УДК 523.982.8; 524.1;550.2; 551.510.52; 551.510.71; 551.521.64

Н. Лозицька, канд. фіз.-мат. наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

КОСМОГЕННИЙ БЕРИЛІЙ-7 У ПРИЗЕМНОМУ ПОВІТРІ УКРАЇНИ

Вивчено сезонні й річні варіації об'ємної активності берилію-7 у приземному повітрі в чотирьох областях України. Використано вже опубліковані дані за 2005–2019 рр. і нові результати вимірювань Головного центру спеціального контролю в Україні (https://gcsk.gov.ua/), проведені у 2017–2020 рр. Підтверджено виявлені раніше сезонні зміни об'ємної активності берилію-7 у центральній Європі з максимумом у квітні–серпні і мінімумом у листопаді–лютому. Середньорічні значення, отримані за вимірюваннями в чорнобильській зоні з 2005 по 2011 рр., корелюють із потоком нейтронної компоненти космічних променів і з висотою еквіпотенційної поверхні 200 мбар.

Ключові слова: космічні промені, космогенні радіонукліди, сезонні варіації, цикл сонячної активності.

Вступ. Ізотоп ^{7}Be має виключно природне походження. Цей радіонуклід приєднується до субмікронних аерозолів, тому його можна використовувати як маркер у пошуку закономірностей переміщень повітряних мас. Радіоактивні домішки у приземному шарі можуть мати стратосферне походження, коли у разі стратосферних потеплінь повітря проривається у тропосферу разом із накопиченими роками природними і техногенними радіонуклідами, а можуть бути наслідком аварійних викидів. Дослідження циклічних варіацій і спорадичних підвищень об'ємної активності ^{7}Be сприяють ототожненню джерел радіоактивних аерозолів і дозволяють оцінити внесок техногенних домішок у сумарну радіоактивність повітря. Сезонні варіації ^{7}Be достатньо описані, а характеристики більш тривалих змін відрізняються в різних географічних зонах і не всюди досліджені через недостатню тривалість спостережень.

Утворення космогенного берилію-7. Протони і нейтрони вторинних космічних променів з енергіями >10–20 МеВ взаємодіють з ядрами азоту і кисню, унаслідок чого утворюються космогенні радіонукліди, наприклад:

$$
\begin{gathered}
{}^{14}_{7}\mathrm{N} + p \rightarrow {}^{7}_{4}\mathrm{Be} + 2\,{}^{4}_{2}\mathrm{He}, \\
{}^{14}_{7}\mathrm{N} + n \rightarrow {}^{7}_{4}\mathrm{Be} + {}^{8}_{3}\mathrm{Li}, \\
{}^{16}_{8}\mathrm{O} + n \rightarrow {}^{7}_{4}\mathrm{Be} + {}^{10}_{4}\mathrm{Be}.
\end{gathered}
$$

Швидкість утворення ^{7}Be в таких реакціях уповільнюється зі зменшенням висоти. Щосекунди в атмосфері Землі утворюється 810 атомів ^{7}Be на квадратний метр поверхні, глобальний запас радіоактивного берилію становить 413 ПБк [1]. 70–80 % берилію-7 утворюється у стратосфері, решта – у тропосфері. У стратосфері продукція ^{7}Be зростає із широтою, а у тропосфері вона найбільша в зоні субтропіків [2]. Нещодавно розраховано, що протон-нейтронний механізм його утворення не єдиний, до 10–15 % ^{7}Be може виникати у фотоядерних реакціях [3]. Протони сонячних спалахів здатні продукувати ^{7}Be в полярних областях, але в цілому в максимумі сонячної активності швидкість утворення ^{7}Be в 1,5 рази менша, ніж у мінімумі [4, 5].

Динаміка космогенного берилію-7. Радіоактивний розпад ^{7}Be відбувається з напівперіодом 53,3 доби. Внаслідок захоплення ядром свого електрона ^{7}Be перетворюється на стабільний ^{7}Li, цей процес можна зареєструвати за гамма-випромінюванням з енергією 0,47 МеВ [6–8,10].

У стратосфері ^{7}Be може перебувати до року, потрапляючи у тропосферу за весняних змін висоти тропопаузи і спорадичних швидких стратосферних потеплінь. У тропосфері сухе осадження і вологе вимивання зменшує час перебування його до 3–7 тижнів [5,10]. Приземне повітря разом із ^{7}Be повністю оновлюється протягом кількох днів. На поверхню Землі випадає близько 1 % утвореного в атмосфері ^{7}Be [5, 8].

Середня об'ємна активність (ОА) ^{7}Be у тропосфері дорівнює 12,5 мБк·м$^{-3}$, вона зменшується з висотою і біля земної поверхні складає лише 3 мБк·м$^{-3}$, і все ж таки перевищує об'ємну активність усіх інших космогенних радіонуклідів у приземному повітрі. Річна ефективна доза опромінення від інкорпорованого ^{7}Be в середньому дорівнює 3 мкбер [1], це область надмалих доз.

Вимірювання природної радіоактивності приземного повітря, яке містить аерозолі субмікронного розміру з приєднаним ^{7}Be, дозволяє відстежити динаміку аерозолів [6, 11–13]. У роботі [12] знайдено, що на коротких проміжках часу ОА ^{7}Be у приземному повітрі корелює з висотою тропопаузи, коефіцієнт кореляції додатний і максимум спостерігається на 3 дні пізніше часу найбільшої висоти тропопаузи. Оскільки ^{7}Be у складі субмікронних аерозолів проходить шлях із стратосфери до земної поверхні за 1–3 тижні [11], пояснити майже одночасні максимуми [12] можна тим, що аерозолі з приєднаним ^{7}Be потрапляють із стратосфери на висоти верхньої тропосфери на кілька тижнів раніше їхньої реєстрації у приземному повітрі, а внаслідок чергування холодного і теплого фронтів, наступний максимум висоти тропопаузи збігається з максимальною ОА ^{7}Be у приземному повітрі.

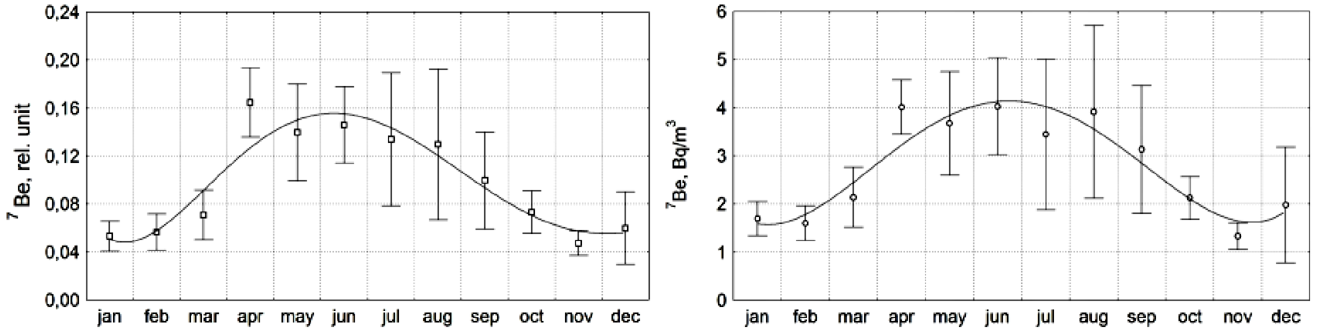
Довготривалі варіації ОА ^{7}Be у приземному повітрі вивчені недостатньо, є опубліковані дослідження, які свідчать про обернену кореляцію із сонячною активністю, яка виявляється не завжди і не на всіх територіях [5, 13]. Протягом 1970–1990-х рр. більшість із 23 спостережних станцій світу, розташованих переважно в Північній Америці, зафіксувала негативний тренд ОА ^{7}Be. Автори дослідження підкреслюють важливість досліджень довготривалих варіацій ОА 7Be в інших країнах північної півкулі [13].

Метод визначення об'ємної активності ^{7}Be у приземному повітрі. ОА ^{7}Be вимірюється за допомогою комплексу приладів, що складається з блоку фільтрації повітря (вентилятор, фільтри з відомим коефіцієнтом ефективності) і гамма-спектрометра. Повітря фільтрується від трьох до семи днів, для задач одночасного дослідження космогенного берилію-7 і радіонуклідів із надто малою об'ємною активністю – два тижні. Об'єм прокачаного повітря складає десятки-сотні тисяч кубічних метрів. Ефективність фільтрів знижується у процесі роботи залежно від забруднення повітря [8, 10]. Препарований експонований фільтр вимірюється на спектрометричному комплексі. Активність ^{7}Be у прокачаному повітрі визначається за інтенсивністю гамма-випромінювання в лінії 477 кеВ. Детектори спектрометричного комплексу відрізняються за розділенням і спектральним розподілом ефективності реєстрації фотонів. Наприклад, з рис. 2.4 роботи [8] видно, що за заміни детектора на новий ефективність реєстрації γ-квантів в області малих енергій удвічі покращилася, а в області близько 0,5 МеВ знизилася в півтора рази, що може пояснити систематичне заниження виміряних ОА ^{7}Be в роботі [8] порівняно із [7]. Випадкові похибки звичайно не перевищують 10–25 % [7–10], вони можуть бути обумовлені якістю захисного екрана, змінами рівня фону.

Дані вимірювань. У роботі використано дані вимірювань ОА ^{7}Be у приземному повітрі України на станціях спостережень, розташованих у чотирьох областях України в межах північних широт 48–51° і східних довгот 25–30°. Хоча радіонуклідний моніторинг здійснюють усі атомні електростанції у 30-кілометрових зонах екологічного контролю, у звітах Південно-Української і Запорізької АЕС є багаторічні дані про техногенні радіоактивні забруднювачі, але не вказано рівні космогенного ^{7}Be, лише зазначається, що його об'ємна активність використовується як фон для визначення техногенного забруднення. На сьогодні результати моніторингу космогенного берилію в Україні опубліковано у двох роботах, проведених у чорнобильській зоні [7, 8] і в доповідях облдержадміністрації Рівненської області [9]. У Рівненській області вимірювання ведуться в 16 пунктах спостережень з 2011 р. У Київській області три радіонуклідні станції розташовані на межі локальної зони об'єкта "Укриття", який тепер перекрила нова захисна споруда "Арка". З 2017 р. неперервний контроль ОА ^{7}Be налагоджено на двох радіонуклідних станціях у Житомирській області (міста Городок і Малин) і в м. Кам'янець-Подільський Хмельницької області. Вони підпорядковані Головному центру спеціального контролю (ГЦСК), який здійснює моніторинг радіоактивних речовин у повітрі, що дозволяє встановити факт аварій на АЕС та підприємствах, які використовують радіоактивне паливо. Головний центр спеціального контролю виконує функцію Національного центру даних Міжнародної системи моніторингу Організації Договору про всеосяжну заборону ядерних випробувань. У межах цього Договору дані вимірювань є у відкритому доступі https://gcsk.gov.ua/radionuklidnij-monitoring/. Об'ємна активність берилію-7 визначається щотижня на станціях Житомирської області і 1–3 рази на місяць у Хмельницькій. Результати вимірювань представлено на сторінці https://gcsk.gov.ua/konczentracziya-radioaktivnix-rechovin-u-povitri.html/. Поки що результати на сайті ГЦСК є попередніми. Як зазначено в роботі [14], станом на 2017 р. фільтрувальні установки були фізично зношені, працювали у ручному режимі та не мали функції визначення сумарного об'єму прокачаного повітря.

На підприємствах атомної енергетики світу протягом останніх десятиліть також проводиться неперервний контроль радіонуклідного складу повітря. Найближчі до території України станції найдовше працюють у Польщі, країнах Балтії і в Росії (м. Ростов-на-Дону) [10]. Результати вимірювань цих станцій за 2003–2011 рр. дозволяють верифікувати зведений ряд значень ОА ^{7}Be у приземному повітрі України.

Опрацювання даних. Сезонний хід ОА ^{7}Be розраховано за 500 даними вимірювань зі станцій радіаційного контролю "Городок", "Малин" і "Кам'янець-Подільський". Дані приладів, розміщені на зазначеному вище сайті, як випливає з роботи [14], поки що не стандартизовано через технічні складності становлення спостережень, тому сезонний розподіл представляємо у відносних одиницях (рис. 1а). Підбір коригуючих коефіцієнтів дозволяє наближено виправити первинні дані. Для того, щоб дані станцій "Городок", "Малин" і "Кам'янець-Подільський" із сайту ГЦСК привести до середнього рівня ОА близько 3,0–3,5 мБк·м$^{-3}$, характерного для суміжних областей України і Білорусі [7, 8, 9, 16], слід їх помножити на 50, 20 і 100 відповідно. Сезонні зміни, отримані з виправленими таким чином даними, показано на рис. 1б.



а б

Рис. 1. Сезонні варіації ОА ^{7}Be в Україні, подані в умовних одиницях (а) і в одиницях об'ємної активності (б)

З рис. 1 видно, що незалежно від того, в яких одиницях представлено ОА ^{7}Be, достовірним у нашій географічній зоні є її підвищення у квітні–серпні відносно осінньо-зимового періоду. Такий самий характер сезонних змін бачимо в опублікованих виданнях [7, 8, 10], у цих роботах є огляд причин такої сезонної варіації ОА берилію-7 в Європі на середніх широтах. Різке підвищення ОА у квітні пояснюється весняними змінами висоти тропопаузи, коли стратосферне повітря потрапляє у тропосферу. Влітку зменшується осадження ^{7}Be з атмосфери опадами, і тому ОА у приземному повітрі зростає, а восени–взимку, навпаки, дощі і сніг очищують приземний шар повітря.

Коефіцієнти, штучно підібрані до чотирирічних даних кожної радіонуклідної станції ГЦСК, дозволили відобразити сезонні зміни, але не можуть бути застосовані для зіставлення окремих середньорічних даних цього масиву, бо умови вимірювань імовірно суттєво змінювалися вподовж кількох років становлення моніторингу радіонуклідів в Україні – удосконалювалася апаратура і програма опрацювання. На сьогодні можна лише говорити про широкий діапазон розкиду окремих відкоректованих значень вимірювань ОА берилію-7 ГЦСК – від 0,06 до 21 мБк·м$^{-3}$, це практично такий самий діапазон, що і у вимірювань радіонуклідної станції м. Ростов-на-Дону. Помісячне усереднення значно зменшує розкид до 0,7–7 мБк·м$^{-3}$. Таке усереднення зменшує і асиметрію, обумовлену піками ОА в окремі місяці сезонних максимумів навесні і влітку, до 0,8±0,4 мБк·м$^{-3}$.

Зіставлення середньорічних значень ОА ^{7}Be у приземному повітрі за опублікованими даними. Результати вимірювань берилію-7 у приземному повітрі України порівняно із сусідніми країнами, де проводився моніторинг, наведено в таблиці.

Таблиця

Дані об'ємної активності берилію-7 у приземному повітрі (у мБк·м$^{-3}$), отримані з різних джерел

Рік	Дані з України					Дані з країн порівняння		
	"Укриття" [7]	"Укриття" [8]	Збільшені в 1,5 рази дані [8]	Середнє між ст. 2 і ст. 4	Рівненська АЕС [9]	Польща [15]	Балтика [15]	Росія [10]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2003						3,0±0,2	3,0±0,2	3,7
2004						3,0±0,2	2,8±0,2	4,2
2005	2,3±0,2			2,3±0,3		3,1±0,2	3,2±0,2	5,3
2006	3,2±0,2			3,2±0,3		3,7±0,2	3,8±0,4	6,9
2007	3,0±0,2	2,0±0,2	3,0±0,3	3,0±0,3		3,6±0,2	3,6±0,2	5,9
2008	3,3±0,2	2,1±0,2	3,2±0,3	3,2±0,4		3,7±0,3	3,9±0,3	7,9
2009	3,3±0,3	2,2±0,2	3,3±0,3	3,3±0,4		3,4±0,3	3,5±0,3	8,3
2010	3,1±0,3	2,4±0,3	3,7±0,4	3,4±0,4		3,3±0,2	3,6±0,3	7,7
2011		2,0±0,2	3,0±0,2	3,0±0,2	3,6±0,1	3,4±0,2	3,3±0,3	7,5
2012		2,7±0,2	4,0±0,3	4,0±0,3	3,7±0,1			
2013		3,1±0,2	4,6±0,3	4,6±0,3	3,7±0,1			
2014					4,2±0,1			
2015					3,8±0,1			
2016					3,8±0,1			
2017					3,5±0,1			
2018					3,7±0,1			
2019					3,2±0,1			

Найдетальніше в літературі описано процес моніторингу ОА ^{7}Be навколо об'єкта "Укриття" (нині назва "Арка") у чорнобильській зоні (стовпчики 2, 3 таблиці). Видно, що середньорічні значення за 2007–2010 рр. в роботах [7] і [8] суттєво відрізняються. Причиною такого розходження ймовірно є використання нового детектора гамма-випромінювання для вимірювань, зроблених в роботі [8], який має меншу ефективність в області 0,5 МеВ. Збільшення даних із роботи [8] у півтора рази (стовпчик 4) дозволяє надійно об'єднати ці два ряди (стовпчик 5).

Щорічні дані 15 пунктів спостережень із 30-кілометрової зони навколо Рівненської АЕС (стовпчик 6) у звітах [9] подано без деталізації по місяцях, тому немає впевненості, що вимірювання проводилися щомісяця. Менший розмір похибок даних РАЕС може свідчити, що там моніторинг проводився вибірково в окремі місяці.

Усі вимірювання, проведені в Україні, проілюстровано рис. 2, де показано ОА ^{7}Be за даними трьох публікацій, яким відповідають дані стовпчиків 2, 4 і 6 таблиці.

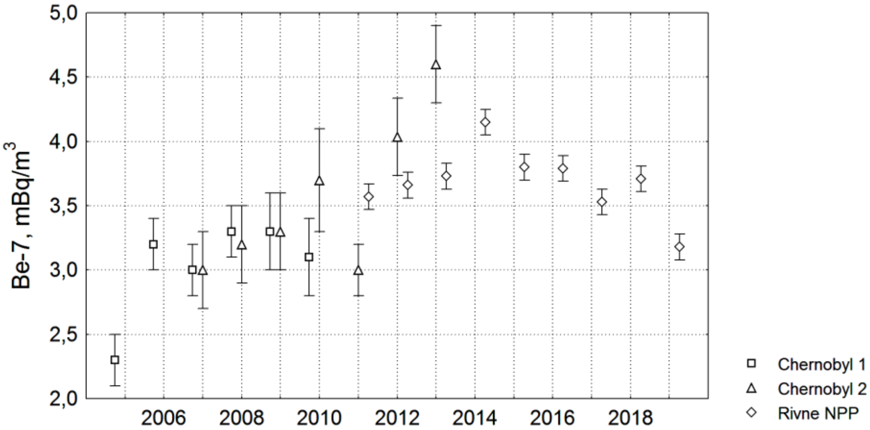


Рис. 2. Результати вимірювань об'ємної активності берилію-7 в Україні

Наявність сезонних змін, аналогічних тим, що показані на рис. 1, є верифікацією даних, отриманих у ближніх країнах. Зібрані й опрацьовані дані з бази Європейського радіаційного моніторингу REM [15] подано у стовпчиках 7 і 8 таблиці. Для 13 міст Польщі в базі REM є лише річні дані, за якими обчислено середньорічні значення в усій країні (стовпчик 7), тоді як дані вимірювань в Естонії, Латвії та Литві в цій самій базі деталізовані по місяцях (за критерієм сезонності не підтверджується тільки єдиний 2006-й рік спостережень у Литві), отже середньорічні значення для країн Балтики більш надійні (стовпчик 8). Порівняння рядів стовпчиків 5–8 із даними сусідньої з Україною радіонуклідної станції в Ростові-на-Дону (стовпчик 9) наглядно ілюструє існування систематичних відмінностей у результатах вимірювань із різною апаратурою. У роботі [10] докладно описано методику вимірювань та їхнє опрацювання в Ростові-на-Дону, проаналізовано діапазони сезонних варіацій у кожному році, але не досліджено систематичні відмінності від даних інших пунктів і випадкові похибки. Дійсно, точно знайти похибки – непроста задача, і варто зазначити, що ті стандартні похибки, які приведені в таблиці, до двох разів завищені, бо при їхньому обчисленні не виключені сезонні варіації.

Міжрічні відмінності ОА ^{7}Be на рівні більше трьох стандартних похибок можуть бути обумовлені технічними причинами. Щоб упевнитися у реальності зведеного у стовпчику 5 ряду значень, порівняємо його з рядами вимірювань сусідніх країн (стовпчики 7–9). Результати такого порівняння показано на рис. 3.

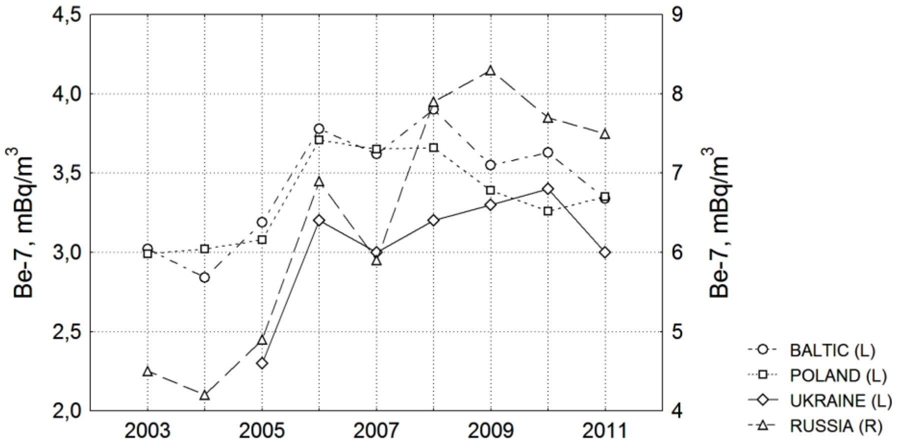


Рис. 3. Порівняння варіацій об'ємної активності берилію-7 в Україні з наявними результатами із сусідніх країн

З таблиці і з рис. 3 видно, що збільшення ОА ^{7}Be з 2005 до 2006 р. реальне, воно підтверджується даними трьох рядів порівняння. Як видно з таблиці, найбільший стрибок виміряної активності з 2011 до 2012 р. не може бути підтверджений за відсутності даних порівняння після 2011 р., окрім не дуже надійних даних моніторингу навколо РАЕС. Тому для подальшого аналізу варіацій будемо користуватися лише періодом 2005–2011 рр.

Аналіз міжрічних варіацій. За умови обмеження протяжності досліджуваного ряду найнадійніших вимірювань, підтверджується відома з літератури додатна кореляція ОА ^{7}Be з потоком нейтронної компоненти космічних променів CR, взятим на сайті http://www01.nmdb.eu/station/. Коефіцієнт кореляції r дорівнює 0,85 за достовірності існування зв'язку більше 95 %. Середньорічні висоти еквіпотенціальної поверхні з тиском 200 мбар (нижньої границі тропопаузи) над територією з координатами 45–55°N; 25-40°E розраховано за даними Climatic Research Unit, University of East Anglia https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/ncep/qs_eurasia/daily/pressure/hgt/. Отримано, що середньорічні ОА ^{7}Be корелюють із висотою поверхні тиску 200 мбар, коефіцієнт кореляції r дорівнює 0,70. Зв'язок ОА ^{7}Be з висотою еквіпотенціальної поверхні з тиском 200 мбар існує з достовірністю вище за 90 % не лише в Україні, але й у сусідніх країнах, що також підтверджує літературні дані.

Висновки. Середнє значення об'ємної активності космогенного берилію-7 у приземному повітрі України дорівнює 3,3 мБк·м$^{-3}$ зі стандартним відхиленням 0,4 мБк·м$^{-3}$. За даними сайту Головного центру спеціального контролю https://gcsk.gov.ua/ знайдено сезонні варіації ОА ^{7}Be з максимумом у квітні–серпні і мінімумом у листопаді–лютому, що підтверджує результати опублікованих досліджень.

Найнадійнішими є результати вимірювання в чорнобильській зоні навколо об'єкта, який зараз називається "Арка". Об'єднаний ряд вимірювань у цій зоні з 2005 до 2011 рр. з достовірністю понад 90 % корелює з даними сусідніх країн, які проводять радіонуклідний моніторинг. На рівні 95 % існує кореляція цього ряду з потоком нейтронної компоненти космічних променів (r = 0,85). На рівні 90 % існує позитивна кореляція ОА ^{7}Be у приземному шарі повітря в Україні з висотою еквіпотенціальної поверхні 200 мбар (r = 0,70).

Подяка. Автор висловлює подяку завідуючому сектором спектрометричних методів аналізу Інституту проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, канд. техн. наук О. К. Калиновському за цінні зауваження, а також співробітнику кафедри астрономії і фізики космосу, канд. фіз.-мат. наук. А. В. Грицаю за обговорення роботи, усім виконавцям радіонуклідного моніторингу, організаторам бази даних NMDB і всім учасникам досліджень, котрі її наповнюють, а також упорядникам бази даних Climatic Research Unit університету Східної Англії.

Список літератури

1. Sources and effects of ionizing radiation // UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. VOL. I: SOURCES. ANNEX B Exposures from natural radiation sources. – NewYork. – 2000. – 156 p.
2. Nagai, H. Production rates of 7 Be and 10 Be in the atmosphere / H. Nagai, W. Tada, T. Kobayashi // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B. – 2000. – Vol.172. – P.796–801.
3. Bezuglov, M.V. Photonuclear production of cosmogenic beryllium-7 in the terrestrial atmosphere / M.V. Bezuglov, V.S. Malyshevsky, G.V. Fomin [et al.] // Phys. Rev. C. – 2012. – Vol.86. – id.024609, 5 p.
4. Usoskin I.G. Production of cosmogenic 7Be isotope in the atmosphere: Full 3-D modeling / I. G. Usoskin, G. A. Kovaltsov // J. Geophys. Res. – 2008. – V.113, D12107(12p.).
5. Yoshimori, M. Production and behavior of beryllium 7 radionuclide in the upper atmosphere / M. Yoshimori // Adv. Space Res. –2005. V.36. – P.922–926.
6. Kalynovskyi, A.K. Radyoaktyvniye aerozoly Fukusymi v Chernobili / A.K. Kalynovskyi, V.A. Krasnov, B.Y. Ohorodnykov // Problemy bezpeky atomnykh elektrostantsii i Chornobylia. – 2011, Вип. 17. – С. 80–86.

7. Factors influence on atmospheric concentrations of beryllium-7 (7Be) in the Chernobyl zone / G. Batrakov, D. Kremenchutskii, A. Nazarov, A. Kholoptsev // Проблемы современной науки и образования. – 2016. – Т.45, №3. – С.248–254.
8. Kalynovskyi O.K. Udoskonalennia monitorynhu radioaktyvnykh aerozoliv u lokalnii zoni obiekta "Ukryttia" na etapi sporudzhennia novoho bezpechnoho konfainmenta "Arka": dys….kand. tekhn. nauk: 21.06.01 Kalynovskyi Oleksandr Kostiantynovych / NAN Ukrainy, In-t problem bezpeky atom. elektrostantsii. – Kyiv. – 2017. – 202 с.
9. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2012…..2016 році // Департамент екології та природних ресурсів Рівненської облдміністрації. Рівне 2013….2020 рр. https://www.ecorivne.gov.ua/report_about_environment/.
10. Космогенный бериллий-7 в земной атмосфере / Е.А. Бураева, В.С. Малышевский, В.И. Ратушный // Глобальная ядерная безопасность – 2020, №4(37). – С.17–29.
11. Bleichrodt, J.F. Mean tropospheric residence time of cosmic-ray-produced beryllium 7 at north temperate latitudes / J.F. Bleichrodt // J. Geophys. Res. – 1978. – Vol.83(C6), – P.3058–3062.
12. Feely, R.W. Factors that cause seasonal variations in Beryllium-7 concentrations in surface air / H.W. Feely, R.J. Larsen, C.G. Sanderson // J. Environ. Radioact. – 1989. – Vol.9, Iss.3. – P.223–249.
13. Long-term variations in the surface air 7Be concentration and climatic changes / L. Jiwen, V.N. Starovoitova, D.P. Wells // J. Environ. Radioact. – 2013. – Vol.116. – P. 42–47
14. Sytnyk V.H. Stvorennia modeli systemy kontroliu radiatsiinoi obstanovky HTsSK / V.H.Sytnyk // Aerokosmichni tekhnolohii. – 2017, № 1. – С.56–63.
15. Radioactivity Environmental Monitoring data bank https://data.jrc.ec.europa.eu/collection/id-0117.
16. Радиационно-экологический мониторинг Республики Беларусь https://rad.org.by/services.html

Надійшла до редколегії 27.03.2021

Н. Лозицкая, канд. физ.-мат. наук
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

КОСМОГЕННЫЙ БЕРИЛЛИЙ-7 В ПРИЗЕМНОМ ВОЗДУХЕ УКРАИНЫ

Изучены сезонные и годовые вариации объемной активности бериллия-7 в приземном воздухе четырех областей Украины. Использованы опубликованные данные за 2005–2019 гг. и новые результаты измерений, проведенных в 2017–2020 гг. Главным центром специального контроля в Украине (https://gcsk.gov.ua/). Подтверждены обнаруженные ранее сезонные изменения объемной активности бериллия-7 с максимумом в апреле–августе и минимумом в ноябре–феврале. Среднегодовые значения, полученные по измерениям в чернобыльской зоне с 2005 по 2011 гг., коррелируют с потоком нейтронной компоненты космических лучей и с высотой эквипотенциальной поверхности 200 мбар.

Ключевые слова: космогенные радионуклиды, космические лучи, сезонные колебания.

N. Lozitska, PhD
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

COSMOGENIC BERYLLIUM-7 IN THE NEAR-GROUND AIR OF UKRAINE

The ^{7}Be isotope is of exclusively natural origin. This radionuclide attaches to the submicron aerosols, so ^{7}Be can be used as a marker in the search for patterns of air mass movements. Studies of natural cyclic variations and sporadic increases in volume activity of ^{7}Be are needed to identify of various sources of total radioactivity of near-ground air.

Using the measurement data of radionuclide stations located in four regions of Ukraine within 48–51°N and 25–30°E, seasonal and annual variations in the volume activity of beryllium-7 in surface air were studied. We used both published data for 2005-2019 and new measurement results of the Main Center for Special Control in Ukraine (https://gcsk.gov.ua/), carried out in 2017–2020. This material confirms the seasonal changes in the volume activity of beryllium-7, found earlier for latitudes 45–55°N, with a maximum in April-August and a minimum in November-February. Comparison of measurements in Ukraine with the data of radionuclide monitoring of neighboring countries made it possible to choose the most reliable row of average annual values from 2005 to 2011, which was obtained from measurements in the Chernobyl zone. This data correlates with the flux of the neutron component of cosmic rays and with the height of the equipotential surface of 200 mbar.

Key words: cosmogenic radionuclides, cosmic rays, seasonal fluctuations.

УДК 523.942

Р. Костик, чл.-кор. НАНУ, д-р фіз.-мат. наук,
Н. Щукіна, чл.-кор. НАНУ, д-р фіз.-мат. наук
Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗВУКОВИХ ХВИЛЬ У СОНЯЧНИХ ФАКЕЛАХ

Обговорено результати спостережень факельної ділянки поблизу центра сонячного диска, які були отримані на німецькому вакуумному баштовому телескопі VTT (о. Тенерифе, Іспанія). Показано, що контраст факела збільшується не монотонно зі зростанням напруженості магнітного поля, а веде себе складніше: за напруженості близько 140 мТл він починає зменшуватись. Це ставить під сумнів загальноприйнятий на сьогодні механізм світіння сонячних факелів – ефект Вільсона, як єдино можливий. Контраст (яскравість) факела у верхній хромосфері сильно залежить від напрямку розповсюдження звукових хвиль в атмосфері Сонця. Ділянки факела, де спостерігаються біжучі вгору з фотосфери у хромосферу хвилі, виглядають більш яскраво, ніж ділянки, в яких хвилі розповсюджуються в протилежному напрямку (з хромосфери у фотосферу). Різниця в контрастах обумовлена тим, що хвилі, які розповсюджуються вгору, з невідомої нам причини, віддають перевагу тим місцям сонячної атмосфери, де напруженість магнітного поля вища за середню, а біжучі вниз – тим місцям, де напруженість нижча за середнє значення.

Ключові слова: Сонце, сонячна активність, спектрально-поляризаційні спостереження, магнітні поля, термодинамічні умови, сонячні факели.

Вступ. В одній із попередніх робіт [1] ми досліджували поведінку контрасту (яскравості) факельної ділянки в центрі лінії CaII H 396,8 нм залежно від різних конвективних і хвильових параметрів, а також від величини напруженості магнітного поля. У тій роботі дійшли висновку, що звукові хвилі, які розповсюджуються з фотосфери у хромосферу, можуть змінювати контраст факельної ділянки, який, в основному, залежить від величини напруженості магнітного поля в результаті ефекту Вільсона. Нагадаємо, що ідея цього методу така: у місцях сонячної поверхні з наявним магнітним полем випромінювання виходить із більш глибоких, а значить, із більш гарячих шарів атмосфери, ніж у ділянках, де магнітне поле відсутнє, оскільки, чим більше магнітне поле, тим менший газовий тиск і, як наслідок, більша геометрична глибина, де оптична товщина досягає одиниці. Ми також звернули увагу на той факт, що контраст