

А. Д. Скорбун<sup>1</sup>, О. А. Кучмагра<sup>1</sup>, Б. М. Сплошной<sup>2</sup>, А. О. Дорошенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

<sup>2</sup>Лабораторія метрології ДСП «Чорнобильський спецкомбінат», вул. Радянська, 72, Чорнобиль, 07270, Україна

## Періодичності у сигналах довготривалих вимірювань гамма-фону в Чорнобильській зоні відчуження

*Ключові слова:*

гамма-фон,  
моніторинг,  
періодичні зміни.

У зоні відчуження навколо Чорнобильської АЕС функціонує автоматизована системи контролю радіаційної стану, у складі якої десятки детекторів, розташованих по всій 30-кілометровій зоні. Показники детекторів регулярно фіксують і зберігають у базі даних. У регулярних вимірюваннях потужності дози гамма-фону виявлено як явні сезонні (зима — літо), так і приховані, більш короткоперіодичні зміни інтенсивності гамма-фону, серед яких особливо помітними є добові зміни. Щоб довести, що виявлені добові зміни не пов'язані з метеоумовами чи особливостями роботи апаратури, проаналізовано сигнали від кількох детекторів за період з 1–15 травня 2018 р. Зроблено висновок, що спостережені періодичні зміни сигналу не є апаратурними ефектами.

### Вступ

Чорнобильська зона відчуження і обов'язково-го відселення була утворена після радіоактивного забруднення значної території в результаті аварії на 4-му енергоблоці Чорнобильської АЕС (ЧАЕС) у 1986 р. Сьогодні у 30-кілометровій зоні навколо ЧАЕС розташовані пункти контролю (ПК) автоматизованої системи контролю радіаційного стану (АСКРС), кількість яких збільшена порівняно зі звичайними системами контролю радіаційного стану навколо атомних електростанцій. Дані про рівень гамма-фону регулярно, кожні 15 хв, передаються системою на сервер. У результаті існує можливість ретроспективного аналізу радіаційного стану.

Аналіз таких багатодобових вимірювань виявляє [1, 2], що існують досить помітні варіації значень гамма-фону, які потребують пояснення. У першу чергу це сезонні зміни, які є очікуваними, бо їх легко пов'язати з такими природними факторами, як екранування поверхні землі, де, власне, розташовані радіонукліди, вологою чи снігом. Крім того, зафіксо-

вано існування несезонних періодичних змін, серед яких найбільш виразними і найбільш схожими на «очевидний» вплив добових змін метеоумов є регулярні добові зміни інтенсивності сигналу — значень потужності дози гамма-фону.

Ця робота присвячена пошуку відповіді на запитання, чи можна спостережений добовий хід сигналу пояснити добовими змінами метеоумов, які зумовлюють відповідні зміни в роботі апаратури. Виявлені періодичні зміни сигналу проявляються не завжди. Як правило, їх чітко видно у літній період, а в осінньо-зимовий вони слабшають до повного зникнення. Варіації значень гамма-фону, що дуже нагадують амплітудну модуляцію, часто знаходяться на рівні шумів, і ефект появи періодичностей у сигналі (який в ідеалі повинен бути пуассонівською шумовою доріжкою), як правило, можна виявити лише за допомогою таких спеціальних методів шумового аналізу, як, наприклад, вейвлет-аналіз. Однак інколи величина ефекту стає настільки великою, що сам сигнал виглядає як трохи зашумлена синусоїда. На думку авторів, сам факт існування ефектів такої

© А. Д. Скорбун, О. А. Кучмагра, Б. М. Сплошной, А. О. Дорошенко, 2019

величини і можливості їхнього надійного аналізу дають відповідь на поставлені вище запитання про природу їхньої появи. У зв'язку з цим було проаналізовано дані від кількох детекторів за травень 2018 р., коли спостерігався саме такий помітний ефект.

### Експериментальні дані та методи аналізу

Було проаналізовано дані вимірювань гамма-фону детекторами типу GammaTRACER виробництва фірми Genitron Instrument GmbH, Germany (з газорозрядними лічильниками Гейгера — Мюллера), які входять до складу системи АСКРС. Автоматизована система збирання і передавання даних працює по радіоканалах.

У роботі розглянуто результати вимірювань, отримані на шести випадково вибраних ПК. Проаналізовано дані регулярних одногодинних вимірювань гамма-фону (інтегроване значення за 15-хвилинні вимірювання) за період 1–15 травня 2018 р. Контрольована територія забруднена викидами з аварійного 4-го енергоблоку ЧАЕС під час аварії 1986 р. Радіонукліди знаходяться у поверхневому шарі ґрунту, включаючи радіоактивну траву. Тому сьогодні основним випромінювачем у контрольованій зоні є техногенний  $^{137}\text{Cs}$  (див. гамма-спектр на [рис. 1](#)). Внеском інших радіонуклідів, у тому числі від ланцюжків розпаду урану і торію, що утворюють природний та техногенний гамма-фон, можна нехтувати.

Можливість появи сезонних (піврічних) змін у сигналах гамма-фону є очевидною: волога чи сніговий покрив узимку екранують гамма-випромінювання від радіонуклідів, які знаходяться у ґрунті, і таким чином рівень гамма-фону узимку повинен

бути нижчим, ніж у літній період. Однак поява інших періодичних складових вимагає спеціального аналізу.

Для аналізу наявних довготривалих рядів регулярних вимірювань було використано вейвлет-аналіз, основною перевагою якого є можливість визначати, в які періоди часу в сигналі з'являються ті чи інші особливості, тобто добові, сезонні коливання тощо [3, 4]. Періодичні сигнали на картинах вейвлет-перетворення по горизонталі утворюють серії регулярних «плям». Відстані між «плямами» по горизонтальній осі дорівнюють напівперіоду в одиницях горизонтальної осі. Точність визначення відстаней визначається точністю знаходження координат центрів плям в одиницях горизонтальної осі, які у дійсності можуть бути достатньо розмитими. У наведеному нижче аналізі похибка у визначенні положення центра «плями» не перевищує  $\pm 2$  одиниць горизонтальної осі для добового ходу, що відповідає точності визначення часу  $\pm 1,5$  год.

### Результати та їх обговорення

У літературі (див. огляд у [5]) описано неодноразові спостереження добових, місячних і річних змін інтенсивності радіоактивного розпаду. Тому проаналізуємо можливість і особливості їхнього прояву у наших даних. На [рис. 2](#) представлено результати вейвлет-аналізу регулярних одногодинних (середній рівень сигналу за годину) вимірювань гамма-фону для шести постів спостережень. На верхньому графіку показано вимірювання, які підлягають аналізу. Двовимірною картиною під ним представляє собою серію плям, колір чи відтінок яких відобра-

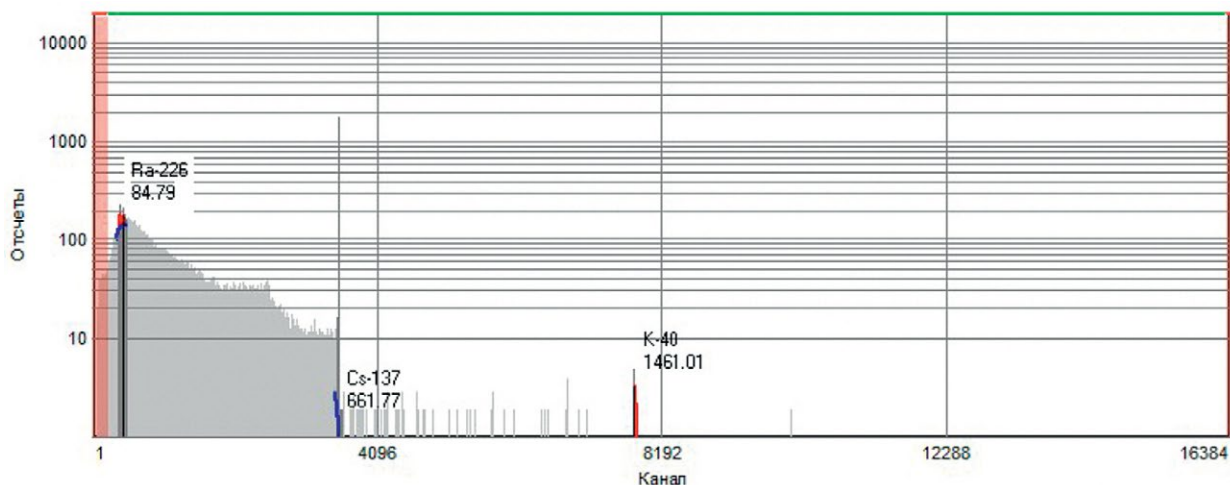


Рис. 1. Типовий спектр гамма-фону в районі зони відчуження на висоті 1 м від поверхні землі

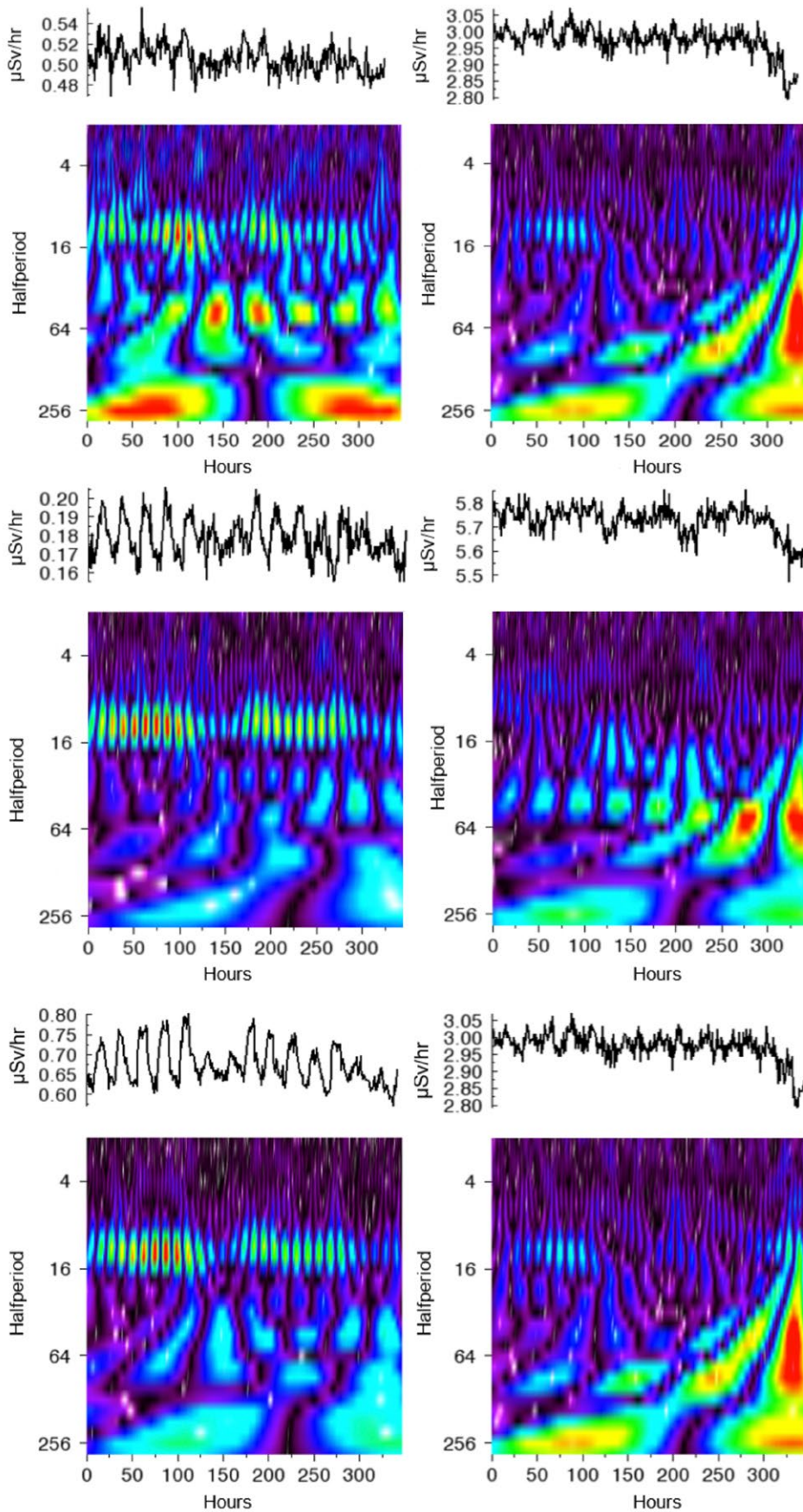


Рис. 2. Аналіз даних для шести постів спостережень за 1–15 травня 2018 р. Зображення можна умовно поділити на дві колонки: зліва яскравий ефект і низькі потужності дози; справа — високі поля і практична відсутність добового ходу. Горизонтальна вісь — години від початку вимірювань



жає величину коефіцієнтів вейвлет-розкладу, наведеного у верхній частині рисунка сигналу для різних моментів часу. По горизонталі двовимірної картини відкладено час у годинах від початку вимірювань. По вертикалі двовимірної картини відкладено напівперіод процесу у величинах горизонтальної осі.

**Добовий хід.** Верхній ряд тісно розташованих видовжених плям на [рис. 2](#) відображає добову періодичність: програмними засобами можна показати, що вони з'являються з інтервалом у 12 год — це напівперіод добової синусоїди. Наведені двовимірні картини — це лише графічне зображення двовимірної матриці коефіцієнтів вейвлет-розкладу. Програмними засобами можна визначити точне положення плям у часі і таким чином показати, що максимуми коефіцієнтів добового ряду припадають на 17:00–18:00, а мінімальні — на 05:00–06:00 за місцевим часом, хоча зафіксовано й випадки значних відхилень. Періодичність сигналу видно також неозброєним оком на графіках [рис. 2](#) у лівій колонці. Величина змін у деяких випадках становить близько  $\pm 10\%$  і значно перевищує шумову складову.

Виявилося, що отримані зображення вейвлет-розкладу можна розділити на дві групи: у першій — спостерігається чіткий добовий хід (див. ліву колонку на [рис. 2](#)), у другій — добовий хід практично відсутній. Виявляється, що добовий хід виразно проявляється на постах АСКРС із низьким значенням гамма-фону (трохи менше 1 мкЗв/год).

Слід відзначити також, що чіткість проявів добового ходу час від часу змінюється: існує незрозумілої природи модуляція інтенсивності цього ефекту. На графіках це проявляється як зменшення інтенсивності добових плям у діапазоні 150–160 год.

### Аналіз можливих факторів впливу

Аналіз та обговорення показаних на [рис. 2](#) результатів так чи інакше зводиться до необхідності зробити нетривіальний вибір між двома гіпотезами. У першій усі спостережені періодичності є результатом впливу метеоумов чи завад (імовірно від електромереж), що змінюються протягом доби. Друга гіпотеза полягає в тому, що зафіксовані періодичні зміни інтенсивності самого сигналу означають або зміну швидкості радіоактивного розпаду, або появу додаткової періодичної складової, наприклад за рахунок змін космічного чи іншого випромінювання. Оскільки друге твердження різко конфліктує з сьгоднішніми поглядами на природу радіоактивного розпаду, є очевидною необхідність

обґрунтованого доказу того, що спостережені ефекти не є апаратними, а належать сигналу.

**Вплив температури.** Добова періодичність нагріву детектора є найбільш очевидним можливим фактором появи добових змін в інтенсивності сигналу, оскільки добре відомо, що чутливість лічильників гамма-випромінювання [6] залежить від температури.

Для перевірки гіпотези про можливість появи спостережених ефектів добової періодичності через вплив температури навколишнього середовища було проведено спеціальний експеримент. Два детектори з постів АСКРС було перевірено на температурну чутливість під час чергової метрологічної повірки. Система детектування з детектором, передпідсилювачем та іншими складовими електронної схеми, тобто у такому вигляді, як вона встановлюється на ПК, у лабораторних умовах розміщувалася в контрольованому полі гамма-випромінювання (метрологічна установка «ІНТЕР», 662 кеВ) і нагрівалася приблизно до 20–44 °С, тобто у діапазоні очікуваних максимальних змін температури в літній період. Показники датчиків при цьому зменшилися на 1,5–2 %, у той час як значення потужності дози, спостережені під час реальних вимірювань на постах АСКРС, збільшуються з підвищенням температури, а зміни є значно більшими. При цьому слід зауважити, що різниця між денними і нічними температурами рідко перевищує 15 °С, тобто вплив таких змін температури на детектори буде ще меншим.

В описаному вище прямому експерименті було показано, що зі зростанням температури сигнал повинен зменшуватися як результат температурної чутливості апаратури. Отже, пояснити добові зміни сигналу (див. [рис. 2](#)), які досягають максимуму приблизно о 17 годині, нагрівом детектора не можна.

**Вплив електромагнітних завад.** Найбільш імовірними джерелами спотворення даних у цій ситуації можуть бути:

- завади в ланцюгах живлення блоків детектування;
- завади в лініях заземлення блоків детектування;
- електромагнітні та електростатичні завади, які наводяться на електронних компонентах блоків детектування, а також на лініях зв'язку між блоками детектування та вторинною апаратурою; можлива кореляція з «піковим» навантаженням на лініях живлення ~220 В; некоректна робота електронних вузлів (хибні імпульси, «мертвий час»).

Найбільш чутливим до завад в АСКРС є блок детектування гамма-випромінювання. Як відзначалося вище, в АСКРС зони відчуження застосовуються блоки детектування типу GammaTRACER — автономні блоки

нового типу для постійної реєстрації потужності дози.

Живлення блоків GammaTRACER здійснюється від вбудованих у конструкцію блока детектування лігевих батарей. За вимірювального циклу 15 хв ресурс живлення гарантується не менше 5 років. Живлення блока детектування від батареї виключає наявність таких поширених завад, які можуть бути в апаратурі з живленням від промислової мережі ~220, як від вузлів випрямлення з частотами 50 та 100 Гц. При такому живленні у блоках детектування типу GammaTRACER відсутнє заземлення електроніки, тому не буде й завад у ланцюгах заземлення.

Виявлений напівперіод добової синусоїди у вимірюваннях гамма-фону не корелює, по-перше, з частотою вмикання та роботою ліній живлення потужних споживачів електроенергії в зоні відчуження — підприємств, їдальень, гуртожитків (за припущення, що лінії живлення ~220 В є джерелами електромагнітних або електростатичних завад). По-друге, виявлений час появи максимальних та мінімальних значень даних не можна віднести до пікових навантажень вищезначених споживачів — як вранці, так і ввечері. Мається на увазі, що початок роботи промислових енергоспоживачів починається приблизно о 05:30÷06:00 ранку, а вмикання їх проводиться приблизно о 18:00 увечері. Якщо припустити вплив рівня споживання електроенергії у зоні відчуження, то ми спостерігали б добову синусоїду у вимірюваннях — вночі мали б максимум, а вдень — мінімум. Відносно споживання електроенергії гуртожитками, то в період аналізу даних у травні 2018 р. захід сонця відбувався після 19:00, як і вмикання освітлення та інших споживачів електроенергії (як правило, підприємства зони відчуження починають роботу о 08:00 та закінчують роботу о 19:00). Ці міркування стосуються як чутливості апаратури АСКРС до «просідання» напруги живлення ~220 В (слід пригадати, що живлення блока детектування здійснюється від вбудованих батарей), так і до впливу ймовірних завад як від електромагнітних, так і електростатичних полів мереж передачі промислового електроструму. На наведених на рис. 2 графіках максимуми коефіцієнтів добового ряду припадають на 17–18 годину дня, а мінімальні — на 5–6 годину ранку за місцевим часом, що суперечить наведеним вище міркуванням. Тому можна стверджувати, що на систему АСКРС не впливають промислові мережі живлення ~220 В.

Для лінії передавання інформації від блоків детектування до вторинної апаратури застосовується

завадостійкий інтерфейс RS422/232 та кабель, який складається з декількох дротів-скруток. Доведено, що така лінія передавання цифрової інформації найменш чутлива до завад як від електромагнітного випромінювання, так і від електростатичних полів. У такому інтерфейсі відсутні ланцюги заземлення, тому будуть відсутні й завади на цих лініях.

Слід відзначити, що як елементи детектування гамма-випромінювання у блоках GammaTRACER використовують лічильники Гейгера — Мюлера. Їхня конструкція дозволяє одержувати на навантажувальному опорі амплітуду імпульсів до десятка вольт [7]. Тому у GammaTRACER відсутні вхідні підсилювачі. Сигнал з лічильників подається одразу до дискримінаторів амплітуди, що дозволяє не фіксувати малі амплітуди, які, як правило, виникають від електромагнітних чи електростатичних завад.

У конструкції блока GammaTRACER використовується два лічильника Гейгера — Мюлера. Це зроблено не з метою підвищення ефективності детектора (номенклатура лічильників Гейгера — Мюлера дуже велика і дає змогу обирати до застосування лічильники, що працюють у конкретному діапазоні реєстрації потужності дози). Така конфігурація вимірювального каналу дає змогу відбракувати недостовірну інформацію за допомогою внутрішнього лічильника, який визначає частоту «одночасно» зафіксованих рахункових імпульсів у лічильниках Гейгера — Мюллера. Критерієм визнання одночасності таких імпульсів є фіксація їх у «часовому вікні», ширина якого дорівнює «мертвому часу» лічильників (лічильник Гейгера — Мюллера не може сформувати вихідний імпульс під час «мертвого часу»). Якщо реєструється певна частота таких імпульсів, то відповідне значення вимірної потужності дози позначається бітом «COINC». Така характерна особливість переданої інформації, як правило, свідчить про імпульсну заваду. Для блока GammaTRACER з модулем SkyLink цей критерій якості вказує на вплив на систему електромагнітних/електростатичних завад і надалі програмним шляхом виключається з бази даних.

Окремо слід відзначити, що чутливість блоків детектування до зовнішніх факторів впливу, таких як зміна температури, вологості, вплив вібрації та імпульсних ударних хвиль, а також інших факторів, повинна визначатися як додаткова похибка до основної похибки вимірювань параметрів джерел іонізуючого випромінювання. Ця похибка має розмір відсотків до основного метрологічного параметра — основної похибки вимірювання — та має визначатися (наводиться

в документації), якщо ця похибка перевищує 20 % основної похибки виміру (або на вимогу замовника споживача цього приладу). Але ця похибка визначається в конкретному діапазоні вимірювальних фізичних параметрів, і найбільше значення наводиться в технічній документації до вимірювального пристрою/системи. Тому можна вважати, що вплив інтенсивності випромінювання джерела іонізуючого випромінювання на результати аналізу параметрів джерел повинні проявлятися приблизно однаково (у розмірі відсотків) у діапазоні вимірювання. Тому під час аналізу рис. 2 можна з великою ймовірністю припустити, що блок детектування фіксує два процеси. Один з них пов'язаний із процесом, який має такі характерні ознаки, як максимуми та мінімуми значень, а другий ні.

### Висновки

1. З метою перевірки невідповідності виявлених у сигналах АСКРС періодичних змін інтенсивності сигналів гамма-фону проаналізовано дані від шести ПК. Спостереження цього ефекту одночасно в багатьох незалежних ПК незаперечно свідчить про його існування.

2. Блоки детектування і в цілому АСКРС не чутливі до зовнішніх факторів впливу типу нагріву детектора, параметрів мереж живлення ~220 В і до електромагнітних та електростатичних полів.

3. Ефект добових змін інтенсивності сигналу іноді досить великий, його видно неозброєним оком, і величина коливань у розглянутих прикладах становить приблизно  $\pm 10\%$ . Це значно перевищує рівень шумової складової реєстрованого сигналу.

4. Детально розглянуто можливість того, що спостережені добові коливання інтенсивності сигналу гамма-фону зумовлені нагрівом детекторів. Показано, що спостережені зміни сигналів цим зовнішнім фактором не пояснюються.

5. Порівняння даних від багатьох постів спостережень дає змогу зробити висновок про те, що спостережена добова періодичність є невідповідною. Природа появи таких змін інтенсивності залишається незрозумілою. Підкреслимо, що на відміну від роботи [8], в якій виявлені добові та інші коливання швидкості розпаду радону прямо пов'язуються із процесами на Сонці, на основі наших даних такий висновок робити передчасно, у першу чергу тому, що максимальні і мінімальні значення сигналів спостерігаються приблизно о 17:00 і 5:00 год відповідно, а не о 12:00 і 00:00, як у [8], коли вплив Сонця максимальний та мінімальний відповідно.

6. На графіках проаналізованих сигналів і на зображеннях їхніх вейвлет-коефіцієнтів можна бачити чітко зменшення інтенсивності модуляції та перерви регулярності добового ходу, які також не вдається пов'язати з особливостями роботи апаратури чи метеоумовами.

7. Виявлені періодичні зміни зовні шумового сигналу гамма-фону повинні враховуватися під час обчислення невизначеностей отриманих результатів під час радіаційного моніторингу та прогнозування радіаційного стану у зоні відчуження.

Автори вдячні О. Г. Третьяку за люб'язне надання спектра гамма-фону.

### Список використаної літератури

1. Скорбун А. Д. Аналіз довготривалих вимірювань гамма-фону в Чорнобильській зоні відчуження / А. Д. Скорбун, А. І. Спірін, Б. М. Сплошной // XXV щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (16–20 квітня 2018 р., м. Київ). — Київ: Ін-т ядерних дослідж., 2018. — С. 78–79.
2. Skorbun A. Monitoring of gamma background in Chornobyl exclusion zone / A. Skorbun, A. Doroshenko, B. Sploshnoy // XII International scientific conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment» (November 13–16, 2018, Kyiv, Ukraine). Kyiv, 2018. — doi: 10.3997/2214-4609.201803198.
3. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / Н. М. Астафьева // УФН. — 1996. — Т. 166. — № 11. — С. 1145–1170.
4. Torrence C. Practical guide to wavelet analysis / C. Torrence, G. P. Compo // Bulletin of the American Meteorological Society. — 1998. — Vol. 79. — No. 1. — P. 61–78.
5. Parkhomov A. G. Deviations from Beta Radioactivity Exponential Drop / A. G. Parkhomov // Journal of Modern Physics. — 2011. — Vol. 2. — P. 1310–1317.
6. Сидоренко В. В. Детекторы ионизирующих излучений на судах: справочник / В. В. Сидоренко, Ю. А. Кузнецов, А. А. Оводенко. — Л.: Судостроение, 1984. — 240 с.
7. Абрамов А. И. Основы ядерной физики / А. И. Абрамов. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 356 с.
8. Sturrock P. A. Analysis of Radon-Chain Decay Measurements: Evidence of Solar Influences and Inferences Concerning Solar Internal Structure and the Role of Neutrinos / P. A. Sturrock, G. Steinitz, E. Fischbach // arXiv. — 2017. — arXiv:1705.03010.

А. Д. Скорбун<sup>1</sup>, А. А. Кучмагра<sup>1</sup>, Б. М. Сплошной<sup>2</sup>,  
А. А. Дорошенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины,  
ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

<sup>2</sup>Лаборатория метрологии ДСП «Чернобыльский  
Спецкомбинат», ул. Советская, 72, Чернобыль,  
07270, Украина

### Периодичности в сигналах длительных измерений гамма-фона в Чернобыльской зоне отчуждения

В зоне отчуждения вокруг Чернобыльской АЭС функционирует автоматизированная система контроля радиационной обстановки, в составе которой десятки детекторов, расположенных по всей 30-километровой зоне. Показания детекторов регулярно фиксируются и сохраняются в базе данных. В регулярных рядах измерений мощности дозы гамма-фона выявлены как явные сезонные (зима — лето), так и скрытые, более коротко-периодические изменения интенсивности гамма-фона, среди которых особенно заметны суточные изменения. Чтобы доказать, что обнаруженные суточные изменения не связаны с метеоусловиями или особенностями работы аппаратуры, проанализированы сигналы от нескольких детекторов за период 1–15 мая 2018 г. Сделан вывод, что наблюдаемые периодические изменения сигнала не являются аппаратурными эффектами.

*Ключевые слова:* гамма-фон, мониторинг, периодические изменения.

A. D. Skorbun<sup>1</sup>, O. A. Kuchmagra<sup>1</sup>, B. M. Sploshnoy<sup>2</sup>,  
A. O. Doroshenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants,  
NAS of Ukraine, 36a, Kirova st., Chornobyl, 07270, Ukraine

<sup>2</sup>Laboratory of Metrology of the SSE “Chornobyl Integrated  
Plant”, 72, Kirova st., Chornobyl, 07270, Ukraine

### Periodicity in Signals of Long-Term Gamma Background Measurements in the Chornobyl Exclusion Zone

An automated radiation monitoring system (ARMS), which contains dozens of detectors, located throughout

the 30-km zone, is functioning in the Exclusion Zone near the Chornobyl Nuclear Power Plant (ChNPP). Indications of detectors are regularly recorded and stored in the database. In the regular sets of measurements of the gamma background dose rate, it is revealed both explicit seasonal (winter-summer), and latent, shorter-period variations in the intensity of the gamma background, among which especially noticeable are diary changes. To prove that these diary changes are not related to the meteorological conditions or the equipment operation features, signals from several detectors for the period of May 1–15, 2018 have been analyzed. It is concluded that observed periodic signal changes are not equipment effects. For the purpose of checking the randomness of detected periodic changes in the intensity of signals of the gamma background, data from six observing points have been analyzed. Observing this effect simultaneously in many independent observation posts undeniably proves its reality. It is proved that the detection units and the ARMS as a whole are not sensitive to external influence factors, such as heating of the detector, the parameters of the power supply network ~220 V, and to the electromagnetic and electrostatic fields.

The effect of daily changes in the signal intensity is quite large sometimes, visible by the naked eye, and the magnitude of the oscillations in the examples considered is approximately  $\pm 10\%$ . It significantly exceeds the noise component of the registered signal.

Comparison of data from many observation posts leads to the conclusion that the observed daily periodicity is not an accident. The nature of such intensity changes remains unclear. We emphasize that unlike the work of [8], in which daily and other oscillations of radon decay rates are directly associated with processes on the Sun, on the basis of our data, such a conclusion can not be made, primarily because the fixed maximum and minimum of signal values are observed at approximately 17 and 05 hours, respectively. And not at noon and midnight, when the Sun's influence has maximum or minimum, respectively.

On the plots of the analyzed signals and in the pictures of their wavelet coefficients, one can see an obvious decrease in the intensity of modulation and interruptions in the regularity of the daily flow, which also can not be associated with the peculiarities of the equipment or the meteorological conditions. The detected periodic changes outside the noise signal of the gamma background should be taken into account when calculating the uncertainties of the results obtained during the implementation of radiation monitoring and prediction the radiation situation in the Exclusion Zone.

*Keywords:* gamma background, monitoring, periodic changes.



## References

1. Skoribun A. D., Spirin A. I., Sploshnoy B. M. (2018). Analiz dolgovremennih izmereniy gamma-fona v Chernobylskoy zone otchuzhdeniya [Analysis of long-term gamma-background measurements in the Chornobyl exclusion zone]. Proceedings of the XXV Annual Scientific Conference of the Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine (April 16–20, 2018, Kyiv, Ukraine). Kyiv: Institute for Nuclear Research, pp. 78–79. (in Ukr.)
2. Skoribun A. D., Doroshenko A. A., Sploshnoy B. M. (2018). Monitoring gamma-fona v Chernobylskoy zone otchuzhdeniya [Monitoring of gamma background in Chornobyl Exclusion Zone]. Proceedings of the XII International scientific conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment” (November 13–16, 2018, Kyiv, Ukraine). doi: 10.3997/2214–4609.201803198.
3. Astafieva N. M. (1996). Veyvlet-analiz: osnovy teorii i primeneniya [Wavelet analysis: the basics of the theory and examples of application]. *Uspehi fizicheskikh nauk*. [Advances in Physical Sciences], vol. 166, no. 11, pp. 1145–1170. (in Russ.)
4. Torrence C., Compo G. P. (1998). Practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79, no. 1, pp. 61–78.
5. Parkhomov A. (2011). Deviations from Beta Radioactivity Exponential Drop. *Journal of Modern Physics*, vol. 2, pp. 1310–1317.
6. Sidorenko V. V., Kuznetsov Yu. A., Ovodenko A. A. (1984). *Detektory ioniziruyushchikh izlucheniya na sudakh*. Spravochnik [Ionizing radiation detectors on ships. Directory]. Leningrad, Sudostroenie, pp. 74–76. (in Russ.)
7. Abramov A. I. (1983). *Osnovy yadernoy fiziki* [Basics of Nuclear Physics]. Moscow: Energoatomizdat, 356 p. (in Russ.)
8. Sturrock P. A., Steinitz G., Fischbach E. (2017). *Analysis of Radon-Chain Decay Measurements: Evidence of Solar Influences and Inferences Concerning Solar Internal Structure and the Role of Neutrinos*. arXiv-1705.03010.

Надійшла 15.07.2019

Received 15.07.2019