

Голові разової спеціалізованої вченої ради  
Інституту ядерних досліджень НАН  
України доктору фізико-математичних  
наук, старшому науковому співробітнику,  
завідувачу відділу фізики важких іонів  
Інституту ядерних досліджень НАН  
України Понкратенко Олегу  
Анатолійовичу

## РЕЦЕНЗІЯ

кандидата фізико-математичних наук, старшого дослідника, завідувача відділу фізики  
лептонів Інституту ядерних досліджень НАН України  
Кобичева Владислава Валерійовича  
на дисертаційну роботу Мизнікова Дмитра Євгеновича на тему  
«Нерадіохімічні методи реєстрації радіонуклідів  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{59,63}\text{Ni}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  із відходів АЕС»,  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
у галузі знань «10 Природничі науки» за спеціальністю «104 Фізика та астрономія»

### **1. Актуальність обраної теми дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота належить до сфери ядерної фізики та присвячена розробці нових методів реєстрації довгоживучих радіонуклідів, що розпадаються без випромінення жорстких гамма-квантів та напрацьовуються в процесі роботи ядерних реакторів, а також застосуванню розроблених методів для дослідження поведінки радіонуклідів у 30-км зоні ЧАЕС. Актуальність теми дисертації визначається важливістю характеристики радіоактивних відходів у галузі атомної енергетики для радіоекологічного моніторингу в зв'язку зі збільшенням числа ядерних реакторів, що виводяться з експлуатації. На сьогодні у світі виведено з експлуатації чи знаходяться на стадії виведення сотні ядерних енергетичних реакторів, установок ядерного паливного циклу, дослідницьких реакторів та критичних збірок. При штатній експлуатації реакторів утворюються радіоактивні матеріали зі специфічними властивостями, зокрема наявність радіонуклідів з дуже тривалими періодами напіврозпаду; значна кількість ізотопів, які розпадаються з випромінюванням тільки бета-частинок і рентгенівських (або дуже м'яких гамма-) квантів. Багато матеріалів після відповідної переробки можна використовувати повторно, але для цього необхідне ретельне вивчення стану радіоактивних речовин, їх кількості та місць зосередження. Щоб визначити активності довгоживучих радіонуклідів, які розпада-

ються без випромінювання супутніх жорстких гамма-квантів, використовуються радіохімічні методи. Але значні об'єми опромінених конструкційних матеріалів не дозволяють отримувати дані про радіонуклідний склад активованих матеріалів лише за допомогою радіохімічних методів. Тому для забезпечення безпечної роботи діючих АЕС і безпечного виведення ядерних установок з експлуатації розробка нових нерадіохімічних методів характеристики радіоактивних матеріалів є надзвичайно важливою і актуальною проблемою, як світового масштабу, так і особливо для енергетики України.

## **2. Оцінка структури дисертації, її наукового рівня та обґрунтованості/достовірності положень, що в ній сформульовані**

Дисертаційна робота має загальний обсяг 120 сторінок. В зміст включено анотації українською та англійською мовами, вступ, 4 розділи, висновки, список використаних джерел (86 позицій) та додатки.

У **вступі** викладено обґрунтування вибору теми дослідження, мета і завдання, методи дослідження, наукова новизна отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача. Описано сучасні методи реєстрації довгоживучих радіонуклідів, що розпадаються без випромінювання гамма-квантів та напрацьовуються в процесі роботи атомних реакторів. Наголошується, що використання таких нуклідів для проведення масових вимірювань технічно складне, дороге і трудомістке. Подано список наукових програм та тем, в рамках яких виконувалось дисертаційне дослідження. Охарактеризовано мету і завдання дослідження, об'єкт і предмет дослідження, використані методи, наукову новизну і практичне значення результатів, особистий внесок автора. Представлено список конференцій, де відбувалась апробація основних результатів.

У **першому розділі** представлено огляд літератури за темою дослідження. Викладено основні методи аналізу довгоживучих DTM-нуклідів (DTM – difficult-to-measure), які напрацьовуються в конструкційних елементах ядерних реакторів і які неможливо виміряти методами реєстрації гамма-випромінювання (серед цих нуклідів –  $^{59}\text{Ni}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ). Охарактеризовано основні підходи до проблеми – прямі вимірювання DTM-нуклідів та метод кореляційних коефіцієнтів, який ґрунтується на побудові кореляції між DTM-радіонуклідами та радіонуклідами, які легко виміряти (easy-to-measure, ETM). На практиці серед ETM-нуклідів використовують  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  і  $^{125}\text{Sb}$ .

У **другому розділі** описано фотоактиваційний метод визначення деяких DTM-нуклідів (берилію-10, заліза-55, нікелю-59, нікелю-63) в конструкційних матеріалах реакторів. Автором розроблена методика вимірювання активності  $^{10}\text{Be}$  в конструкційних матеріалах активної зони з чутливістю кілька десятків мБк/г. Методи обґрунтовано теоретично та проведена їх експериментальна валідація.

У **третьому розділі** автор обговорює  $^{90}\text{Sr}$ , один із найбільш небезпечних довгоіснуючих радіонуклідів, який також відноситься до ДТМ-нуклідів, оскільки це майже чистий бета-розпадик (як і його дочірній ізотоп  $^{90}\text{Y}$ ). Для реєстрації автор використовував сцинтиляційні NaI(Tl) спектрометри з тонким вхідним вікном, вимірював спектри в товстих зразках ґрунтів або в живих об'єктах. В роботі описані дослідження мишоподібних гризунів та птахів, вилонених в зоні ЧАЕС, з урахуванням самопоглинання електронів в зразках.

У **четвертому розділі** наведено результати апробації всіх розроблених методів. За дослідженням активності  $^{137}\text{Cs}$  у розрізах ґрунтів до глибини 30 см було сформульовано вираз для визначення активності  $^{241}\text{Am}$  з урахуванням співвідношення активності  $^{137}\text{Cs}$ , визначених вищеописаними способами. Формули врахування впливу неоднорідності в досліджуваних зразках на розрахунки активності радіонуклідів можуть підвищити достовірність визначення активності в зразках. З використанням цих методів було оцінено внесок нових надходжень радіонуклідів у верхні шари ґрунтів зони ЧАЕС через установку конфайнмента і показано значну зміну концентрації  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{94}\text{Nb}$ ,  $^{241}\text{Am}$  поблизу об'єкта «Укриття». Було запропоновано репери контролю нових радіоактивних надходжень за активністю  $^{94}\text{Nb}$ .

У **висновках** наводиться перелік основних наукових результатів, представлений у дисертаційній роботі.

Дисертаційна робота є завершеним, цілісним дослідженням, виконаним з використанням комплексу сучасних взаємодоповнюючих теоретичних та експериментальних підходів. Робота відзначається належним науковим рівнем. Сформульовані в ній положення є обґрунтованими і достовірними, вони базуються на результатах проведених автором теоретичних та експериментальних досліджень. Зміст дисертації і обрані методи дослідження (методи фотоактиваційного аналізу, напівпровідникової гамма-спектроскопії та сцинтиляційної спектроскопії електронів, методи математичного моделювання з використанням програмних кодів GEANT4, TALYS1.96 та EMPIRE 3.2) є адекватними поставленим меті і завданням дослідження.

Дисертаційна робота виконана на основі досліджень, які були проведені в рамках наукових тем «Нові нерадіохімічні методи реєстрації радіонуклідів в радіоактивних матеріалах АЕС для їх наступної переробки» (номер держреєстрації 0122U000852), «Розробка нових методів реєстрації радіологічно значимих нуклідів в радіоактивних відходах АЕС» (номер держреєстрації 0118U002256), «Дослідження фотоядерних реакцій з вильотом заряджених частинок та гамма-квантів в області деформованих ядер» (номер держреєстрації 0120U100635) в Інституті ядерних досліджень НАН України. Автор дисертації був виконавцем цих тем.

Результати дисертації пройшли апробацію на 4 українських та міжнародних конференціях.

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

**Наукова новизна** роботи полягає в уперше отриманих дані про виходи фотоядерних реакцій на атомах  ${}^9\text{Be}$  і  ${}^{10}\text{B}$  в області енергій до 55 MeV, в розробленому метод розрахунку активності  ${}^{10}\text{Be}$  на підставі даних про перерізи (n, $\gamma$ )-, (n,p)- і фотоядерних реакцій на атомах  ${}^9\text{Be}$  і  ${}^{10}\text{B}$ . Важливим досягненням роботи є розроблений метод розрахунку активності ізотопів  ${}^{58}\text{Ni}$ ,  ${}^{63}\text{Ni}$  і  ${}^{55}\text{Fe}$  на підставі експериментальних і розрахункових даних про перерізи (n,  $\gamma$ )-, (n,p)- і фотоядерних реакцій на атомах  ${}^{58}\text{Ni}$ ,  ${}^{59}\text{Co}$  і  ${}^{56}\text{Fe}$ , та вивчення впливу неоднорідностей у досліджуваних зразках на розрахунки активності радіонуклідів, а також отримання напівемпіричних формул їх врахування. В додаток до цього, здобувач дослідив зміни концентрації радіонуклідів у ґрунтах, відібраних у ближній зоні ЧАЕС після встановлення другого конфайнмента; також ним досліджена роль зовнішніх електронів при формуванні дози опромінення мишоподібних гризунів, що мешкають на території Чорнобильської зони.

### **4. Теоретичне та практичне значення одержаних результатів**

Розроблені автором методи вимірювання активності радіонуклідів  ${}^{10}\text{Be}$ ,  ${}^{59,63}\text{Ni}$ ,  ${}^{55}\text{Fe}$  були використані для вивчення активності конструкційних матеріалів 2-го енергоблока ЧАЕС, а також радіоактивних відходів з інших АЕС України. Ці методи можуть знайти застосування у виведенні атомних станцій з експлуатації та у забезпеченні безаварійної роботи діючих АЕС. Напівемпіричні формули для врахування впливу неоднорідностей досліджуваних зразків на визначення активності радіонуклідів дозволяють збільшити достовірність вимірювання активностей у зразках довкілля.

Таким чином, у роботі автора отримано вагомí наукові та прикладні результати, які мають істотне теоретичне і практичне значення.

### **5. Повнота викладення наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях**

Результати досліджень були опубліковані у 11 роботах: 6 статей у реферованих фахових журналах, які індексуються в наукометричній базі даних SCOPUS (в тому числі 2 статті в журналах 2-го квартилю), 1 в працях міжнародної конференції, 1 в українському фаховому науковому журналі та 3 тези конференцій. Отримано 2 патенти на корисну модель. Ці публікації містять виклад ключових результатів роботи та всебічно розкривають основні наукові положення дисертації.

Матеріали публікацій у повній мірі розкривають суть дисертаційного дослідження. Їх аналіз дає підстави для висновку про визначальний особистий внесок здобувача на всіх етапах роботи та підготовки статей до друку.

Отже, наявний масив публікацій свідчить про належний рівень апробації результатів дисертації та обґрунтованість наукових положень, викладених у ній. Наукові публікації відповідають вимогам п. 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р.

#### **6. Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи**

В дисертації мало уваги надається аналізу невизначеностей розроблених методів, зокрема систематичних невизначеностей (так, на с.53 вказано, що оцінена похибка активності  $^{10}\text{Be}$  становить 30%, але не описано, як саме було зроблено цю оцінку). Аналіз невизначеностей є важливою частиною розробки методів вимірювання, без якої метод не може вважатись метрологічно обґрунтованим. Є деякі суто текстові помилки, навіть у назвах розділів: «визначення довгоіснуючих *ізотопів радіоізотопів*» (розділ 2, с.44). Посилання на номери таблиць, рисунків і формул не завжди співпадають з дійсними номерами (наприклад, на с. 62 і 65 є посилки на табл.1.1 і формулу (1.4), які взагалі відсутні в роботі). Автор мав ретельно вчитати роботу. Незважаючи на всі відмічені недоліки, робота не втрачає своєї цінності, вони не мають суттєвого впливу на результати дослідження і не погіршують загальну позитивну оцінку роботи.

#### **7. Відповідність дисертації встановленим вимогам**

Оформлення дисертації за структурою, стилем представлення матеріалу та мовою відповідає вимогам оформлення дисертацій, затвердженим в наказі № 40 Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р.

Дисертаційна робота є самостійним дослідженням здобувача. Відсутні ознаки порушення здобувачем вимог академічної доброчесності. Усі використані результати, матеріали і висновки мають відповідні літературні посилання.

#### **8. Загальний висновок.**

Представлена на розгляд дисертаційна робота Мизникова Д.Є. на тему «Нерадіохімічні методи реєстрації радіонуклідів  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{59,63}\text{Ni}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  із відходів АЕС» є самостійним, цілісним та логічно завершеним науковим дослідженням. Робота справляє загалом позитивне враження. Деякі недоліки, які вказано вище, не знижують її вартість.

Зміст дисертації характеризується належною логічністю, послідовністю і структурованістю викладу матеріалу. Текст написаний академічною мовою на достатньому науковому рівні. Дотримано усіх вимог до оформлення наукових праць: чітка структура, всі необхідні складові, змістовне наповнення. Дисертаційна робота є цінним внеском у вдосконалення і розробку нових методів реєстрації радіологічно значимих нуклідів. Результати досліджень

мають важливе наукове і практичне значення та можуть бути корисними для подальших досліджень в цієї галузі.

На основі викладеного вище вважаю, що рецензована дисертаційна робота на тему «Нерадіохімічні методи реєстрації радіонуклідів  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{59,63}\text{Ni}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  із відходів АЕС» відповідає спеціальності 104 «Фізика та астрономія» та вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)», затвердженого постановою № 261 Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року (зі змінами і доповненнями від 03 квітня 2019 року № 283); п. 6, 7, 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року. Автор роботи Мизніков Дмитро Євгенович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Рецензент:

кандидат фізико-математичних наук,  
старший дослідник,  
завідувач відділу фізики лептонів  
Інституту ядерних досліджень НАН України




Владислав КОБИЧЕВ

29.01.2024 р.

Підпис В. Кобичева засвідчую:

Вчений секретар ІЯД НАН України



(Наталія ДОРОШКО)

