

УДК 550.84; 504.54  
PACS number(s): 52.70.La

## БЕРИЛІЙ-7 У ПРИЗЕМНІЙ АТМОСФЕРІ ЧОРНОБИЛЬСЬКОГО РЕГІОНУ

Г. Батраков<sup>2</sup>, Л. Богдан<sup>1</sup>, Д. Кременчуцький<sup>2</sup>, О. Назаров<sup>1</sup>

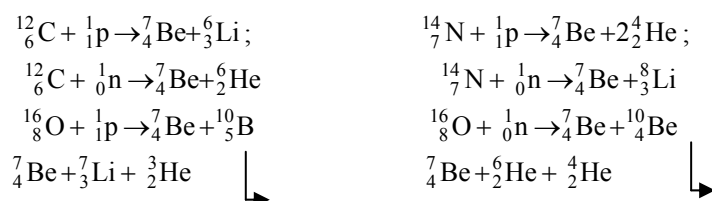
<sup>1</sup>Державне спеціалізоване науково-виробниче підприємство “ЕКОЦЕНТР” МНС України  
вул. К. Лібкнехта, 10, м. Чорнобиль, 07270<sup>©</sup>

<sup>2</sup>Морський гідрофізичний інститут Національної академії наук України  
вул. Капітанська, 2, м. Севастополь, 99011, e-mail: nazarov42t@rambler.ru

Концентрацію <sup>7</sup>Be вимірювали протягом п'яти років (з липня 2005 до травня 2010 р.) у приземній атмосфері Чорнобильської зони. За результатами вимірювань середнє значення концентрації <sup>7</sup>Be становить  $3,0 \pm 0,18$  мБк/м<sup>3</sup>. Спостережено яскраво виражену сезонну мінливість концентрації радіонукліда з максимальними значеннями у період кінець весни–початок літа та мінімальними восени. Виявлено зв'язок між варіацією концентрації <sup>7</sup>Be та низкою метеопараметрів. Доведено, що на концентрацію радіонукліда у приземній атмосфері суттєво впливає температура повітря.

*Ключові слова:* <sup>7</sup>Be, приземна атмосфера, температура, вологість, швидкість вітру, кількість опадів, сонячна активність.

Берилій-7 – порівняно короткоживучий ( $T_{1/2} = 53,3$  дня;  $\tau = 1/\lambda = 77$  дня; розпадається внаслідок К-захоплення у стабільний <sup>7</sup>Li з максимальною енергією 477 KeV) природний радіонуклід космогенного походження, що утворюється внаслідок взаємодії легких атмосферних ядер із протонами та нейтронами (головними компонентами космічних променів) за такими реакціями:



Швидкість утворення <sup>7</sup>Be максимальна у верхніх шарах стратосфери, тут утворюється близько 70 % радіонукліда, однак деякі високоенергетичні частки із потоку космічних променів можуть сягати нижніх шарів атмосфери. Вона залежить не тільки від висоти, а й від широти та мінливості відповідно до одинадцятирічних циклів сонячної активності, які модулюють потік космічних променів через магнітне поле Землі. Запас природного радіоізоотопу <sup>7</sup>Be в атмосфері оцінюють як  $1,8 \cdot 10^{17}$  Бк [11]. Обчислена середня глобальна швидкість утворення космогенного радіонукліда <sup>7</sup>Be становить 810 атомів/м<sup>2</sup>·с, а середня концентрація в тропосфері – 12,5 мБк/м<sup>3</sup> [25].

Берилій-7, що утворюється в атмосфері, швидко зв'язується з аерозолями субмікронного розміру та виводиться з неї внаслідок сухих та вологих випадань [7, 24]. Значення сухих випадань, зазвичай, менше, ніж вологих [26]

Також  $^7\text{Be}$  – це добрий трасер для дослідження низки процесів в атмосфері з таких причин: відомі головні джерела надходження радіонукліда;  $^7\text{Be}$  має порівняно малий період напіврозпаду; після утворення він швидко зв'язується з аерозолями; існує градієнт концентрації між нижньою стратосферою та приземною атмосферою; вимірювати концентрацію  $^7\text{Be}$  порівняно просто та недорого; є велика кількість надійних даних про концентрацію  $^7\text{Be}$  для перевірки різних моделей.

Дані про приземну концентрацію  $^7\text{Be}$  використовують для такого:

- визначення походження повітряних мас [4, 5];
- визначення часу існування аерозолів у тропосфері та стратосфері [6, 10, 17];
- визначення інтенсивності атмосферних процесів [22, 14, 23];
- валідації результатів моделювання глобальної циркуляції атмосфери [8, 16].

Наша мета – виявити регіональні особливості поведінки  $^7\text{Be}$  у приземній атмосфері Чорнобильського регіону, а також оцінити вплив метеопараметрів, зокрема, температури, кількості опадів, вологості, швидкості вітру, на концентрацію ізоотопу.

Для визначення концентрації  $^7\text{Be}$  використано комплекс апаратури, що складається з повітрофільтраційної установки та гамма-спектрометра. Повітрофільтраційна установка містить електроventильатор та фільтротримач, на якому розташовано тонковолокнистий фільтр ФПП-15. Повітря фільтрують протягом трьох–семи діб, після чого замінюють фільтр. Активність фільтра вимірювали на гамма-спектрометрі з напівпровідниковим детектором. Активність  $^7\text{Be}$  визначали за лінією 477 КеВ.

Концентрацію  $^7\text{Be}$  у приземній атмосфері м. Чорнобиль вимірювали з 18 липня 2005 р. до 16 травня 2010 р. Разом відібрано 305 проб. Діапазон вимірювань концентрації ізоотопу – від 0,18 до 8,0 мБк/м<sup>3</sup>. Середнє значення концентрації радіонукліда дорівнює  $3,0 \pm 0,18$  мБк/м<sup>3</sup>. Часова мінливість концентрації радіонукліда зображена на рис. 1.

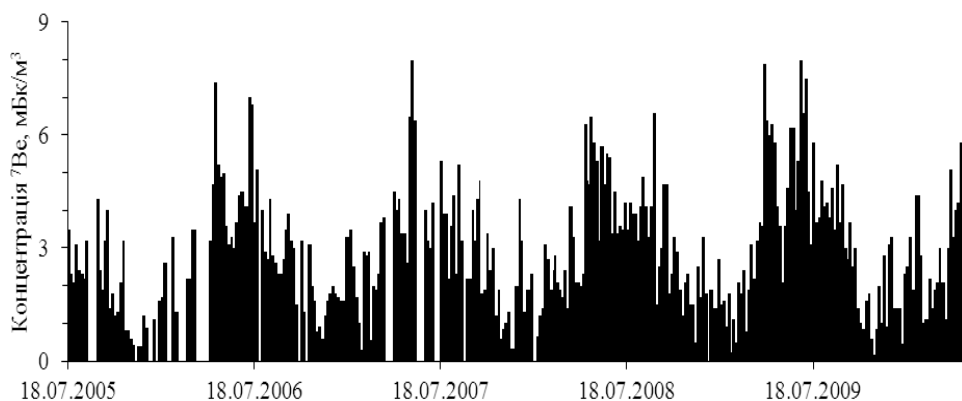


Рис. 1. Виміряні значення концентрації  $^7\text{Be}$  в пробах аерозолю.

Визначено внутрішньорічну мінливість концентрації  $^7\text{Be}$ , обчислену як результат усереднення всіх отриманих значень концентрації радіонукліда протягом місяця за весь час спостережень. Результати відображено на рис. 2.

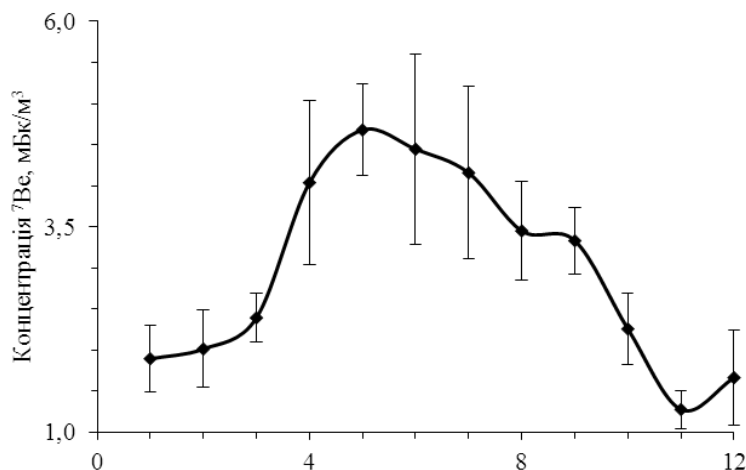


Рис. 2. Внутрішньорічна мінливість середньомісячної концентрації  ${}^7\text{Be}$  у приземній атмосфері Чорнобильського регіону.

Як бачимо з наведених даних, максимальні значення концентрації спостережено у період кінця весни – початку літа, що зумовлено впливом двох чинників: інтенсифікацією процесів обміну між стратосферою та тропосферою і збільшенням ролі вертикального обміну у тропосфері. Мінімальні значення концентрації зафіксовано восени. Максимальні та мінімальні значення відрізняються більше ніж утричі.

**Вплив сонячної активності на концентрацію  ${}^7\text{Be}$ .** У працях [9, 12] досліджено вплив сонячної активності на концентрацію  ${}^7\text{Be}$ . Автори з'ясували, що зі збільшенням сонячної активності концентрація  ${}^7\text{Be}$  зменшується. Цей результат можна пояснити так: зі збільшенням сонячної активності зменшується потік галактичних космічних променів. Галактичні космічні промені мають енергію на три–десять порядків вищу, ніж сонячні космічні промені та під час взаємодії з атмосферою утворюють більшу кількість атомів  ${}^7\text{Be}$ .

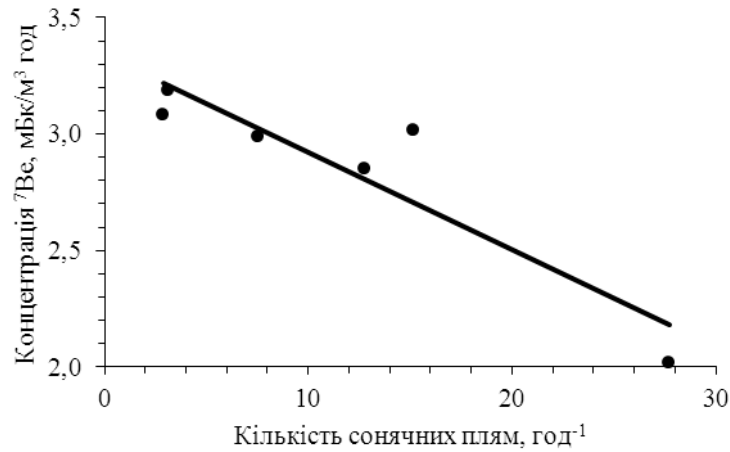
Дані про кількість сонячних плям (один із параметрів, що характеризують активність сонця) застосовано для вивчення мінливості концентрації  ${}^7\text{Be}$  в Чорнобильській зоні. Ми використали дані, надані Sunspot Index Data Center (SIDC), Брюссель. Отримано зворотну кореляційну залежність (рис. 3) на рівні  $-0,92$  за значення довірчого інтервалу  $0,95$ . Рівняння апроксимоване кривою:

$$y = -0,42 \cdot x + 3,34.$$

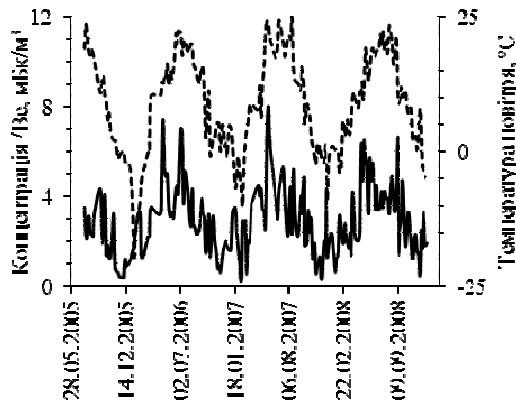
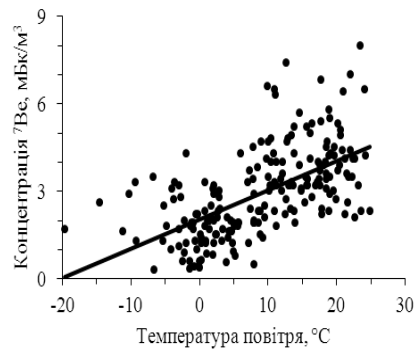
Отримані нами результати узгоджуються з результатами, що наведені у працях [9, 12, 21, 20].

**Вплив метеопараметрів на концентрацію  ${}^7\text{Be}$ .** Ми спробували оцінити вплив метеопараметрів на мінливість приземної концентрації  ${}^7\text{Be}$ . Методані отримано від метеостанції, розташованої поблизу пункту спостережень. Одержано такі результати: за нашими даними, температура найбільше впливає на варіацію приземної концентрації радіонукліда. Кореляційна залежність (рис. 5, 6) між середніми значеннями температури за час відбору проб та отриманими значеннями приземної концентрації  ${}^7\text{Be}$  – на рівні  $0,60$  за вірогідності  $0,95$ . Рівняння апроксимують кривою

$$y = 0,01 \cdot x + 2,01.$$

Рис. 3. Залежність концентрації <sup>7</sup>Be від кількості сонячних плям.

Позитивну кореляцію між концентрацією радіонукліда і температурою повітря можна пояснити інтенсифікацією циркуляції у тропосфері. Річ у тому, що влітку тропосфера менш стабільна, ніж узимку. Причина цього в такому: протягом теплих місяців сонце нагріває земну поверхню, яка внаслідок теплообміну з довкіллям прогріває приземну атмосферу. Тепліше повітря з приземної атмосфери піднімається вверх, а з тропосфери холодніше та збагачене <sup>7</sup>Be опускається вниз. Унаслідок цього процесу збільшується приземна концентрація радіонукліда.

Рис. 5. Вимірні значення концентрації <sup>7</sup>Be (безперервна лінія) та значення температури (штрихова лінія) за відповідний період.Рис. 6. Залежність приземної концентрації <sup>7</sup>Be від температури повітря.

Спостережена кореляційна залежність (рис. 7, 8) із відносною вологістю повітря на рівні -0,7 за довірчої вірогідності 0,95. Рівняння апроксимують кривою

$$y = -0,11 \cdot x + 11,22.$$

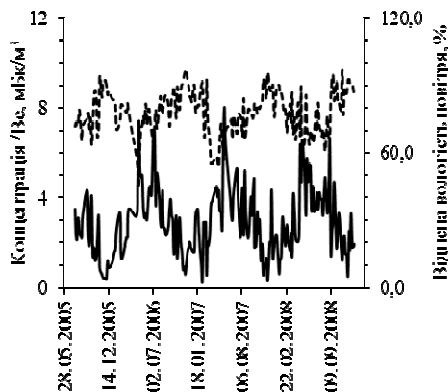


Рис. 7. Виміряні значення концентрації  $^7\text{Be}$  (безперервна лінія) та значення відносної вологості повітря (штрихова лінія) за відповідний період.

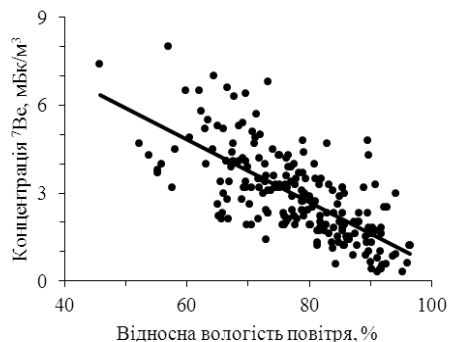


Рис. 8. Залежність приземної концентрації  $^7\text{Be}$  від відносної вологості повітря.

Відносна вологість повітря безпосередньо не впливає на концентрацію  $^7\text{Be}$  в атмосфері, це, швидше, суто кореляційна залежність. Річ у тому, що за низької відносної вологості концентрація аерозолів, носіїв  $^7\text{Be}$ , зазвичай, вища, ніж у разі високої.

Спостережено слабку (на рівні  $-0,32$  за значення довірчої вірогідності  $0,95$ ) відносну кореляційну залежність між середньою за час відбору проби швидкістю повітря та виміряною концентрацією  $^7\text{Be}$  (рис. 9, 10).

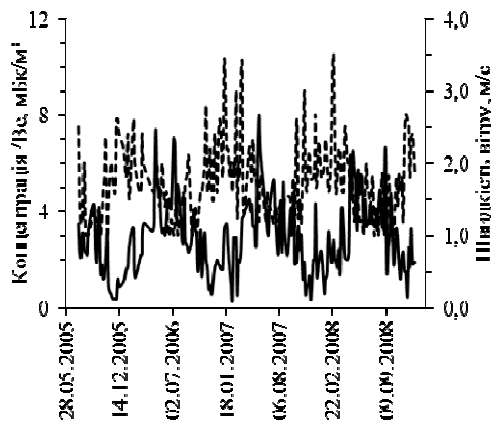


Рис. 9. Виміряні значення концентрації  $^7\text{Be}$  (безперервна лінія) та значення швидкості вітру (штрихова лінія) за відповідний період.

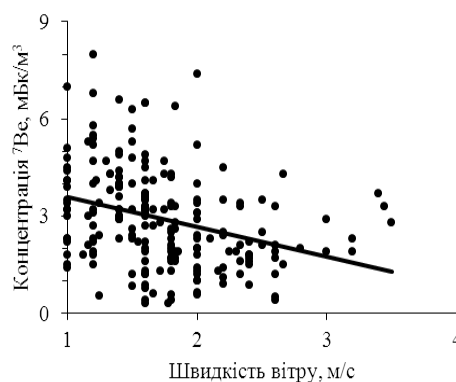


Рис. 10. Залежність приземної концентрації  $^7\text{Be}$  від швидкості вітру.

За нашими даними, кількість опадів суттєво не впливає на приземну концентрацію радіонукліда (рис. 11, 12). Це відповідає регіону, у якому проводять дослідження та для якого характерний порівняно сухий клімат.

Коефіцієнт кореляції між концентрацією  $^7\text{Be}$  в приземній атмосфері та кількістю опадів становить 0,28 за значення довірчої вірогідності 0,95.

Автори праць [13, 1, 2, 19] дослідили залежність приземної концентрації  $^7\text{Be}$  від кількості опадів. За отриманими результатами можна зробити такі висновки.

1. У регіонах, яким властивий порівняно сухий клімат, опади суттєво не впливають на приземну концентрацію радіонукліда.

2. У регіонах, яким властиві рясні опади, простежено зворотну кореляційну залежність приземної концентрації радіонукліда від кількості опадів.

Ми вважаємо, що спостережену в нас позитивну кореляційну залежність можна пояснити так: концентрація  $^7\text{Be}$  в дощових опадах на кілька порядків вища, ніж у повітрі. Наш комплекс апаратури не дає змоги повністю відділяти аерозолі від крапель дощу, тому, можливо, що деяку частку дощових крапель захоплює потік повітря й вони потрапляють на фільтр, змінюючи активність проби.

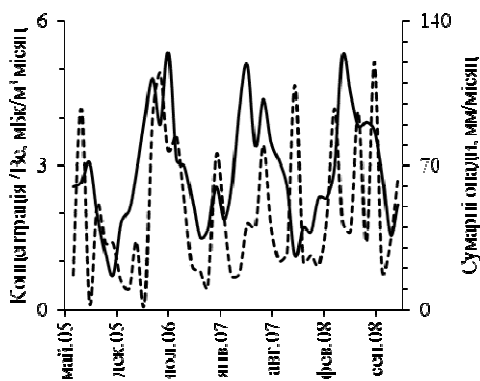


Рис. 11. Виміряні значення концентрації  $^7\text{Be}$  (безперервна лінія) та значення сумарних опадів (штрихова лінія) за відповідний період.

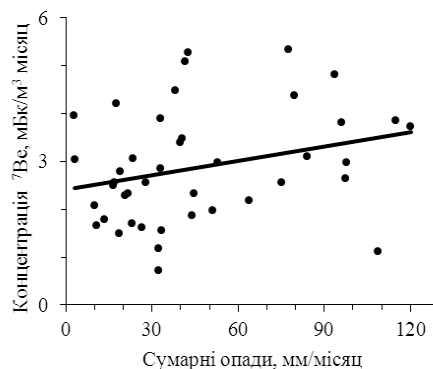


Рис. 12. Залежність приземної концентрації  $^7\text{Be}$  від сумарних опадів.

На думку деяких авторів [19, 4, 15], після рясних опадів приземна концентрація  $^7\text{Be}$  відновлюється менше ніж за 72 години. Оскільки наша методика передбачає, що пробу відбирають не менше трьох діб (частіше – протягом п'яти), то ми не можемо оцінити впливу опадів на приземну концентрацію  $^7\text{Be}$ .

За отриманими результатами можна зробити такі висновки.

1. Для Чорнобильського регіону максимум концентрації  $^7\text{Be}$  в приземній атмосфері спостерігають у період кінця зими–початку весни, мінімум концентрації – восени.
2. На концентрацію  $^7\text{Be}$  в приземній атмосфері впливає і варіація сонячної активності, і стан атмосфери.
3. Температура є тим чинником, який зумовлює сезонну мінливість у дослідницькому сайті.

1. *Al-Azmi D., Sayed A.M., Yatim H.A.* Variations in  $^7\text{Be}$  concentrations in the atmosphere of Kuwait during the period 1994 to 1998 // *Applied Radiation and Isotopes*. 2001. Vol. 55. P. 413–417.
2. *Azahra M., Camacho-Garc A., Gonzalez-Gomez C.* et al. Seasonal  $^7\text{Be}$  concentrations in near-surface air of Granada (Spain) in the period 1993–2001 // *Applied Radiation and Isotopes*. 2003. Vol. 59. P. 159–164.
3. *Baskaran M., Coleman C.H., Santschi P.H.* Atmospheric depositional fluxes of  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  at Galveston and college station, Texas // *J. of Geophysical Research*. 1993. Vol. 98. N D11. P. 20555–20571.
4. *Baskaran M., Coleman C.H., Santschi P.H.* Atmospheric depositional fluxes of  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  at Galveston and College Station. Texas // *J. of Geophysical Research*. 1993. Vol. 98. N D11. P. 20555–20571.
5. *Benitez-Nelson C.R., Buesseler K.O.* Phosphorus 32, phosphoms 37, beryllium 7, and lead 210: atmospheric fluxes and utility in tracing stratosphere/troposphere exchange // *J. of Geophysical Research*. 1999. Vol. 104. N D9. P. 11745–11754.
6. *Bleichrodt J.F.* Mean tropospheric residence time of cosmic-ray-produced beryllium 7 at north temperate latitudes // *J. of Geophysical Research*. 1978. Vol. 83. N C6. P. 3058–3062.
7. *Bondietti E.A., Hoffmann F.O., Larsen I.L.* Air-to-vegetation Transfer Rates of Natural Submicron Aerosols // *J. Environ. Radioact.* 1984. Vol. 1. P. 5–27.
8. *Brost R.A., Feichter J., Heimann M.* Three-dimensional simulation of  $^7\text{Be}$  in a global climate model // *J. of Geophysical Research*. 1991. Vol. 96. N D12. P. 22423–22445.
9. *Cannizzaro F., Greco G., Raneli M.* et al. Concentration measurements of  $^7\text{Be}$  at ground level air at Palermo, Italy—comparison with solar activity over a period of 21 years // *J. of Environmental Radioactivity* 2004. Vol. 72. P. 259–271.
10. *Đurana L., Chudy M., Masarik J.* Investigation of  $^7\text{Be}$  in the Bratislava atmosphere // *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 1996. Vol. 207. N 2. P. 345–356.
11. *Froehlich K.* Environmental Radionuclides: Tracers and Timers of Terrestrial Processes. *Radioactivity in the Environment*. Vol. 16. Amsterdam: Elsevier, 2010. 443 p.
12. *Gerasopoulos E., Zerefos C.S., Papastefanou C.* et al. Low-frequency variability of beryllium-7 surface concentrations over the Eastern Mediterranean // *Atmospheric Environment*. 2003. Vol. 37. P. 1745–1756.
13. *Ioannidou A., Anolopoulou M., Papastefanou C.* Temporal changes of  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  concentrations in surface air at temperate latitudes (40 N) // *Applied Radiation and Isotopes*. 2005. Vol. 63. P. 277–284.
14. *Jordan C.E., Dibb J.E., Finkel R.C.*  $^{10}\text{Be}/^7\text{Be}$  tracer of atmospheric transport and stratosphere-troposphere exchange // *J. of Geophysical Research*. 2003. Vol. 108. N D8. P. 313–318.
15. *Kim G., Hussain N., Church T.M., Scudlark J.* Factors influencing the atmospheric depositional fluxes of stable Pb,  $^{210}\text{Pb}$ , and  $^7\text{Be}$  into Chesapeake bay // *J. of Atmospheric Chemistry*. 2000. Vol. 36. N 1. P. 65–79.
16. *Koch D.M., Man M.E.* Spatial and temporal variability of  $^7\text{Be}$  surface concentrations // *Tellus*. 1996. Vol. 48B. P. 387–396.
17. *Lal D., Rama Zutshi P.K.* Radioisotopes P32, Be7, and S35 in the atmosphere // *J. of Geophysical Research*. 1960. Vol. 65. N 2. P. 669–674.
18. *Lal D.* An overview of five decades of studies of cosmic ray produced nuclides in oceans // *The Science of the Total Environment*. 1999. Vol. 23. P. 3–13.
19. *Likuku A.S.* Factors influencing ambient concentrations of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^7\text{Be}$  over the city of Edinburgh (55.9 \_N, 03.2 \_W) // *J. of Environmental Radioactivity*. 2006. Vol. 87. P. 289–304.

20. *Papastefanou C., Ioannidou A.* Beryllium-7 and solar activity // *Appl. Radiat. Isot.* 2004. Vol. 61. P. 1493–1495.
21. *Papastefanou, C., Ioannidou, A.* Atmospheric Beryllium-7 concentrations and sun spots // *Nucl. Geophys.* 1994. Vol. 8. N 6. P. 539–543.
22. *Raisbeck G.M., Yiou F., Fruneau M. et al.* Cosmogenic  $^{10}\text{Be}/^7\text{Be}$  as a probe of atmospheric transport processes // *Geophysical Research Letters.* 1981. Vol. 8. N 9. P. 1015–1018.
23. *Rehfeld S., Heimann M.* Three dimensional atmospheric transport simulation of the radioactive tracers  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{10}\text{Be}$ , and  $^{90}\text{Sr}$  // *J. of Geophysical Research.* 1995. Vol. 100. N D12. P. 26141–26161.
24. *Turekian K.K., Benninger L.K., Dion E.P.*  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  total deposition fluxes at New Haven, Connecticut and at Bermuda // *J. Geophys. Res.* 1983. Vol. 88 P. 5411–5415.
25. *United Nations Scientific Committee of the Effects of Atomic Radiation.* Sources and effects of ionizing radiation. Annex B. Exposures from natural radiation sources. New York: United Nations, 2000. P. 84–156.
26. *Юнге Х.* Химический состав и радиоактивность атмосферы. М.: Мир, 1965. 424 с.

#### BERYLLIUM-7 IN THE SURFACE ATMOSPHERE OF THE CHERNOBYL REGION

**G. Batrakov<sup>2</sup>, L. Bogdan<sup>1</sup>, D. Kremenchutsky<sup>2</sup>, A. Nazarov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*State Specialized Scientific-Production Enterprise "ECOCENTER"*

*the Ministry of Emergency Situations of Ukraine*

*Karl Liebknecht Str., 10, Chernobyl, 07270*

<sup>2</sup>*Marine Hydrophysical Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine*

*Kapitanskaya Str., 2, Sevastopol, 99011, e-mail: nazarov42t@rambler.ru*

This study deals with long-term (during five years, from July 2005 to May 2010) measuring of the activities of cosmogenic radionuclide  $^7\text{Be}$  in the surface atmosphere of the Chernobyl region. The results suggest, mean activity concentration of  $^7\text{Be}$  equal  $3,0 \pm 0,18$  mBq/m<sup>3</sup>, the highest values observed during the late spring early summer, and minimum – in the autumn. In this study, we distinguished link between the variation of the activity concentration of  $^7\text{Be}$  in surface air and meteorological parameters. The analysis found that the concentration of radionuclides in the surface atmosphere of the Chernobyl region significantly affects the air temperature.

*Key words:*  $^7\text{Be}$ , surface atmosphere, temperature, humidity, wind speed, amount of precipitation, solar activity.



## БЕРИЛЛИЙ-7 В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО РЕГИОНА

**Г. Батраков<sup>2</sup>, Л. Богдан<sup>1</sup>, Д. Кременчуцкий<sup>2</sup>, О. Назаров<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Государственное специализированное научно-производственное предприятие  
“ЭКОЦЕНТР” МЧС Украины

ул. К. Либкнехта, 10, г. Чернобыль, 07270

<sup>2</sup>Морской гидрофизический институт Национальной академии наук Украины  
ул. Капитанская, 2, г. Севастополь, 99011, e-mail: nazarov42t@rambler.ru

Концентрацию <sup>7</sup>Ве измеряли на протяжении пяти лет (с июля 2005 до мая 2010 г.) в приземной атмосфере Чернобыльской зоны. За результатами измерений среднее значение концентрации <sup>7</sup>Ве составляет  $3,0 \pm 0,18$  мБк/м<sup>3</sup>. Отмечено ярко выраженную сезонную изменчивость концентрации радионуклида с максимальными значениями в период конец весны–начало лета и минимальными осенью. Обнаружена связь между вариацией концентрации <sup>7</sup>Ве и рядом метеопараметров. Доказано, что на концентрацию радионуклида в приземной атмосфере существенно влияет температура воздуха.

*Ключевые слова:* <sup>7</sup>Ве, приземная атмосфера, температура, влажность, скорость ветра, количество осадков, солнечная активность.

*Стаття надійшла до редколегії 02.06.2011*

*Прийнята до друку 14.11.2011*