

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ АКТИВНОСТІ ^{137}Cs В ГРУНТАХ ЗА ДАНИМИ СПЕКТРОМЕТРИЧНОГО ГАММА-КАРОТАЖУ СВЕРДЛОВИНИ

А. Д. Скорбун , М. І. Панасюк , М. І. Павлюченко

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Чорнобиль

Проаналізовано можливість використання вимірювання інтенсивності лінії ^{137}Cs для оцінки питомої активності ґрунтів навколо свердловини, в якій виконується гамма-каротаж. Показано, що контроль за інтенсивністю прямої (нерозсіяної) компоненти гамма-випромінювання дає змогу позбутися невизначеностей, пов'язаних з вимірюванням комптонівської компоненти гамма-поля в свердловині й таким чином підвищити точність результатів.

Вступ

Гамма-каротаж, оснований на вимірюванні гамма-поля у свердловині, яка проходить через ґрунти (породи), що вміщують гамма-випромінюючі радіонукліди, широко використовується для контролю радіоактивного забруднення ґрунтів у місцях зберігання радіоактивних відходів [1, 2].

Відомою проблемою в методі гамма-каротажу є градування приладів та визначення коефіцієнтів для перерахунку вимірних значень потужності експозиційної дози (ПЕД) у питому активність оточуючих свердловину ґрунтів [3]. Основне питання полягає в правильному вимірюванні внеску низькоенергетичної комптонівської компоненти.

Цю проблему можна зняти, якщо проводити вимірювання гамма-поля у свердловині від нерозсіяної компоненти. Це можна зробити при використанні гамма-спектрометричного каротажу, який дає змогу вимірювати внесок нерозсіяного випромінювання. Зазвичай гамма-спектрометричний каротаж використовують, щоб виділити внесок окремих радіонуклідів (див., наприклад, [4]). Але оскільки в наших умовах визначальний внесок у гамма-поле вносить випромінювання ^{137}Cs , вимірювання по лінії ^{137}Cs з невеликою поправкою є рівнозначним вимірюванню загального поля, тобто методи обробки даних загального гамма-каротажу можна застосовувати до гамма-спектрометричного каротажу, виконаного для ^{137}Cs . Більше того, це автоматично виключає внесок решти гамма-випромінюючих радіонуклідів, який складає 2 - 3 %. Фактично ставиться задача розробити польовий аналог методу гамма-спектрометрії, який використовується для лабораторних аналізів.

Постановка задачі

Формально ставиться завдання визначити зв'язок між інтенсивністю лінії цезію у спектрі з питомою активністю ґрунтів при вимірюваннях у геометрії нескінченного середовища (у свердловині, оточеної нескінченим рівномірно забрудненим радіоактивним ґрунтом). Тобто визначити так званий перерахунковий коефіцієнт, але для лінії цезію. Для цього було використано модель свердловини [5], що моделює типову для локальної зони об'єкта "Укриття" ситуацію - високоактивний шар ґрунту, вище й нижче якого знаходяться значно менш активні ґрунти. Гамма-спектрометричний каротаж цієї моделі дає змогу одержати розподіл гамма-поля вздовж свердловини в ній: загальне завантаження спектрометра характеризує сумарне поле, а швидкість відліків у піку ^{137}Cs характеризує внесок нерозсіяної компоненти (оскільки основним гамма-випромінюючим радіонуклідом у досліджуваних ґрунтах є ^{137}Cs).

Для розв'язання поставленої задачі пропонується дані експериментальних гамма-спектрометричних вимірювань порівняти із теоретичними розрахунками поля в моделі свердловини. Аналіз моделі - методи розрахунків, розраховані поля та їх відповідність експе-

риментальним даним - описано в [6, 7], де показано, що різні методи розрахунків для нерозсіяної компоненти дають практично точний збіг результатів. На відміну від цього розрахунки вкладу розсіяної компоненти гамма-випромінювання, виконані різними методами, дають різні результати: підхід [6] з використанням ефективного коефіцієнта поглинання дає результат, що знаходиться на нижній межі значень експериментальних даних вимірювання гамма-поля у вказаній моделі № 2 з урахуванням похибки вимірювань, тоді як розрахунки розсіяної компоненти з використанням коефіцієнтів Тейлора [8] (програма MicroShield) чи методом Монте-Карло (програма MCNP) дають значення поля, які ближче до верхньої межі експериментальних значень. Це ще раз демонструє потенційну перевагу використання гамма-спектрометрії, тобто використання вимірювань нерозсіяної компоненти, для оцінки питомої активності ґрунтів.

Експеримент

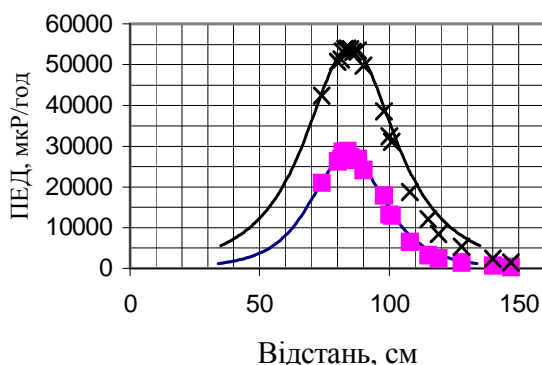


Рис. 1. Спектротричний гамма-каротаж моделі свердловини № 2. Суцільна лінія - теорія, позначки - експеримент. Максимум кривих відповідає центру активного шару.

Там же нанесено відповідні експериментальні дані - одержані із спектрів швидкості відліків для загального завантаження й для піка цезію, домножені на постійні множники до найкращого збігу з теоретичною кривою. При цьому вважається, що кількість прийнятих імпульсів пропорційна питомій активності ґрунту. Нижній графік - швидкість відліків у піку цезію, верхній - загальне завантаження спектрометра. Як видно, для нерозсіяної компоненти збіг досить хороший, тоді як для загального сигналу спостерігається зростання розходження в міру віддалення від центра активного шару. Це повністю відповідає теоретичному аналізу. На рис. 2, а показано розраховані методом Монте-Карло спектри в центрі й на краю активного шару. Загальний вигляд спектрів практично не має відмінностей, точніше, форма розсіяної компоненти з енергією менше 650 кеВ не змінюється, але інтенсивність піка цезію на краю активного шару дещо менша порівняно з його центром. На рис. 2, б показано результати розрахунків співвідношення між нерозсіяною та розсіяною компонентами. Суцільна лінія - аналітичний розрахунок співвідношення нерозсіяної та розсіяної компоненти. Можна бачити, що після виходу з активного шару співвідношення починає швидко зменшуватись. Цей результат підтверджується розрахунками методом Монте-Карло. Одержані з рис. 2, а співвідношення між загальним сигналом і нерозсіяною компонентою показано на рис. 2, б двома квадратами. Співвідношення в центрі активного шару нормоване на одиницю.

Проведений аналіз показує, що шукані коефіцієнти можна одержати теоретично, а для кожного окремого детектора вносити поправку, яка одержується в тому числі запропонованим методом градування. Потрібний для оцінки питомої активності методом гамма-каротажу перерахунковий коефіцієнт визначається як кількість імпульсів, прийнята детектором, розташованим у нескінченному однорідному середовищі з одиничною питомою

Безпосередньо виміряти ПЕД, що створюється нерозсіяним випромінюванням, неможливо. Тому пропонується така схема одержання перерахункового коефіцієнта: вимірювання швидкості відліків для піка ^{137}Cs в геометрії моделі свердловини порівнюється з розрахунковим значенням ПЕД на моделі свердловини й таким чином одержується поправочний коефіцієнт для даного детектора. Далі виконується розрахунок перерахункового коефіцієнта для нескінченного середовища, в який вноситься одержана поправка. На рис. 1 суцільними лініями показано результати теоретичних розрахунків для загального поля й поля, зумовленого нерозсіяною компонентою.

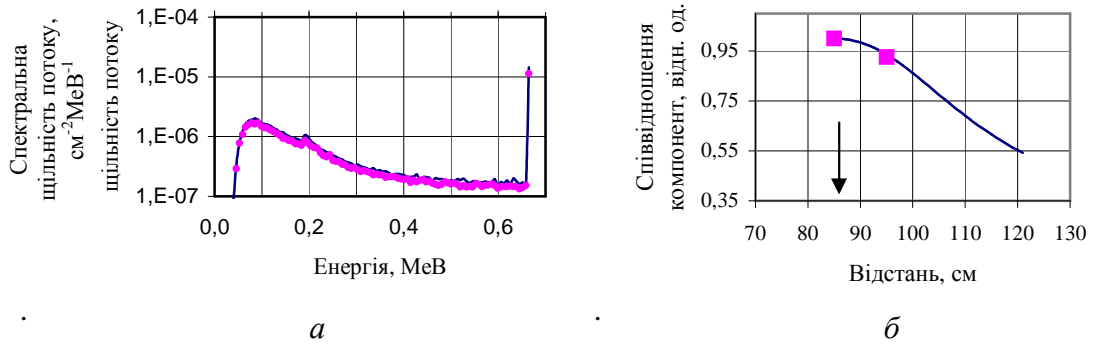


Рис. 2. Розраховані методом Монте-Карло спектри в центрі й на краю активного шару (а) та співвідношення нерозсіяної й розсіяної компонент (б). Стрілкою показано центр активного шару.

активністю. Тому на рис. 3 пропонується розрахунок ПЕД у центрі активного шару одиначної питомої активності залежно від його потужності h . Видно, що криві виходять на насичення, і шар потужністю 200 см можна вважати нескінченним середовищем. Ми маємо одержані експериментально на моделі свердловини співвідношення між ПЕД та інтенсивністю відліку імпульсів для шару потужністю 20 см з відомою питомою активністю. Оскільки в наших умовах для лінії ^{137}Cs між ПЕД і швидкістю відліку імпульсів існує лінійний зв'язок, одержаний експериментально коефіцієнт можна використати для розрахунку інтенсивності відліку імпульсів для шару потужністю 200 см, тобто одержати шуканий коефіцієнт. Для наочності результати розрахунків зведено в таблицю, де жирним шрифтом виділено експериментальні дані.

Питома активність, Бк/г	ПЕД без розсіяння, мкР/год	Число імпл./с
$h = 20 \text{ см}$		
1	6,84	0,44
4267	29164,9	1860
$h = 200 \text{ см}$		
1	13,99	0,89

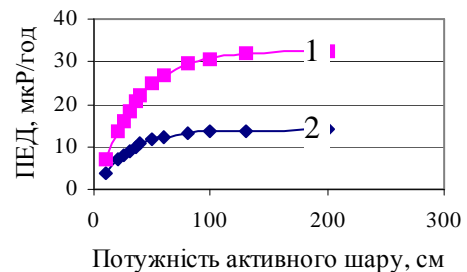


Рис. 3. Розраховані поля в центрі активного шару залежно від його потужності: 1 - для розсіяної компоненти; 2 - для нерозсіяного випромінювання.

Висновки

Наведені результати демонструють, що спостерігається досить добре узгодження між експериментальними даними гамма-спектрометричних вимірювань і теоретичними оцінками, виконаними різними методами. Це дає змогу застосувати запропоновану методику градування гамма-спектрометра з метою використання гамма-спектрометрії для оцінки питомої активності ґрунтів. Значно краще узгодження між теорією й експериментом для нерозсіяного випромінювання порівняно з розсіяним свідчить про те, що спектрометричний метод гамма-каротажу потенційно є більш точним. Ще однією перевагою використання гамма-спектрометричного каротажу в наших умовах є можливість одночасного (з одного й того ж спектра) визначення ПЕД у свердловині та особливостей у спектрі. Це важливо, наприклад, для точної прив'язки даних спектрометрії до даних загального каротажу при

аналізі поверхневого забруднення свердловин [9], з точки зору зменшення дозових навантажень за рахунок зменшення кількості виходів у локальну зону з різними приладами та ін.

Для одержання шуканого коефіцієнта можна скористатись також моделлю свердловини [10], в якій за рахунок переміщення точкового джерела й подальшого інтегрування результатів вимірювання моделюється нескінченне середовище. Хоча ця модель дає результат, близький до одержаного, методика, основана на моделі з активним шаром, видається ближчою до реальності, оскільки в ній фактично безпосередньо експериментально вимірюється потрібний коефіцієнт. Зазначимо, однак, що точність запропонованого методу градування прямо пов'язана з точністю визначення параметрів моделей свердловин.

Автори вдячні А. М. Берлізову за розрахунки методом Монте-Карло.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Hartman M. J., Newcomer D.J., Dressel P.E., Thornton E.C.* Integrated monitoring plan for Hanford site Groundwater monitoring project // PNNL-11989, Sept. 1999.
2. Hanford Tank Farms Vadose Zone Monitoring Project. Quarterly Summary Report for Third Quarter Fiscal Year 2003 // Grand Junction Office, Aug. 2003. GJO-2003-471-TAC.
3. *Шашкин В.Л.* Опробование радиоактивных руд по гамма-излучению. - М.: Атомиздат, 1972. - С. 184.
4. *Пристер Б.С., Лоцилов Н.А., Немец О.Ф., Поялков В.А.* Основы сельскохозяйственной радиологии. - Киев: Урожай, 1991. - С. 471.
5. *Панасюк Н. И., Скорбун А. Д., Павлюченко Н. И.* и др. Определение пересчетного коэффициента для гамма-каротажа скважин в условиях локальной зоны объекта "Укрытие" // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вип. 9. - С. 105 - 109.
6. *Панасюк Н. И., Скорбун А. Д.* Теоретическое описание модели скважины с активным слоем // Там же. - 2004. - Вип. 14. - С. 56 - 58.
7. *Панасюк М. І., Скорбун А. Д.* Розрахунок гамма-полів у свердловині, що проходить через високоактивний шар ґрунту // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних дослід. - 2004. - № 1 (12). - С. 104 - 107.
8. *Машикович В. П., Кудрявцева А. В.* Защита от ионизирующих излучений: Справ. - М.: Энергоатомиздат, 1995. - С. 494.
9. *Панасюк М. І., Скорбун А. Д., Павлюченко М. І.* Застосування спектрометричного гамма-каротажа для вивчення структури розподілу забруднення в ґрунтах навколо 4-го енергоблока ЧАЕС // Проблемы Чернобиля. - 2003. - Вип. 13. - С. 116 - 119.
10. *Панасюк Н. И., Калиновский А. К., Малюк А. И.* и др. Результаты исследований на модели скважины для оценки удельных активностей ^{137}Cs в грунтах локальной зоны объекта "Укрытие" и промплощадки ЧАЭС с использованием гамма-каротажа // Наукові та технічні аспекти міжнародного співробітництва в Чорнобилі: Зб. наук. ст. Вип. 3. - К.: Вища шк. - 2001. - С. 494 - 499.

Надійшла до редакції 11.10.04,
після доопрацювання - 23.11.04.