

О.Ю. Зеленський¹

zelenski.oleg@ukr.net

А.Д. Скорбун²

ORCID: 0000-0001-8586-5713
anskorbun@gmail.com

Б.М. Сплошной¹

splshnoybr@ukr.net

О.Л. Шевченко³

ORCID: 0000-0002-5791-5354
shevch62@gmail.com

В.М. Шпиг³

ORCID: 0000-0003-1055-7120
vitold82@i.ua

УДК 551.52+530.35

ЧИ Є КОРЕЛЯЦІЇ ДОКАЗОМ ТОГО, ЩО ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ЛІЧЕННЯ СИГНАЛІВ РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ ОБУМОВЛЕНІ ЗМІНАМИ ТЕМПЕРАТУРИ?

В науковій літературі останніми роками точиться дискусія щодо можливості змінності швидкості радіоактивного розпаду під впливом зовнішніх факторів, про що свідчать окремі експерименти. Проте, оскільки такі ефекти різко конфліктують з основами ядерної фізики, існує і потужна критика, яка зводиться до того, що всі такі експерименти є некоректними. При цьому, так чи інакше, все зводиться до того, що ефекти, які спостерігаються, є результатом відгуку роботи вимірювальної апаратури на зовнішні метеоумови, тобто викликані змінами температури, вологості тощо. А не є змінами власне вимірюваної величини. У даній роботі розглянута можливість впливу саме такого фактору, як температура. Встановлено кореляцію між регулярними рядами вимірювань температури і рівня гамма-фону на території зони відчуження Чорнобильської АЕС, яка забруднена викидами палива зі зруйнованого енергоблоку. Зроблено припущення щодо механізму формування коливань у сигналах гамма-фону. Виявлений зв'язок може бути пов'язаний з існуванням спільного глобального чинника змінності сигналів гамма-фону і температури, який варто шукати поза межами тривіальних припущень про вплив метеорологічних умов на роботу апаратури.

Ключові слова: радіоактивний фон, температура повітря, кореляція.

¹ Державне спеціалізоване підприємство “Центральне підприємство з поводження з радіоактивними відходами”, м. Чорнобиль Київської обл., Україна

² Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, м. Чорнобиль, Україна

³ Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, Київ, Україна

ВСТУП

У 1986 році на 4-му енергоблоці Чорнобильської атомної електростанції (Україна) сталася катастрофа, яка призвела до радіоактивного забруднення великої території. На сьогоднішній день гамма-фон на контрольованій території формується головним чином внаслідок розпаду ¹³⁷Cs [10]. Нині у 30-км зоні навколо ЧАЕС функціонує система радіометричного контролю, в якій задіяно кілька десятків постів спостережень. На них в автоматизованому режимі регулярно (число імпульсів за кожні 15 секунд) проводяться вимірювання радіоактивного гамма-фону (рис. 1). Особливістю автоматизованої системи контролю радіаційного стану (АСКРС) є те, що як детектори, так і пов'язана з ними електроніка розташовані на відкритому повітрі, тобто знаходяться під впливом таких метеофакторів, як вологість,

температура тощо. Тому, не дивлячись на те, що використані в АСКРС детектори типу GammaTracer створені спеціально для використання в таких умовах, певний сенс можуть мати твердження про те, що зміни сигналів, які спостерігаються, є результатом змін температури обладнання.

Питання щодо впливу метеофакторів, у першу чергу температури навколишнього середовища, на роботу апаратури є насправді остаточно не вирішеним і лишається не лише актуальним, але й дискусійним. Наприклад, для вимірювального комплексу [7], за допомогою якого контролюються напруги, температура тощо, і виявлено сезонні зміни швидкості лічення порядку 0,2%, автор робить обережний висновок про можливий вплив температури навіть при змінах у 0,1 °C. Тобто температура буде змінною завжди, навіть в умовах її стабілізації. Питання у величині впливу цих змін. У критичній роботі [22] наводиться фотографія установки, яка вкрита поліетиленом та знаходиться на відкритому повітрі, на основі чого зроблено висновок, що за таких вимірювань усі коливання показника будуть викликані змінами метеоумов.

З іншого боку, якщо всі показники навколишнього середовища змінюються з певною ритмічністю, то чому слід вважати похибкою наявність подібної ритмічності у значеннях гамма-фону? Постає питання: чи потрібно ефект періодичних змін гамма поля враховувати як стандартну невизначеність при розрахунку сумарної невизначеності результату вимірювань?

Мета роботи — аналіз ефектів періодичних змін гамма поля при довготривалих (рік і більше) регулярних вимірюваннях та виявлення ступеню підпорядкованості або залежності цих змін від температури.

Легко зробити не одне припущення про можливі причини, які викликають цей ефект. Проте, у даній роботі здійснено спробу відповісти на головне питання: наскільки зміни рівня сигналу при вимірюваннях на відкритому повітрі відповідають саме справжнім змінам гамма-фону, а не впливу температури на апаратуру чи джерело.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Перевірка температурної чутливості детекторів. Система АСКРС в якості основних використовує детектори типу GammaTRACER (виробництва Genitron Instrument GmbH, Germany). Окремі екземпляри цих детекторів було перевірено на температурну чутливість під час планової метрологічної повірки [10]. Виявлено, що при змінах температури в межах діапазону (+7°C ÷ +53°C) сигнал (швидкість лічення) змінюється всього на 0,5%. Крім того, згідно технічної документації заводу-виробника детекторів типу GammaTRACER, зміни сигналів цих детекторів в робочому діапазоні температур не перевищують 10 нЗв/год, що для наведених нижче даних також складає приблизно 10/800 ~ 1,3%. Тобто параметри детекторів знаходяться в межах паспортних значень і в реальності навіть кращі. З цього можна зробити висновок, що описані нижче зміни сигналів системи АСКРС не можна пояснювати змінами характеристик апаратури, викликаними коливаннями температури повітря.

Подальше виділення ритмічності коливань температури та гамма-фону за теплий період року виконувалось за допомогою вейвлет-аналізу [1], а їх порівняння — за допомогою розшифрування вейвлет-розкладу на діаграмі та кореляційного аналізу.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Менше з тим, зміни реальних сигналів системи АСКРС інколи демонструють явну кореляцію зі змінами температури. Оскільки очікується, що сигнал



Рис. 1. Типовий пост спостереження за гамма-фоном у 30-км зоні ЧАЕС. Детектор GammaTRACER на мачті на висоті ~4 м

АСКРС змінюється внаслідок змін температури, то очевидно, що можливими є два типи змін. Добові — за рахунок змін температури вдень і вночі тільки за одну добу, за тривалий період (кілька діб чи сезонні), — коли середньодобові температури від додатних значень змінюються на від'ємні. Ясно, що такі очікувані довготривалі зміни температури повинні входити в добові зміни незалежно від сезону, тому що вплив температури є локальним явищем, яке повинно проявлятися в момент вимірювань. Тому аналізувати треба не лише багатомісячні тренди, а й деталі змінності сигналів протягом кількох діб.

Спочатку уважно подивимося на добові зміни. На рис. 2, 3 показано дані АСКРС за два різні періоди для двох постів спостережень "Машеве" і "Красне", і відповідні дані про температуру з метеостанції "Чорнобиль". Обидва пости спостережень розташовані на високій лівобережній заплаві р. Прип'ять, віддалені один від одного на відстань 3,25 км.

На рис. 2 показано порівняльні дані про температуру і гамма-фон для поста спостережень "Машеве" за 15.04–15.05.2018. Особливістю даних АСКРС за цей період є те, що сигнал гамма-фону, який зазвичай має вигляд шумової доріжки (як і повинно бути для пуассонівського процесу розпаду) у першій половині травня перетворився на зашумлену синусоїду. Величина змін досягла $\pm 10\%$, що набагато перевищує можливу паспортну похибку апаратури у $\pm 4\%$, включаючи описану вище чутливість до змін

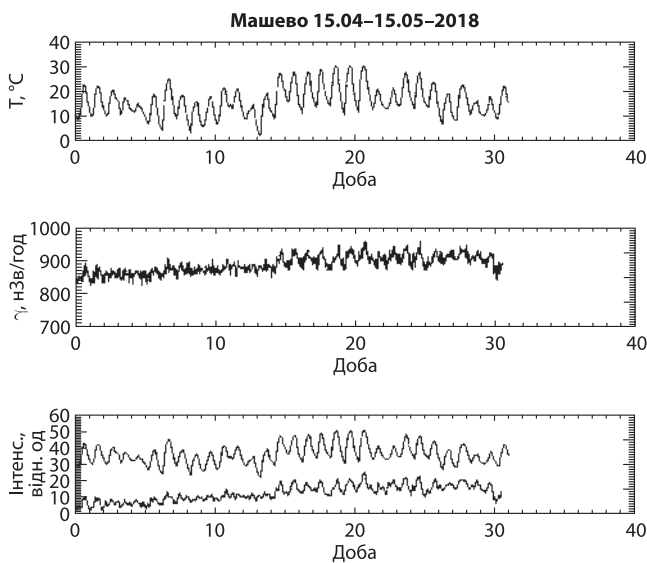


Рис. 2. Дані 15.04–15.05.2018, “Машево”. Зміни температури (верхній графік), гамма-фону (середній графік), та обидві ці криві, нанесені на один графік для наочності порівняння (нижній графік, масштаб змінено)

температури. На *рис. 2* наведені зверху вниз: температура за цей період, сигнал АСКРС, і нанесені на один рисунок два попередніх графіки. Сигнал АСКРС було згладжено ковзним середнім, щоб краще проявити тренд (добові зміни). Масштаб на цьому рисунку змінено таким чином, щоб обидві криві було зручно порівнювати. Перше, що слід відмітити, це те, що обидва графіки мають вигляд зіпсованої синусоїди: на кожному проявились звичайні добові зміни. Друге, обидва графіки практично однакові і синфазні: зростанню температури (день–ніч) відповідає зростання сигналу АСКРС і навпаки. Але така експериментально виявлена поведінка сигналу суперечить відомим властивостям детекторів на основі лічильників Гейгера-Мюллера [9, 11]: при зростанні температури їхня ефективність падає і, відповідно, зміни температури і викликані ними зміни сигналу повинні бути у протифазі. Крім того, у лівій частині графіка сигналу АСКРС, який відноситься до квітня 2018, яскраво виражених змін практично немає, хоча температура має помітні добові зміни. Різними також є загальні тренди цих двох сигналів: якщо у квітні сигнал АСКРС поступово зростає, то добові коливання температури в цей період такого тренду не мають.

На *рисунку 3* наведено аналогічні графіки за серпень 2017 р., пост спостережень “Красне”. На ньому спостерігається ще краща кореляція сигналів температури і сигналів з детектора АСКРС. За цей період зміни обох параметрів були більш яскраві, на них чітко видно, що і сам добовий хід модулюється і можна сказати, що обидва сигнали мають

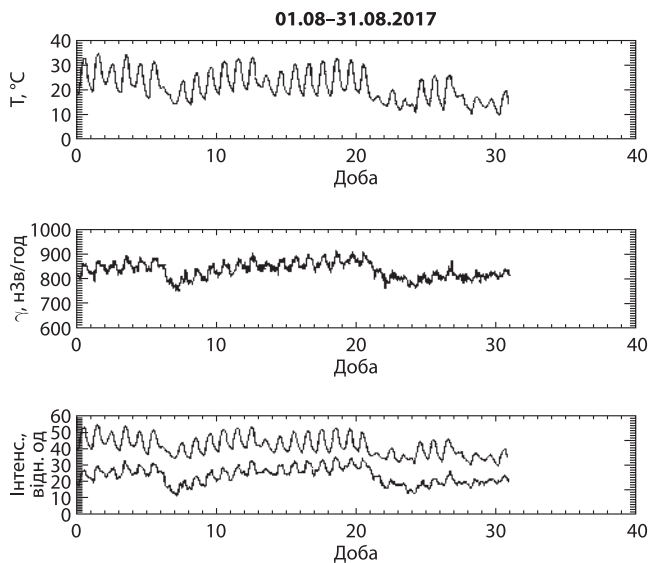


Рис. 3. Дані за 08.2017, “Красне”. Зміни температури (верхній графік), гамма-фону (середній графік), та обидві ці криві, нанесені на один графік (нижній графік, масштаб змінено)

вигляд “зубців пилки”. Легко порахувати на графіку температури, що тривалість “зубця” складає 6–7 діб. Кожен “зубець” відповідає одній добі. Розмах значень приземної температури повітря відповідає її добовому ходу, котрий зумовлюється радіаційним балансом (який у свою чергу залежить від висоти Сонця, тривалості дня, режиму хмарності та прозорості атмосфери) та адвекцією повітряних мас [4, 8]. У теплу бездошову погоду впродовж доби температура повітря змінюється наступним чином: після сходу Сонця і до 12 год відбувається її інтенсивне підвищення, потім воно уповільнюється і близько 15 год за місцевим часом досягає максимальних значень, після чого починається її поступове зниження (*рис. 4 а, б*).

Аналіз погодних умов серпня 2017 р. та травня 2018 р. було виконано із залученням даних наземних спостережень вітчизняної гідрометеорологічної мережі та числової (чисельної) мезомасштабної моделі WRF ARW (v.4.1.3), яка є однією з кращих за своїми експлуатаційними характеристиками і найпоширенішою у світі та використовується для широкого кола задач в Україні [19]. З *рис. 4 в, г* та *рис. 5* видно, що виявлені періоди (тривалість “зубців”) пов’язані із атмосферними опадами на території зони ЧАЕС та Київської області, випадіння яких супроводжувалося різким зниженням температури повітря.

Тривалість одного періоду коливань гамма-фону співставна із синоптичним періодом, проміжком часу, що характеризується певним синоптичним положенням або процесом над всією півкулею Землі

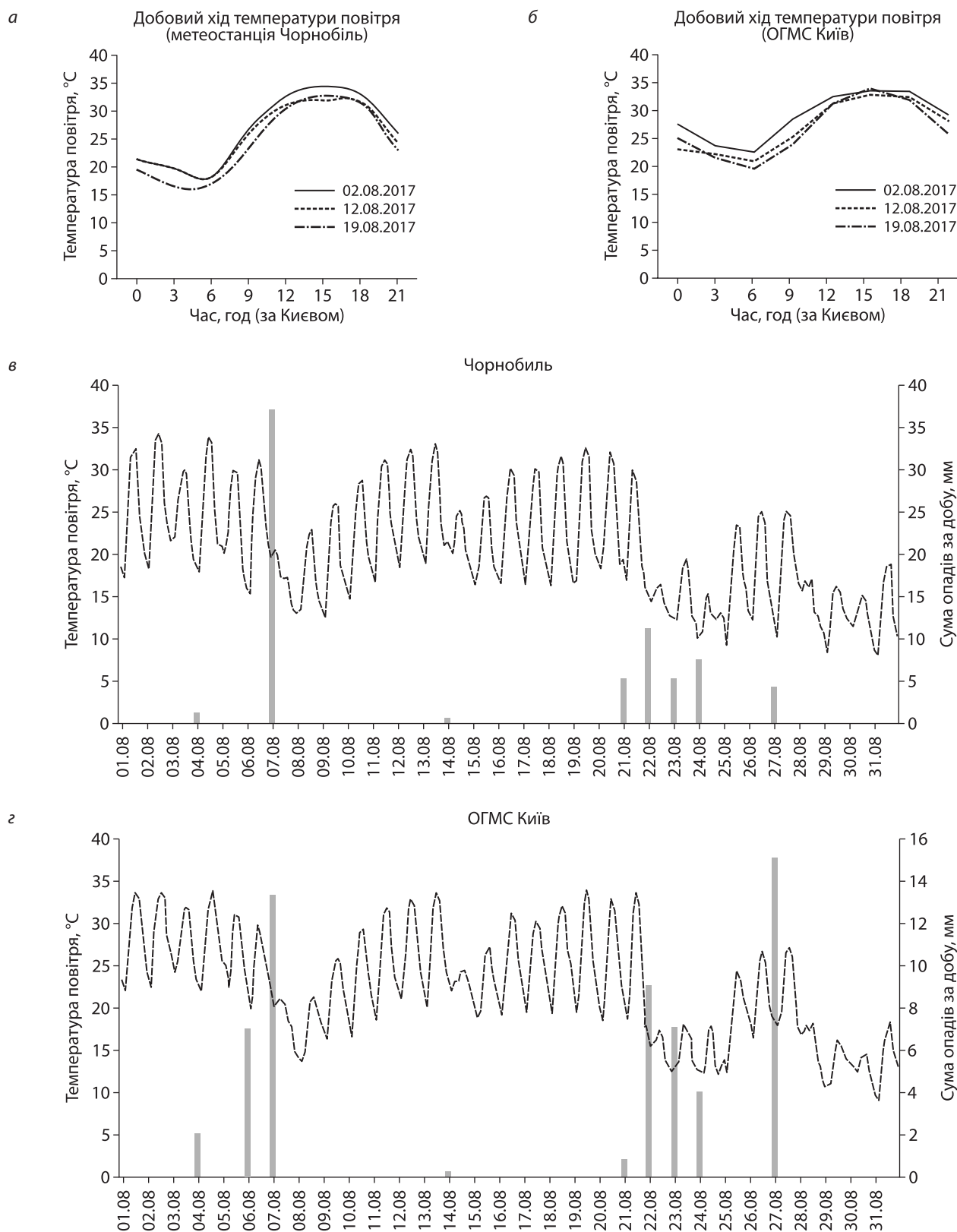


Рис. 4. Добовий хід температури повітря та сума атмосферних опадів за добу на метеостанції Чорнобиль та ОГМС Київ: *а* — добовий хід температури повітря на метеостанції Чорнобиль; *б* — добовий хід температури повітря на Об'єднаній гідрометеорологічній станції Київ; *в* — строкова температура (за Гринвічем) повітря та добові (метеорологічна доба) суми опадів, які були виміряні на метеостанції Чорнобиль упродовж серпня 2017 р.; *г* — строкова температура (за Гринвічем) повітря та добові (метеорологічна доба) суми опадів, які були виміряні на Об'єднаній гідрометеорологічній станції Київ упродовж серпня 2017 р.

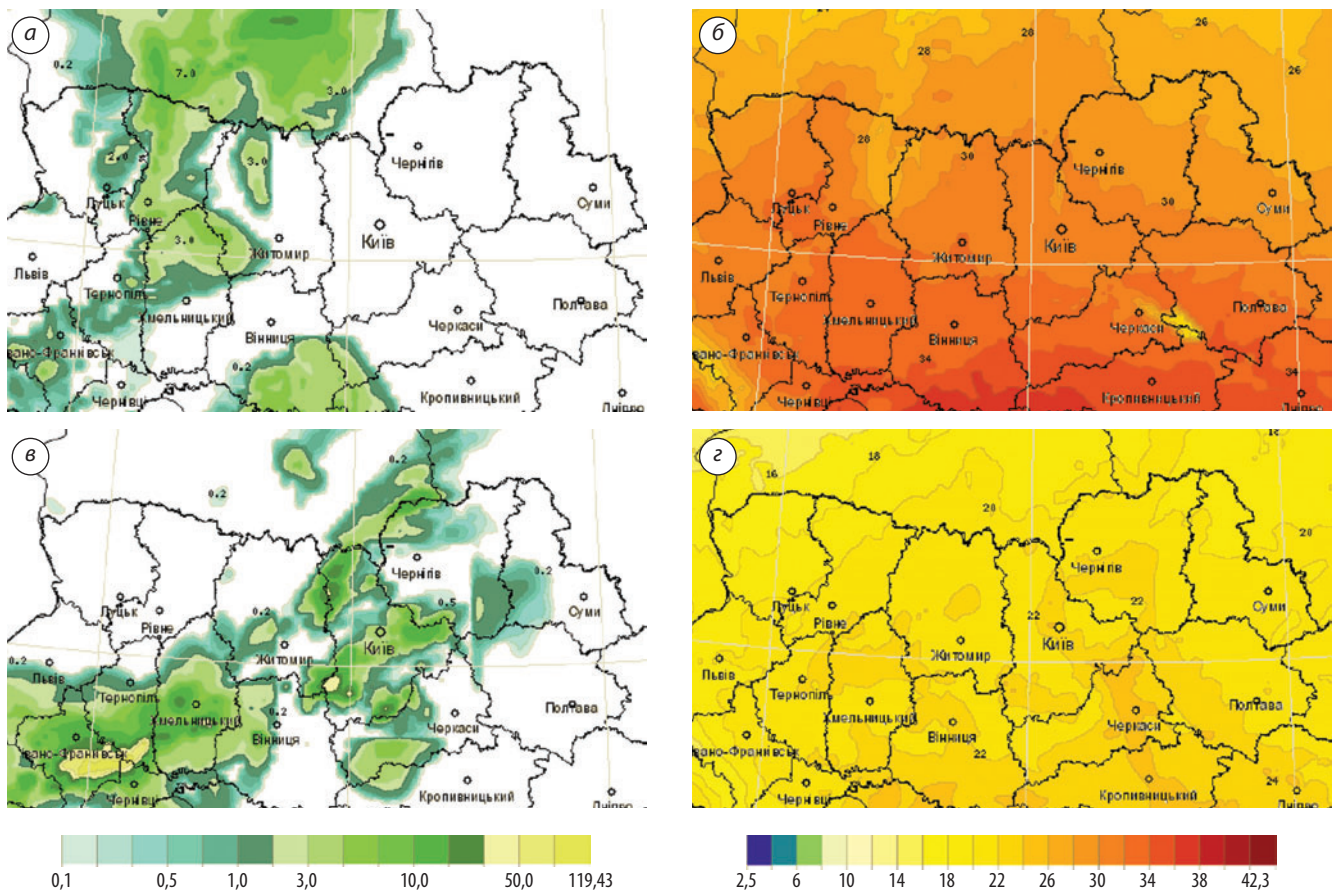


Рис. 5. Просторовий розподіл опадів (а — 15 год за Гринвічем, в — 21 год за Гринвічем) та приземної температури повітря (б — 15 год за Гринвічем, з — 21 год за Гринвічем) у центральних та північних областях України 6 серпня 2017 р.

або її частиною. У переважній більшості випадків його тривалість в європейському синоптичному районі коливається від 5 до 7 діб [3, 4].

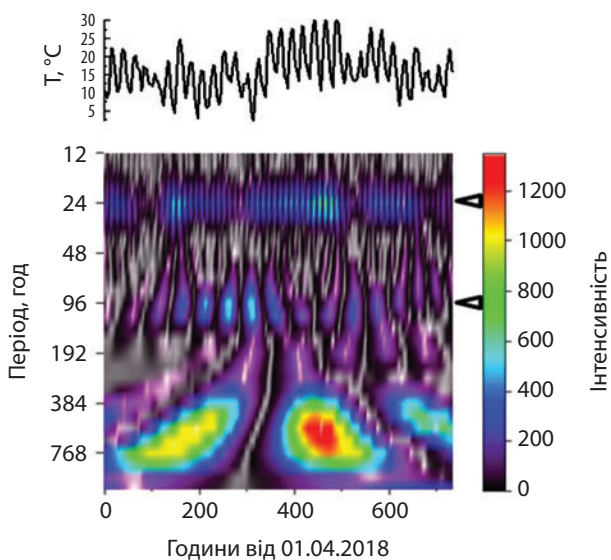


Рис. 6. Вейвлет-розклад температури повітря за період квітень–травень 2018 р. на посту “Машеве”. Чітко видно дві серії осередків (плям)

Ймовірними причинами опосередкованого прояву впливу температури повітря на вимірювальну апаратуру можуть бути наступні: 1) зменшення температури повітря зменшує конвективні та турбулентні потоки тепла у приземному шарі тропосфери (і разом часточок, які під дією цих потоків можуть підніматися із підстильної поверхні); 2) опади вимивають наявні в атмосфері часточки (пил, ґрунт, пилок рослин тощо), концентрація яких може впливати на рівень іонізуючого випромінювання.

Поглиблений аналіз періодичних складових за допомогою вейвлет-аналізу [1] для поста “Машеве” демонструється на рис. 6, 7. Використано вейвлет Гауса, що дало можливість розкрити наступні особливості в картині коефіцієнтів розкладу. По-перше, у розкладі по даному вейвлету наявність (прихованої) синусоїди відображається на картині коефіцієнтів вейвлет-розкладу серією регулярних горизонтально розташованих осередків (плям). З такими осередками пов’язані як максимуми, так і мінімуми синусоїди, а відповідно відстань між сусідніми осередками по горизонталі (час) дає її півперіод. По-друге, амплітуда синусоїди проявляється як яскравість картини осередків. У ті моменти часу,

коли така синусоїдальна модуляція слабка або відсутня, відповідні осередки можуть зникати.

На *рис. 6* показано результат вейвлет-аналізу температури. Добре видно дві системи осередків (позначені стрілками). Верхній ряд відповідає добовим змінам, де видно, що інколи амплітуда добових змін дуже мала. Не менш цікавим є поява ряду осередків **на періоді приблизно 4 доби**. Такої циклічності на хронологічному графіку значень температури натомість не видно.

Результати аналізу розташування плям (осередків) нижнього ряду, з *півперіодом 2 доби*, і відповідні відстані між ними, за якими можна оцінити період, наведено у *таблиці 1*. Положення осередків у таблиці дається як порядковий номер вимірювання.

На *рис. 7* наведено аналогічні результати для сигналу γ -випромінювання на АСКРС "Машеве". Також видно добові та з періодом приблизно в чотири доби зміни, і навіть аналогічні зміни в інтенсивності проявів добового ходу.

З розшифрування до *рис. 7* видно (*табл. 2*), що добові зміни стають набагато регулярнішими у травні (друга половина графіка). На рисунку також чітко видно 4-добовий хід (96 годинний) за рядом осередків навпроти нижньої стрілки.

Порівняння одночасних вимірювань температури і потужності дози. З попереднього розгляду випливає, що кореляція температури і сигналу

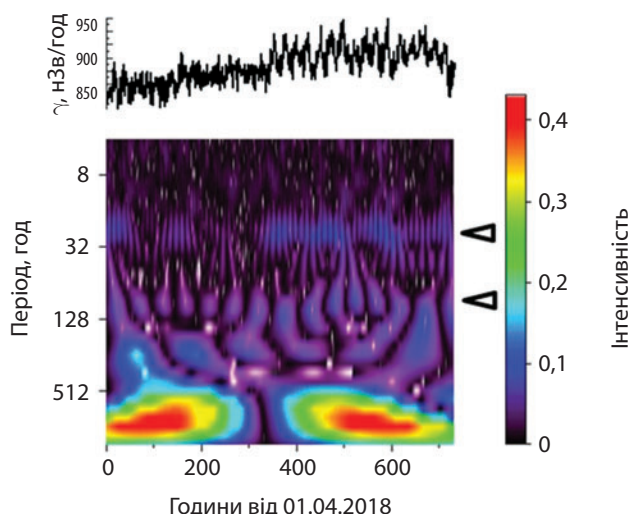


Рис. 7. Вейвлет еквівалентної дози γ -випромінювання в пункті АСКРС "Машеве" за квітень–травень 2018 р.

АСКРС хоча і не однозначна, проте у деякі періоди часу зміни дуже подібні. Отже, лишається високою вірогідність, що причиною змін сигналу АСКРС є температура, не зважаючи на всі аргументи проти. Тому для остаточного вирішення цієї проблеми був проведений аналіз даних одночасного контролю дозових характеристик та температури в детекторах. Такі дані за 2021 рік для поста "Красне" представлено на *рис. 8*. На верхньому графіку наведено зміни температури, а на нижньому — рівня гамма-

Таблиця 1. **Розшифрування вейвлет-розкладу ритмів температури повітря для періодичності у 4 доби (96 годин) (нижній з двох виділених рядів плям на *рис. 6*)**

Дата	Положення плями (осередка)	Різниця	Різниця, години	Півперіод, доби	Період, доби
17.04.2018	21				
19.04.2018	39	18	54	2,3	
21.04.2018	55	16	48	2	4,3
23.04.2018	72	17	51	2,1	4,1
25.04.2018	88	16	48	2	4,1
27.04.2018	104	16	48	2	4
30.04.2018	121	17	51	2,1	4,1
2.05.2018	141	20	60	2,5	4,6
4.05.2018	160	19	57	2,4	4,9
7.05.2018	178	18	54	2,3	4,6
9.05.2018	193	15	45	1,9	4,1
11.05.2018	210	17	51	2,1	4
12.05.2018	223	13	39	1,6	3,8
14.05.2018	236	13	39	1,6	3,3
Середнє		16,5	49,6	2,1	4,2

Таблиця 2. Розшифрування вейвлет-розкладу ритмічності еквівалентної дози γ -випромінювання для періодичності у 4 доби (96 годин) (нижній з двох виділених рядів плям на рис. 7)

Дата	Положення плями (осередка)	Різниця (відстань між осередками)	Період (різниця), години	Період, доби
15.04.2018	20			
17.04.2018	71	51		
20.04.2018	122	51	102	4,3
21.04.2018	166	44	95	4,0
23.04.2018	215	49	93	3,9
26.04.2018	266	51	100	4,2
28.04.2018	322	56	107	4,5
30.04.2018	376	54	110	4,6
2.05.2018	432	56	110	4,6
5.05.2018	481	49	105	4,4
6.05.2018	522	41	90	3,8
8.05.2018	568	46	87	3,6
10.05.2018	617	49	95	4,0
12.05.2018	672	55	104	4,3
15.05.2018	726	54	109	4,5
Середнє		50,4	100,5	4,2

фону. Очевидно, що зміни рівня гамма-фону визначаються не змінами температури.

Проте у більшому масштабі (рис. 9), аналізуючи у тому числі період відсутності снігового покриву в холодний період 2021 року, можна помітити цікаві збіги. Видно, що сигнали у цілому об'єднуються у певні групи по 5–15 діб. Кореляції між амплітудами сигналів немає, але є кореляція між моментами появи і закінчення цих груп. Така кореляція спостерігається в інтервалі приблизно 150–350 діб. На

початку року і після ~350 діб подібність між змінами температури і гамма-фону зникає. У загальному можна зробити висновок, що у літні місяці спостерігається підвищена змінність гамма-фону у сенсі утворення груп чи “зубців пилки”, подібним до таких у температурі. Така змінність сигналів гамма-фону восени і взимку зникає, не зважаючи на те, що температура продовжує змінюватися.

Зважаючи на вже достатньо відомі зміни в кореляційних зв'язках між чинниками водного вине-

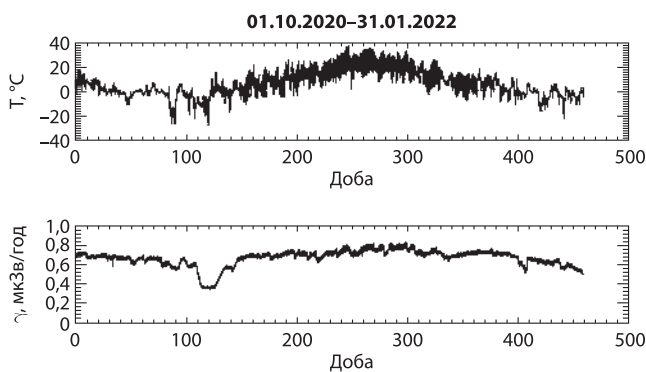


Рис. 8. Дані одночасного вимірювання потужності дози і температури детектором GammaTRACER за період 10.2020 по 01.2022 р., “Красне”. Зміни температури (верхній графік), гамма-фону (нижній графік). По горизонталі — доба від початку вимірювань

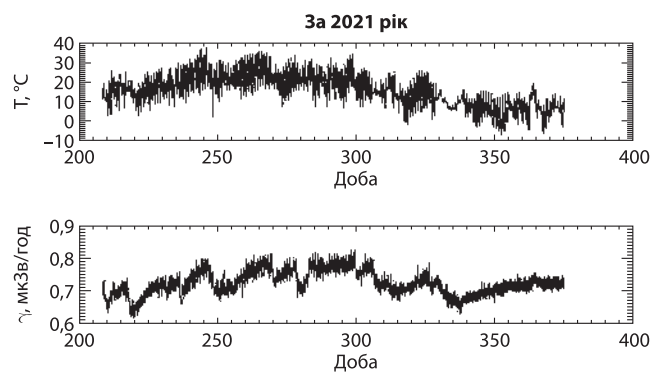


Рис. 9. Дані вимірювання потужності дози і температури детектором GammaTRACER за другу половину 2021 р., “Красне”. Зміни температури (верхній графік), гамма-фону (нижній графік). По горизонталі — доба від початку року

сення з водозборів зони відчуження та величиною водного винесення ^{90}Sr викликані трансформацією форм випадіння та заглибленням центру запасу радіонукліду в ґрунтах [36], на думку спадає аналогія щодо детермінованих часових змін кореляції і для знаку залежності гамма-фону від дощових опадів. В перші роки після аварійних випадіння у зоні відчуження відмічалось деяке збільшення гамма-фону після осадження радіоактивних аерозолів дощовими краплями, тобто прямий зв'язок. В наш час, після значного заростання та укріплення ґрунтової поверхні (зменшення підйому пилу), цей зв'язок, як бачимо (див. *рис. 4*) набув зворотного характеру. Звідси, логічним буде припустити, що в холодний період саме опади залишаються єдиним впливовим метеорологічним чинником і коливання температури значно меншою мірою пов'язані з опадами, а відповідно, і з гамма-фоном.

Метою даного дослідження була перевірка фактично аксіоматичного [22] твердження, що всі спостереження змінності швидкості лічення при вимірюваннях радіоактивного розпаду є результатом тривіального впливу температури на апаратуру. Особливістю експериментальної ситуації у нашому випадку також є те, що детектори гамма-квантів розташовано на відкритому повітрі, тобто вони, як і джерело гамма-фону, є відкритими сонцю і дощам. З метою визначити ступінь впливу навколишнього середовища на показання детекторів, які вимірюють рівень гамма-фону на контрольованій території Чорнобильської зони відчуження, проведено зіставлення показань детекторів та температури навколишнього середовища. Зіставлення проведено для різних детекторів і різних способів вимірювання температури.

Загальна картина змін обох сигналів протягом року дана на *рис. 9*. З неї видно, що зміни температури і сигналу швидкості лічення у цілому є різними. Легко знайти ділянки, де зміни одного сигналу не супроводжуються змінами в іншому. Але це характеризує досить великі (набагато більше доби) інтервали часу.

Крім того, є ще добові зміни як температури, так і сигналів АСКРС, коли зміни спостерігаються в обох сигналах, і часто достатньо синхронно, що, звичайно, викликає необхідність перевірки "аксіоми" про те, що це вплив температури. Отримані у даній роботі результати свідчать, що виявлені закономірності у змінах гамма-фону не можна пояснити лише впливом температури на апаратуру. Аргументи "проти" є наступними:

1. Відомо, що ефективність лічильників Гейгера-Мюллера зменшується з підвищенням температури [9, 11–13]. Тобто зміни температури і сигналу від

радіоактивного розпаду повинні бути у протифазі. У більшості ж випадків спостерігаються скорельовані зміни: криві температури і інтенсивності швидкості лічення імпульсів від радіоактивного розпаду мають однаковий вигляд та ідентичну циклічність. Отже, спостережена зміна сигналу АСКРС не є результатом реакції лічильника на зміну температури.

2. Залишається питання щодо чутливості до температури електронної частини детектора. Пряма перевірка детекторів показала, що при нагріванні детектора до 40–50°C сигнал вдалося змінити не більше, ніж на 0,5% і то статистично.

3. Добові зміни сигналу γ -випромінювання (гамма-фону) краще видно улітку і причина цього не відома. Крім того, сигнал гамма-фону за наявності реакції лічильника на температуру повинен був би закономірно збільшуватися при переході від літніх місяців до зимових, чого не спостерігається.

4. Є дані вимірювань гамма-фону (01–15.05.2018), коли протягом кількох днів амплітуда добових коливань гамма-фону різко збільшилася і досягла $\pm 10\%$, що значно перевищує всі допустимі апаратурні зміни.

Отже в експерименті **не отримано доказів впливу температури на апаратуру детектування**. Крім добових змін є ще інші, у першу чергу у вигляді аперіодичних "зубців пилки". На *рис. 9* можна бачити, що такий ефект є в обох сигналах, і вони явно скорельовані (а якщо це проявляється температурна чутливість детектора, то вони повинні бути у протифазі).

Виявлений в обох сигналах за допомогою вейвлет-аналізу **чотиридобовий період** без такого аналізу не вдалося б побачити. Тобто зміни цієї складової сигналу дуже малі, набагато менші загального рівня сигналу і тому, у відповідності до сказаного вище (відсутність реакції апаратури при набагато вищих рівнях змін температури), не можуть бути пояснені змінами температури обладнання.

5. Що стосується умоглядного припущення, що це може бути ефект впливу температури на джерело: підвищене виділення радону з ґрунту при нагріванні його сонячним опроміненням. По-перше, і наші експериментальні дані, і літературні свідчать, що зафіксувати присутність дочірніх продуктів розпаду радону в повітрі *можна лише при акумуляції його на фільтрах щонайменше протягом доби, що нівелює усі внутрішньодобові зміни*. По-друге, в циклі робіт групи Ізраїльської геологічної служби досліджувалася варіабельність сигналів від розпаду ^{222}Rn як в природних, так і в лабораторних умовах [11, 25–35]. У результаті цілеспрямованих довготривалих вимірювань радону в природних умовах,

як на поверхні ґрунту, так і під землею (в шахтах, тунелях на глибинах до 100 м), а також в умовах, коли радон знаходився у замкнутому контейнері і не могла йти мова про ексхаляцію, була виявлена варіабельність результатів, включаючи добові зміни, річні зміни та варіації всередині доби тощо. На думку авторів вказаних робіт, виявлену варіабельність не можна пояснити такими стандартними припущеннями, як атмосферні зміни чи геологічні процеси. Для пояснення залучається гіпотеза про існування “космофізичних факторів” (в т.ч. геофізичних).

ВИСНОВКИ

З розгляду наших результатів випливає, що кореляція між змінами температури і сигналів АСКРС у дійсності є обмеженою у тому сенсі, що існує лише у певний період (літні місяці). Отже, отримані результати не дозволяють пояснити змінність сигналів АСКРС тривіальним впливом лише метеоумов. З іншого боку, очевидною є схожість змін сигналів температури і АСКРС у часі: в обох сигналах існують приховані періодичні компоненти, а також багатодобові зміни у вигляді “зубців пилки”, які спостерігаються синхронно в обох сигналах. Їх тривалість у теплу частину року відповідає синоптичному періоду. Відсутність кореляції в холодному півріччі може пояснюватися тим фактом, що конвективні потоки від земної поверхні мінімальні або взагалі відсутні. Також можна зробити припущення, що добові зміни як температури, так і сигналів АСКРС пов’язані з обертанням Землі, коли детектор періодично потрапляє в зону впливу деякого зовнішнього фактору (наприклад, Сонця). Але природа появи інших закономірностей є не такою очевидною. І хоча метеорологія пояснює температурні зміни атмосферними процесами, виявлена подібність прихованих періодичних складових в обох фізичних величинах, які ніяк між собою не пов’язані, дозволяє поставити запитання про існування більш загального фактору, який впливає на обидві величини. Згідно подібних досліджень [20] знайдено невеликі кореляції між змінами величини саме гамма-фону та змінами *інтенсивності космічних променів, величиною міжпланетного магнітного поля*. Тому виявлені у нашому аналізі закономірності не можна залишити поза увагою.

Ідея існування зовнішнього фактору, який впливає на всі процеси на Землі, у тому числі на інтенсивність гамма-фону та навіть на швидкості радіоактивного розпаду, висловлювалася неодноразово. Так, із спостережень за шумами в електронній схемі з діодами Зенера було зроблено висновок, що існує космічний фактор типу фонового гравітаційного поля чи структури Простору, який впливає на всі процеси на Землі, викликає зміни на Сонці і температури на Землі [18] (тобто зміни температури на Землі викликані змінами на Сонці лише опосередковано). У роботах Шноля [23,24] на основі аналізу флуктуацій радіоактивного розпаду показано, що параметри цих флуктуацій однозначно пов’язані з астрономічними подіями: існування у добових змінах сигналу зоряного і сонячного періодів, прив’язка деяких особливостей сигналу до астрономічних подій типу сонячного затемнення та ін. У [5, 6] в часових рядах радіоактивного розпаду виявлено періодичні компоненти з періодами в десятки-сотні хвилин, які чітко збігаються з відомими у геофізиці коливаннями Землі. В роботах Баурова [12, 13] з аналізу сезонних змін статистики радіоактивного розпаду зроблено висновок про існування у Просторі виділеного напрямку (векторний потенціал Баурова). У [2, 14–17, 21] обговорюється питання про існування позаземних впливів галактичного походження на процеси на Землі.

Ядерна фізика категорично відкидає можливість впливу на процес радіоактивного розпаду такого чинника, як сезонні зміни температури. А наявність кореляцій не означає наявності причинного зв’язку. Виявлені у нашій роботі кореляції між змінами температури та інтенсивності γ -опромінення або потужності дози в приповерхневому шарі (фізичних величин, які не пов’язані між собою) можуть свідчити про існування загального чинника, який однаково впливає на ці не пов’язані між собою процеси. В цьому сенсі доцільно вивчати закономірності коливань геомагнітного поля Землі та електростатичного поля приземної атмосфери. Крім того, серед великої кількості різних сигналів, які пов’язані з космосом (радіовипромінювання, рентгенівське випромінювання, міжпланетне магнітне поле тощо) слід шукати не просто ті, з якими, хоча б грубо, існує кореляція, а і шукати в них описані вище часові закономірності.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. *УФН*. 1996. Т. 166. № 11. С. 1145–1170. [Astafieva, N.M. (1996). Wavelet analysis: fundamentals of theory and examples of application. *UFN*. 166, 11. 1145–1170].
2. Берри, БЛ. Пространственно-временные колебания Вселенной и новые направления в науках о Земле. *Пространство и Время*. 2015. № 3 (21). С. 258–269. [Berry, B.L. (2015). Spatio-temporal oscillations of the Universe and new trends in Earth sciences. *Space and time*. 3 (21). 258–269].
3. Кобзистий П.І. Особливості синоптичних процесів в Україні

- ні: навч. посіб. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2002. 149 с.
- [Kobzystyi, P.I. (2002). Peculiarities of synoptic processes in Ukraine: Training manual. Kyiv: Publishing Center "Kyiv University". 149 p.]
4. Кобзистий П.І., Щербань І.М. Основи синоптичної метеорології: навч. посіб. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2006. 115 с.
[Kobzystyi, P.I., Shcherban, I.M. (2006). Basics of synoptic meteorology: Training manual. Kyiv: Publishing Center "Kyiv University". 115 p.]
 5. Панчелюга В.А., Панчелюга М.С. Некоторые предварительные результаты локального фрактального анализа шумоподобных временных рядов методом всех сочетаний. *Гиперкомплексные числа в геометрии и физике*. 2014. **Т. 11**, Вып. 1, № 21, С. 134–156.
[Panchelyuga, V.A., Panchelyuga, M.S. (2014). Some preliminary results of local fractal analysis of noise-like time series by the method of all combinations. *Hypercomplex numbers in geometry and physics*. **11** (1), 21. 134–156.]
 6. Панчелюга В.А., Панчелюга М.С. Локальный фрактальный анализ шумоподобных временных рядов методом всех сочетаний в диапазоне периодов 1–115 минут. *Биофизика*. 2015. **Т. 60**. Вып. 2 (21), С. 395–410.
[Panchelyuga, V.A., Panchelyuga, M.S. (2015). Local fractal analysis of noise-like time series by the method of all combinations in the period range of 1–115 minutes. *Biophysics*. **60**, 2 (21). 395–410.]
 7. Пархомов А.Г., Макляев Е.Ф. Исследование ритмов и флуктуаций при длительных измерениях радиоактивности, частоты кварцевых резонаторов, шума полупроводников, температуры и атмосферного давления. *Физическая мысль России*. 2004. № 1. 1. http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/parkhomov_ritmy/parkhomov_ritmy.htm.
[Parkhomov, A.G., Maklyayev, E.F. (2004). Investigation of rhythms and fluctuations during long-term measurements of radioactivity, frequency of quartz resonators, semiconductor noise, temperature and atmospheric pressure. *Physical thought of Russia*. **1**. 1].
 8. Проценко Г.Д. Метеорологія та кліматологія: Навчальний посібник. Київ, 2007. 265 с.
[Protsenko, G.D. (2007). Meteorology and climatology: Training manual. Kyiv. 265 p.]
 9. Сидоренко В.В., Кузнецов Ю.А., Оводенко А.А. Детекторы ионизирующих излучений на судах. Справочник. Ленинград: Судостроение. 1984. С. 74–76.
[Sidorenko, V.V., Kuznetsov, Yu.A., Ovodenko, A.A. (1984). Ionizing radiation detectors on ships. Directory. Leningrad: Shipbuilding, 74–76.]
 10. Скорбун А.Д., Кучмагра О.А., Сплошной Б.М., Дорошенко А.О. Періодичності у сигналах довготривалих вимірювань гамма-фону в Чорнобильській зоні відчуження. *Nuclear Power and the Environment*. 2019. № 2 (14). С. 60–67. doi. org/10.31717/2311–8253.19.1.6.
[Skorbun, A.D., Kuchmagra, O.A., Solid, B.M., Doroshenko, A.O. (2019). Periodicities in the signals of long-term measurements of the gamma background in the Chernobyl exclusion zone. *Nuclear Power and the Environment*. **2** (14). 60–67.]
 11. Baurou Yu.A., Sobolev Yu.G., Kushniruk V.F. Kuznetsov E.A., Konradov A.A. Experimental investigation of changes in β -decay count rate of radioactive elements. arXiv:hep-ex/9907008.
 12. Baurou, Yu.A., Sobolev, Y. G., Ryabov, Y.V. (2014). New force, global anisotropy and the changes in β -decay rate of radioactive elements. *American Journal of Astronomy and Astrophysics*. **2** (6–1). 8–19. Published online October 28, 2014. (<http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ajaa>) doi: 10.11648/j.ajaa.s.2014020601.12
 13. Baurou, Yu.A. (2004). Global Anisotropy of Physical Space. Experimental and Theoretical Basis. Nova Science, NY, 166 p.
 14. Berkovich, S. Calendar variations in the phenomena of Nature and the apparition of two Higgs bosons. https://www2.seas.gwu.edu/~berkov/Berkovich_Calendar_Effect_modified.pdf.
 15. Berry, B.L. (1998). Regularities of Natural Cycles, Predictions of Climate and Surface Conditions. *Hydrol. Process*. **12**. 2267–2278.
 16. Berry, B.L. (2010). Helio-geophysical and Other Processes, Periods of Their Oscillations and Forecasts. *Geophysical Processes and Biosphere*. **9.4**. 21–66.
 17. Berry, B.L. (2011). Helio-geophysical and Other Natural Processes, Periods of Their Oscillations, and Forecasts 1. *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*. **47.7**. 54–86.
 18. Cahill, R.T. (2014). Solar flare five-day predictions from quantum detectors of dynamical Space fractal flow turbulence: gravitational wave diminution and Earth climate cooling. *Progress in Physics*. **10**, Issue 4 (October). 236–242.
 19. Doroshenko, A., Shpyg, V., Budak, I., Huda, K. (2020). Numerical atmospheric models and their application in different areas of economics [In: Kvasniy L. and Tatomyr I. (eds) Ukraine in the context of global and national modern servisation processes and digital economy]: monograph. Praha: Oktan Print. 155–171. <https://doi.org/10.46489/UITCOG0909>.
 20. Milián-Sánchez, V., Scholkmann, F., Fernández de Córdoba, P. et al. (2020). Fluctuations in measured radioactive decay rates inside a modified Faraday cage: Correlations with space weather. *Sci Rep*. **10**. 8525. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64497-0>.
 21. Pommé, S. (2019). Solar influence on radon decay rates: irradiance or neutrinos? *Eur. Phys. J. C*. **79**: 73 <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-019-6597-7>.
 22. Rokityansky, I.I. (1999). Phenomenon of quasi-spontaneous globally synchronized variations of physical parameters (QSV). Physics and Chemistry of the Earth, Part A. *Solid Earth and Geodesy*. **24**, Issue 8. 705–710.
 23. Shnoll, S.E. (2012). Cosmophysical Factors in Stochastic Processes. American Research Press, Rehoboth, NM, USA, 430.
 24. Shnoll, S.E. (2014). On the Cosmophysical Origin of Random Processes. Open Letter to the Scientific Community on the Basis of Experimental Results Obtained During 1954–2014. *Progress in physics*. **10**, Issue 4 (October). LETTERS TO PROGRESS IN PHYSICS.
 25. Scholkmann, F., Steinitz, G., Piatibratova, O., Kotlarsky, P. (2018). Diurnal oscillations in radon decay data from a long-term (3.5 year) directional Enhanced Confined Mode (ECM) experiment: New insights into possible extra-terrestrial influences. 20th EGU General Assembly, EGU 2018, Proceedings from the conference held 4–13 April, Vienna, Austria, p. 3308. 2018EGUGA.20.3308S.
 26. Steinitz, G., Piatibratova, O., Kotlarsky, P. (2011). Possible effect of solar tides on radon signals. *Journal of Environmental Radioactivity*. **102**. 8. 749–765.
 27. Steinitz, G., Piatibratova, O., Kotlarsky, P. (2014). Sub-daily periodic radon signals in a confined radon system. *Journal of Environmental Radioactivity*. **134**. 128–135.
 28. Sturrock, P.A., Steinitz, G., Fischbach, E., Parkhomov, A., Scargle, J.D. (2016). Analysis of beta-decay data acquired at the

- Physikalisch-Technische Bundesanstalt: evidence of a solar influence. *Astropart. Phys.* **84**. 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2016.07.005>.
29. Steinitz, G., Kotlarsky, P., Piatibratova, O. (2018). Radon signals in geological (natural) geogas and in a simultaneous enhanced confined mode simulation experiment. *Proc Math Phys Eng Sci.* **474**. 2216. <https://doi.org/10.1098/rspa.2017.0787>.
 30. Sturrock, P.A., Steinitz, G., Fischbach, E. (2018). Analysis of gamma radiation from a radon source: II. Indications of influences of both solar and cosmic neutrinos. *Astropart Phys.* **100**. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2018.02.003>
 31. Steinitz, G., Sturrock, P., Fischbach, E., Piatibratova, O. (2018). Indications for non-terrestrial influences on radon signals from a multi-year enhanced confined experiment. *Earth and Space Science Open Archive*. <https://www.essoar.org/doi/abs/10.1002/essoar.a0e6de6afdf78d90.905b86c97fa74b0c.1>.
 32. Sturrock, P.A., Fischbach, E., Piatibratova, O., Steinitz, G., Scholkman F. An Oscillation Evident in Both Solar Neutrino Data and Radon Decay Data. arXiv: 1907.11749.
 33. Sturrock, P.A., Fischbach, E., Piatibratova, O., Scholkman, F. (2021). Possible Indications of Variations in the Directionality of Beta-Decay Products. *Front. Phys.* **19**. Sec. Nuclear Physics. <https://doi.org/10.3389/fphy.2020.584101>
 34. Sturrock, P.A., Piatibratova, O., Scholkman, F. (2021). Comparative Analysis of Super-Kamiokande Solar Neutrino Measurements and Geological Survey of Israel Radon Decay Measurements. *Front. Phys.* **18**. Sec. Stellar and Solar Physics <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.71>
 35. Sturrock, P.A. (2022). Neutrino-Flux Variability, Nuclear-Decay Variability, and Their Apparent Relationship. *Space Sci Rev.* **218**: 23. <https://doi.org/10.1007/s11214-022-00878-3>.
 36. Shevchenko, A.L., Charnyi, D.V., Akinfiev, G.A. and Kireev, S.I. (2016). Factors Governing Strontium-90 export with surface runoff in the Chernobyl NPP Restricted Zone. *Water Resources.* **43**. 3. 522–532. <https://doi.org/10.1134/S0097807816010127>.

Zelenskyi Oleg¹

zelenski.oleg@ukr.net

Skorbun Anatolii²

ORCID: 0000-0001-8586-5713

anskorbun@gmail.com

Sploshnoi Borys¹

sploshnoybr@ukr.net

Shevchenko Oleksii³

ORCID: 0000-0002-5791-5354

shevch62@gmail.com

Shpyg Vitalii³

ORCID: 0000-0003-1055-7120

vitold82@i.ua

¹ STE “Central enterprise for radioactive waste management”, Chornobyl, Kyiv obl., Ukraine

² Institute for safety problems on nuclear power plants of National academy of sciences of Ukraine, Chornobyl, Kyiv obl., Ukraine

³ Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

CAN CORRELATIONS BE AN EVIDENCE, THAT CHANGES IN THE COUNT RATE OF RADIOACTIVE DECAY SIGNALS ARE DUE TO CHANGES IN TEMPERATURE?

In recent years, there has been a debate in the scientific literature about the possibility of variability in the rate of radioactive decay under the influence of external factors, as evidenced by separate experiments. However, since such effects are in sharp conflict with the basic principles of nuclear physics, there is also a strong criticism, which converges to that all such experiments are incorrect. At the same time, one way or another, everything converges to that the observed effects are the result of the response of the measurement equipment to external weather conditions, that is, caused by changes in temperature, humidity, etc. And these effects are not changes of the actual measured physical quantity. In this work, the possibility of influence of such a factor as temperature is carefully considered. A correlation was found between regular series of measurements of temperature and gamma background level in the exclusion zone of the Chornobyl nuclear power plant, which is contaminated by fuel fallouts from the destroyed power unit. The assumption was made regarding the mechanism of formation of features in gamma background signals. The revealed relation may indicate the existence of a common global factor (cause) of the variability of the gamma background signals and temperature, which should be sought beyond trivial assumptions about the influence of meteorological conditions on the operation of the equipment.

Keywords: radioactive background, temperature, correlation.

