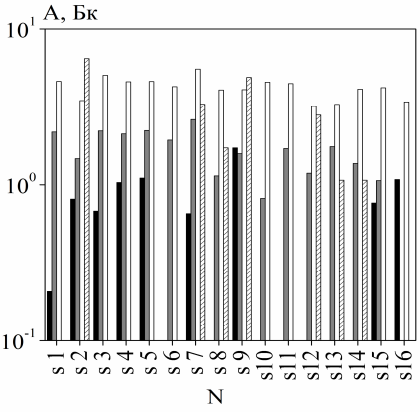


**Рис. 2.** Нуклідний спектр активностей A (Бк) $^{226}$Ra (чорний), $^{214}$Pb (сірий), $^{214}$Bi (прозорий), $^{210}$Pb (прозорий з рисками). N – номер зразка.

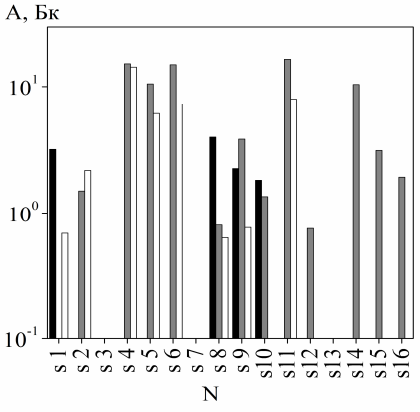


**Рис. 3.** Нуклідний спектр активностей A (Бк) $^{235}$U (чорний), $^{231}$Pa (сірий), $^{231}$Th (прозорий). N – номер зразка.

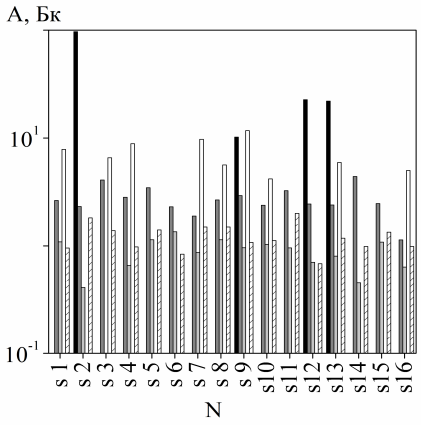


**Рис. 4.** Нуклідний спектр активностей А (Бк) $^{232}$Th (чорний), $^{228}$Ac (сірий), $^{212}$Pb (світло-сірий), $^{212}$Bi (прозорий), $^{208}$Tl (прозорий з рисками). N – номер зразка.

## 4. Метод стандартних множин

Метод стандартних множин (МСМ), розроблений нами на основі гамма-спектрометричних методик визначення вмісту нуклідів в зразках, дозволяє отримати додаткову інформацію, зокрема часові параметри. Деякі з них можуть тлумачитись, як тривалості існування. МСМ може виявитись корисним у дослідженнях крові людини. Тому розглянемо спочатку основи методу; потім розглянемо приклади його застосування.

*4.1. Події.* Зразки, які ми досліджуємо, є представниками середовищ та процесів, що там відбуваються. Склад та вміст нуклідів в зразку є предметним об'єктом дослідження методик ядерної гамма-спектрометрії, з якими ми працюємо.

Тут ми розглядаємо тільки нукліди – члени рядів $^{232}$Th, $^{235}$U, $^{238}$U.

Нукліди з різних рядів ніяк не пов'язані між собою, тому ми розглядаємо кожен ряд незалежно від іншого ряду.

Вважаємо, що зміна у зразку внаслідок того чи іншого впливу на нього і як представника певного середовища та/або процесу – призводить до зміни його нуклідного складу. Зареєстрований факт зміни нуклідного складу зразка будемо називати *подією* [5].

*4.2. Впорядковані множини нуклідів.* Особливістю нуклідів рядів $^{232}$Th (і відповідно $^{235}$U, $^{238}$U) є те, що їх множина є впорядкованою множиною – системою, бо має емерджентну властивість – всі нукліди одного ряду генетично-пов'язані взаємним ядерним перетворенням (утворенням / розпадом). Генетичний зв'язок робить множину нуклідів системою.

Множини нуклідів у виміряних зразках є резон назвати *експериментальними множинами.*

Відповідно, кількісною характеристикою цих експериментальних множин *є експериментальні нуклідні спектри (ЕНС)* їх активностей *A* – впорядковані послідовності експериментальних значень активностей *A* нуклідів рядів.

*4.3. Утворення стандартних множин.* Ми будемо працювати з активностями *A*; кількість ядер $N = A / \lambda$, де $\lambda$ – стала розпаду.

*До події* активність $A_n(T)$ кожного *n*-го нукліда ряду в експериментальному нуклідному спектрі можна представити узагальненим для випадку розгалужених ланцюгів виразом – розв'язком системи диференціальних рівнянь Батемана – Рубінсона [8, 9]:

$$A_{ne}(T) = A_{10} \cdot \sum_j \Pi_i b_i \sum_i C_i e^{\lambda_i T_e} \qquad (1),$$

де $A_{10}$ – початкові значення активності; $b_i$ – коефіцієнти розгалуження (які ми назвемо «внутрішніми» бренчінгами і, значення яких є ядерними константами); $b_i \le 1$; $C_i$ – коефіцієнти, що залежать від $\lambda$.

Сукупність всіх умов та розв'язків (1) назвемо для зручності РБР1. Множину нуклідів ряду, що задовольняє РБР1, ми називаємо *стандартною множиною ряду (стандартною множиною).*

*4.4. Утворення нестандартних множин.* Можна показати, *що внаслідок елементарної події* активність $A_n(T)$ кожного *n*-го нукліда ряду в експериментальному нуклідному спектрі зразка можна представити сумою *одноіменних* активностей [8]:

$$A_n(T) = A_{ne}(T_e) + \sum_e K_e \cdot A_{ne}(T_e) \qquad (2),$$

де $K_e$ – «зовнішній» бренчінг (коефіцієнт розгалуження, який задається (визначається) зовнішніми факторами, зокрема способом впливу на зразок; $0 \le K_e \le 1$).

Перший доданок $A_{ne}(Te)$ у сумі (2) – це активність *n*-го нукліда ряду $^{232}$Th (відповідно для $^{235}$U, $^{238}$U), що описується (1) і тому цей нуклід є членом стандартної

множини. Цей доданок можна також назвати стандартною частиною суми (2).

Другий доданок в сумі (1) – це сума активностей ядер $K_e \cdot A_{ne}(T_e)$ одноіменних нуклідів нових (коротких) рядів, що могли утворитись внаслідок події. Напр., активність $^{230}$Th = активність $^{230}$Th ряду $^{238}$U + активність $^{230}$Th ряду $^{230}$Th. Кожен із членів суми активностей – вираз, подібний виразові (1), бо є виразом для розрахунку стандартної множини.

Таким чином, *нестандартні множини* – це множини нуклідів ряду, активність яких описуються виразом (2).

*4.5. Метрологія методу.* Маючи експериментальну множину нуклідів, ми знаходимо в ньому стандартні та нестандартні множини. Знайшовши їх та, визначивши відповідні нуклідні спектри, що отримуються на основі розрахунків (1), і є, як видно, часовими залежностями активностей $A_{M\ ГАН}(T_e)$. Для кожного нукліда ряду – ми можемо, в принципі, ці множини поміряти. Наша впевненість ґрунтується, зокрема, на незмінності закону радіоактивного розпаду/утворення ядер, де б ми його не використовували: в моделюванні, чи в зразкові.

Кількісною характеристикою стандартних множин будуть *модельні нуклідні спектри (МНС)* активностей *A*. Модельні нуклідні спектри отримуються на основі розрахунків (1).

Кількісною характеристикою стандартних множин, як частини експериментальних множин, є експериментальні нуклідні спектри активностей. Таким чином, ми стандартні множини можемо:

- визначити експериментально, визначивши їх експериментальний нуклідний спектр;
- розрахувати, використавши (1).

Цей факт є основою для можливості вимірювання, бо є виконанням однієї із засад метрології – аксіоми однорідності величини та її міри (стандарта). Тому наше вимірювання може полягати в порівнянні двох однорідних величин: експериментального нуклідного спектра (стандартної чи нестандартної множини) з модельними нуклідним спектром, який повинен виконувати функцію стандарта.

*4.6. Таблиця стандартів.* Розрахувавши значення активностей в (1) для достатньо великої кількості точок часу $T_e$, ми можемо отримати часові залежності модельних нуклідних спектрів для всіх нуклідів – рядів сімейств $^{232}$Th $^{235}$U, $^{238}$U. Часові залежності для цих сімейств приведені на рис. 5-7.

Отримавши, таким чином, таблицю модельних значень активностей, ми, здійснивши нескладну процедуру прив'язки до експериментального нуклідного спектра, отримаємо таблицю «модельно-експериментальних» значень активностей *A*, яку назвемо таблицею стандартів {МЕНС A($T_e$)}.

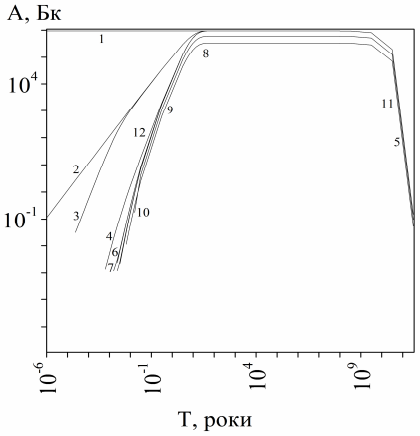


**Рис. 5.** Часові залежності активностей стандартної множини $^{232}$Th (1 – $^{232}$Th, 2 – $^{228}$Ra, 4 – $^{228}$Ac, 5 – $^{228}$Th, 6 – $^{224}$Ra, 7 – $^{220}$Rn, 8 – $^{216}$Po, 9 – $^{212}$Pb, 10 – $^{212}$Bi, 11 – $^{212}$Po, 12 – $^{208}$Tl)

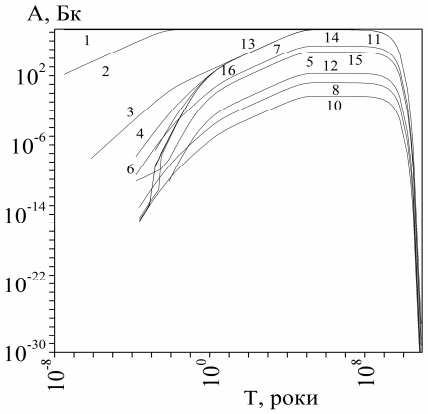


**Рис. 6.** Часові залежності активностей стандартної множини $^{235}$U (1 – $^{235}$U, 2 – $^{231}$Th, 3 – $^{231}$Pa, 4 – $^{227}$Ac, 5 – $^{223}$Fr, 6 – $^{227}$Th,7 – $^{223}$Ra, 8 – $^{219}$Rn, 9 – $^{215}$Po, 10 – $^{211}$Pb, 11 – $^{211}$Bi, 12 – $^{207}$Tl, 13 – $^{219}$At, 14 – $^{215}$Bi, 15 – $^{215}$At, 16 – $^{211}$Po)

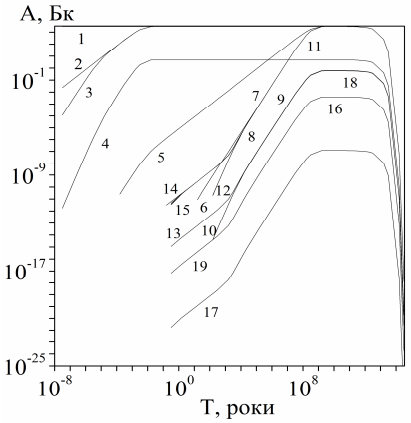


**Рис. 7.** Часові залежності активностей стандартної множини $^{238}$U (1 – $^{238}$U, 2 – $^{234}$Th, 3 – $^{234m}$Pa, 4 – $^{234}$Pa, 5 – $^{234}$U, 6 – $^{214}$Po, 7 – $^{210}$Pb, 8 – $^{210}$Bi, 9 – $^{230}$Th, 10 – $^{226}$Ra, 11 – $^{222}$Rn, 12 – $^{218}$Po, 13 – $^{214}$Pb, 14 – $^{214}$Bi, 15 – $^{218}$At, 16 – $^{210}$Tl, 17 – $^{206}$Hg, 18 – $^{210}$Po, 19 – $^{206}$Tl).

Отриману таблицю, розраховану з певним кроком дискретизації значень $T_e$, можна, в разі потреби, деталізувати, розраховуючи нові рядки – значення стандартів МЕНС $A(T_e)$ для нових значень $T_e$.

Можна сказати, що отримана нами таблиця стандартів {МЕНС $A\ (T_e)$} – це таблиця модельних часових еволюційних залежностей $A_{МЕГАН}(T_e)$, нормована («прив'язана») до конкретних експериментальних умов. Вкажемо, що таблиці модельних часових еволюційних залежностей $A_{ME\ ГАН}\ (T_e)$ отримані на основі розрахунків та умов розрахунків РБР1 з використанням рівняння (1). Стартова кількість ядер материнських радіонуклідів ($^{232}$Th, $^{235}$U, $^{238}$U ) = $6{,}022\cdot10^{23}$ ядер (1 моль – число Авогадро).

*4.7. Вимірювання стандартних множин.* Кожен рядок отриманої нами таблиці стандартів {МЕНС $A\ (T_e)$} є, як видно, стандартом – модельним нуклідним спектром активностей нуклідів стандартної множини, визначений для моменту часу $T_e$. Тому, знайшовши в таблиці стандартів рядок, рівний по значенню із експериментальним нуклідним спектром, ми здійснили його вимірювання.

*4.8. Тривалість існування стандартної множини.* Окремим та цікавим результатом вимірювання є час $T_e$. Більш точно: експериментальному нуклідному спектру ставиться у відповідність часова ордината $T_e$ стандарта МЕНС $A\ (T_e)$, з яким цей спектр порівнюється. Ми можемо тлумачити час $T_e$ як тривалість існування стандартної множини, для якої виконувалось порівняння двох спектрів. Ця стандартна множина могла з'явитись в результаті події.

*4.9. Невизначеності.* Активності нуклідів, що складають експериментальний нуклідний спектр – експериментальні величини, тобто визначені з певною похибкою. Сукупність цих похибок впливає на вимір цього спектра в таблиці стандартів.

Крім цих, випадкових, похибок слід вважати на наявність і систематичних похибок різних типів, зокрема інтерференцій.

Тому для активності $A_I(T_m)$ нукліда слід записати нерівності:

$$A_K\ (T_{emin}) \le A_I(T_m) \le A_L(T_{emax}) \quad (3)$$

$A_K(T_{emin})$ належить стандарту МЕНС $A_K(T_{emin})$, який обмежує $A_I\ (T_m)$ «знизу»;

$A_L(T_{emax})$ належить стандарту МЕНС $A_L(T_{emax})$, який обмежує $A_I\ (T_m)$ «зверху»;

$A_I(T_m)$ належить експериментальному нуклідному спектру ЕНС $A_I\ (T_m)$.

*4.10. Вимірювання нестандартних множин.* Ми вказали на причину появи нестандартних множин в зразках. Коли здійснюється вимір, невідомо, з якою множиною мають справу – стандартною, що представлена виразом (1) чи нестандартною, яка представлена виразом (2). Тому правильним буде використання виразу (3) для визначення активності $A_I(T_m)$ нукліда, незалежно належить ця активність нукліду стандартної чи нестандартної множини.

*4.11. Визначення часового проміжку $\Delta T$.* Вибравши стандарт МЕНС $A(T_{emin})$ та стандарт МЕНС $A(T_{emax})$ із множини всіх їх можливих значень залежностей (тобто із таблиці стандартів {МЕНС $A(T_e)$}), ми вибрали значення часів $T_{emin}$, $T_{emax}$. Ці значення можна інтерпретувати як тривалості існування стандартної множини.

Маючи значення $T_{emin}$, $T_{emax}$ можна визначити часовий проміжок $\Delta T$:

$$\Delta T = T_{emax} - T_{emin} \quad (4)$$

Значення $T_{emin}$, $T_{emax}$ та часовий проміжок (4) вибирають, беручи до уваги значення похибок (невизначеностей). Отже, замість одного точного значення $T_e$, ми повинні працювати з проміжком $\Delta T$, який це значення $T_e$ включає.

## 5. Застосування методу стандартних множин в дослідженні радіонуклідного складу зразків крові

Відомо, що кров з точки зору нуклідного складу є динамічним об'єктом; тільки з певною обережністю можна казати про її фіксований нуклідний склад («консерватизм складу»), зокрема про існування стандартних множин (впорядкованих множин нуклідів – членів рядів $^{232}$Th, $^{235}$U, $^{238}$U). Разом з тим гамма-спектрометрія крові підтверджує вміст в ній радіоактивних нуклідів, які є (тривалий час) і в організмі людини. Таким чином, радіонуклідний склад крові є інформативним об'єктом дослідження, бо корелює з вмістом радіонуклідів в організмі. Тому ми коротко розглянемо можливості методу стандартних множин в цій предметній області.

*5.1. Аналіз експериментальних нуклідних спектрів.* Представниками стандартних чи нестандартних множин є їх нуклідні спектри, що складають експериментальні нуклідні спектри активностей. Таким чином, мова йтиме про аналіз експериментальних нуклідних спектрів ЕНС. На рис. 8 – 10 наведені експериментальні нуклідні спектри активностей ЕНС зразка s9 .

*5.2. Оцінка нестандартності ЕНС.* Визначатимемо експериментальні множини $^{232}$Th та $^{238}$U, бо вони виявлені та зареєстровані в зразку крові. Почнемо з експериментальної множини $^{232}$Th. Перевірка умови (3) графічно виглядає у побудові рисунків: стандартів МЕНС $A(T_{emin})$ та МЕНС $A_L(T_{emax})$, знайдених в таблиці стандартів {МЕНС $A(T_e)$}, які ми будемо зображати на рисунках світлими прямокутниками; чорними прямокутниками ми будемо зображати експериментальні нуклідні спектри.

Аналіз рис. 8 дозволяє вважати, що експериментальні множини $^{232}$Th – дійсно стандартні, тому що не виявлено аномально великих (або навпаки, аномально низьких) значень активностей в їх експериментальних нуклідних спектрах.

Для експериментальної множини $^{238}$U (рис. 9) ситуація дещо інша: аномально виділяється нуклід $^{230}$Th в її експериментальному нуклідному спектрі. Це означає, що експериментальна множина $^{238}$U – нестандартна, тому ми повинні здійснити декомпозицію: віднімання стандартної множини $^{238}$U від експериментальної множини $^{238}$U, і цим отримати (виділити) стандартну множину $^{230}$Th. Результати декомпозиції приведені на рис. 10.

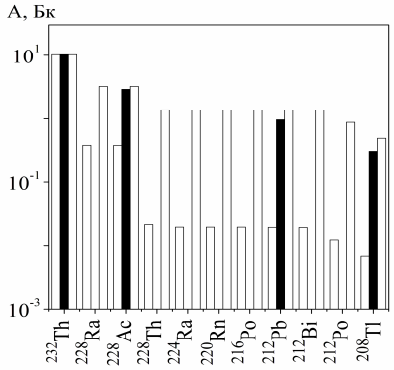


**Рис. 8.** Експериментальний нуклідний спектр *A* активностей зразка s9 (виділено чорним) та МНС *A* стандартів множини $^{232}$Th (світлі прямокутники). ΔT (роки) = 0,3 – 3.

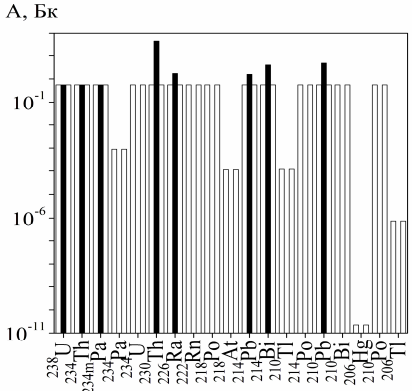


**Рис. 9.** Експериментальний нуклідний спектр *A* активностей зразка s9 (виділено чорним) та МНС *A* стандартів множини $^{238}$U (світлі прямокутники).

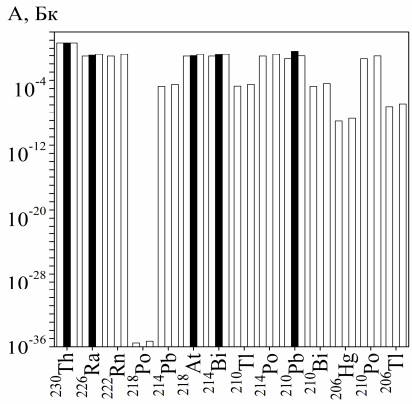


**Рис. 10.** Експериментальний нуклідний спектр *A* активностей зразка s9 (виділено чорним) після декомпозиції (віднімання) та МНС *A* стандартів множини $^{230}$Th (світлі прямокутники). ΔT (роки) = 63 – 79.

**Таблиця.** Результати визначення часового проміжку ΔТ зразків крові.

| | $\Delta T_{232Th}$, роки | похиб. $\delta_{\Delta A}$, % | $\Delta T_{230Th}$, роки | похиб. $\delta_{\Delta A}$, % |
|---|---|---|---|---|
| s2 | 0,031-3,17 | 2 | 47 – 63 | 7 |
| s9 | 0,31-3,17 | 2 | 63 – 79 | 6 |
| s12 | 0,31-3,17 | 4 | - | - |
| s13 | 0,31-3,17 | 4 | 79-110 | 3 |

## Висновки

Кінцевим результатом вимірювання стандартних множин є отримання часових проміжків Δ*T*. Їх значення приведені у підписах під рисунками, та у таблиці. Відносні похибки $\delta_{\Delta A}$ визначення часового проміжку Δ*T* розраховані у припущенні, що статистика реєстрованих сигналів – це пуасонівська статистика, та що відносна похибка визначення активностей рівна 10%.

Значення часових проміжків Δ*T* стандартної множини $^{232}$Th співрозмірні із віком зразків, і свідчать, що ця множина «молода». Часові проміжки Δ*T* стандартної множини $^{230}$Th співрозмірні із віком ліквідаторів.

Ми не будемо інтерпретувати отримані значення, які нам здаються коректними та цікавими, однак можуть мати і інше тлумачення. Справа також і в тому, що ми вперше розглядаємо величину «тривалість існування стандартної величини», причому в такому об'єкті, як кров. Тільки збільшення експериментальних даних дозволить нам отримати більшу впевненість в результатах. Разом з тим, часовий проміжок Δ*T*, як часовий параметр, на наш погляд, надає результатам гамма-спектрометрії зразків крові нове інформаційне «звучання».

## Список використаних джерел

1. Юркуц Ю.Ю., Поп О.М., Стець М.В., Маслюк В.Т. Система стабілізації та пониження фону в гамма-спектрометричному комплексі // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика. – 2011. – Вип. 30. – С. 188-196.
2. Поп О.М. Використання Фур'є- та Вейвлет-фільтрації при обробці слабих піків в апаратурних гамма-спектрах // Тези доповідей Міжнародної наукової конференції молодих вчених і аспірантів «ІЕФ'2013». 20-23 травня 2013 р. Ужгород. – 2013 – С. 173.
3. Поп О.М. Використання бутстреп-методів у деяких задачах ядерної гамма-спектрометрії // Тези доповідей Міжнародної наукової конференції молодих вчених і аспірантів «ІЕФ'2013». 20-23 травня 2013 р. Ужгород. – 2013 – С. 174.
4. Поп О.М., Стець М.В. Статистичні характеристики термічного впливу на вміст нуклідів рядів торію-232, урану-238 та К-40 в процесах отримання кераміки // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Хімія. – 2010. – Вип. 24. – С. 197-203.
5. Вагнер Г.А. Научные методы датирования в геологии, археологии и истории. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2006. – 576 с.
6. Murrell M. Uranium-series geochemistry: by B. Bourdon, G. M. Henderson, C. C. Lundstrom and S. P. Turner (eds.) // Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy and Geochemistry. – 2003. – Vol. 52 – 656 p.
7. Маслов И.А., Лукницкий В.А. Справочник по нейтронному активационному аналізу. – 1971. – 212 с.
8. Поп О.М., Стець М.В. Моделі еволюції множин радіоактивних нуклідів рядів торію 232, урану 235, урану 238 та їх застосування // Доповіді Національної академії наук України. – 2013. – № 4. – С. 65-71.

Стаття надійшла до редакції: 11.09.2013

## GAMMA-SPECTROMETRY OF THE HUMAN BLOOD IN THE POST-CHERNOBYL PERIOD. DETERMINATION OF TIME

**Stec M.V., Pop O.M., Siksay L.T., Sirchak E.S.**

The results of gamma spectrometry blood 16 liquidators of the Chernobyl accident are given. The concludes about certain changes for 25 years in the list of gamma-active nuclides, registered in the blood samples. The short description is given and considers the possibility of a new method – the standard sets method for determining the age of the standard sets (ordered sets of nuclides – members of the series $^{232}$Th, $^{235}$U and $^{238}$U). The continued existence of standard sets in blood samples is an interesting experimental result.