

SPATIAL DISTRIBUTION OF RADIOCARBON AROUND THE HEAT POWER FACILITIES

Serdiuk A.M., Buzynny M.G., Mikhailova L.L., Simovich S.V., Romanchenko M.A., Sakhno V.I., Chyrkov V.S.

ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ РАДІОВУГЛЕЦЮ НАВКОЛО ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

**СЕРДЮК А.М.,
БУЗИННИЙ М.Г.,
МИХАЙЛОВА Л.Л.,
СИМОВИЧ С.В.,
РОМАНЧЕНКО М.О.,
САХНО В.І., ЧИРКОВ В.С.**
ДУ "Інститут гігієни та
медичної екології
ім. О.М. Марзеева НАМНУ",
м. Київ
УДК: 614.7:543.2:549.8
Ключові слова: ТЕС,
викопне паливо, CO₂,
радіовуглець,
збіднення ¹⁴C, трава.

Радіовуглець (¹⁴C) — космогенний довгоживучий радіонуклід (період напіврозпаду становить 5730 років). Він постійно генерується з азоту у верхніх шарах атмосфери під дією космічного проміння. Це призводить до того, що його природний рівноважний вміст у повітрі складає близько 226 Бк на кілограм вуглецю (Бк · кг⁻¹ C).

Протягом останніх 100 років відбулися найсуттєвіші зміни балансу природного ¹⁴C в атмосфері під дією антропогенних чинників: "Зюсс-ефект" (спалювання викопного палива, яке не містить ¹⁴C) призвів до глобального зниження концентрації атмосферного ¹⁴C майже на 17,3‰ до 1950 року [1-4]; "бомб-ефект" (випробування ядерних вибухових пристроїв у повітрі у період з 1945 по 1963 роки) збільшився

вміст ¹⁴C у повітрі Північної півкулі майже вдвічі; природний обіг вуглецю призвів до його перерозподілу в усіх глобальних середовищах планети. Після обмеження випробувань ядерної зброї питома активність атмосферного ¹⁴C поступово знижується [5]; газові викиди об'єктів атомної енергетики призводять до локального підвищення концентрації ¹⁴C в атмосфері і, як наслідок, в оточуючих елементах біосфери [6-9].

Спалювання викопного палива є найпотужнішим антропогенним джерелом вуглекислого газу [11, 12], що згубно впливає на клімат. Використання викопного вугілля, газу та нафти у промислових та урбанізованих регіонах призводить до підвищення рівня CO₂ в атмосфері і зниження концентрації ¹⁴C в ат-

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОУГЛЕРОДА ВОКРУГ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
Сердюк А.М., Бузинный М.Г., Михайлова Л.Л., Симович С.В., Романченко М.А., Сахно В.И., Чирков В.С.
Цель работы — изучение пространственного распределения ¹⁴C, обусловленного выбросами CO₂ при сжигании ископаемого топлива на теплоэнергетических объектах.
Материалы и методы. Для исследований отбирались образцы однолетней растительности (травы) на фиксированном расстоянии от источников промышленных выбросов CO₂ — районной котельной "Нивки" г. Киева (высота трубы 30 м) и в окрестностях Трипольской ТЭС в г. Украинка (высота трубы 180 м). Траву промывали горячей водой с целью предотвращения влияния на результаты возможного поверхностного загрязнения, затем измельчали и сушили в термошкафу при температуре 150°C. Для получения бензола пробы подвергались цепочке химических преобразований (углерод-карбид-ацетилен-бензол). Для получения карбида лития использовали метод вакуумного пиролиза. Удельную активность ¹⁴C в пробах бензола определяли методом жидкостно-сцинтилляционного счета на спектрометре Quantulus 1220™.
Результаты. Обеднение ¹⁴C в атмосфере вблизи источников выбросов CO₂ за счет ископаемого топлива имеет выраженный локальный характер

и зависит от природных факторов, обуславливающих их пространственное распределение: мощности источника, высоты трубы и направления ветра. Максимальное влияние выбросов CO₂ от сжигания ископаемого топлива наблюдается на расстоянии 400-800 м к северу от Трипольской ТЭС, что соответствует наиболее характерному направлению ветра в этой местности, а пространственные распределения отличаются для осеннего и весеннего сезонов. Пространственное распределение ¹⁴C вблизи котельной "Нивки" показало максимум обеднения ¹⁴C на расстоянии 100 м к западу от источника, что также соответствует наиболее характерному направлению ветра. Подтверждена зависимость между величиной влияния ископаемого топлива на удельную активность ¹⁴C в траве вокруг источника и интенсивностью источника выброса, высотой трубы, расстоянием от источника и преобладающим направлением ветра. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования однолетних растений в качестве маркера при исследовании выбросов CO₂ в воздухе вблизи их источников, в частности ТЭС. В условиях крупного города при одновременном влиянии многих источников выбросов CO₂, обусловленных сжиганием ископаемого топлива, требуется четкое понимание составляющих фона (природных и техногенных).

Ключевые слова: ТЭС, ископаемое топливо, CO₂, радиоуглерод, обеднение ¹⁴C, трава.

© Сердюк А.М., Бузинный М.Г., Михайлова Л.Л., Симович С.В., Романченко М.О., Сахно В.И., Чирков В.С. СТАТТЯ, 2015.

мосферному повітрі та інших глобальних резервуарах.

Рослини у процесі фотосинтезу засвоюють вуглець з повітря, залишаючи інтегральний слід відповідних змін ^{14}C у повітрі. Вміст ^{14}C у річних кільцях дерев відображає щорічні варіації концентрації ^{14}C в атмосфері за час розвитку дерев, що надає можливість ретроспективних досліджень. Однорічні рослини відображають інтегральну величину ^{14}C в атмосферному повітрі за вегетаційний період. У результаті викидів в атмосферу CO_2 від спалювання викопного палива, в якому ^{14}C розпався, відбувається збіднення зеленої маси рослин на цей ізотоп. Встановивши різницю між концентрацією ^{14}C у рослинах, відібраних у місцях техногенного впливу та "чистих" місцях (величину збіднення), можна визначити інтегральний вплив компоненти CO_2 , утвореної за рахунок спалювання викопного палива.

В Україні працюють 15 теплоелектричних станцій, 250 ТЕЦ та велика кількість місцевих котельнь різної потужності, які викидають у повітря тисячі тонн двоокису вуглецю. Наприклад, викиди CO_2 однієї з найбільших ТЕС — Трипільської — складають до 1900 т на рік. Діяльність подібних об'єктів, як і менш потужних, залишає слід в ізотопному складі CO_2 повітря у вигляді зниженого вмісту радіоактивного вуглецю для відповідного ареолу впливу. Цей факт збіднення атмосферного повітря на радіовуглець у результаті спалювання викопного палива надає інструмент для вивчення впливу техногенних об'єктів на довкілля: встановлення інтенсивності і напрямків поширення викидів теплоенергетичних об'єктів, можливих джерел несанкціонованих викидів, а також фіксування величини викидів CO_2 на локальних рівнях, у межах мікрорайону або невеликого майданчика.

Мета дослідження — вивчення просторового розподілу ^{14}C , зумовленого викидами CO_2 від спалювання викопного палива на теплоенергетичних об'єктах.

Матеріали і методи. Локальний вплив викидів CO_2 було розглянуто на прикладі двох теплоенергетичних об'єктів різної потужності і масштабу дії: районної котельні "Нивки"



ФАКТОРИ ДОВКІЛЛЯ І ЗДОРОВ'Я

(потужність 150 МВт, висота викидів 30 м) та Трипільської ТЕС (потужність 1800 МВт, висота викидів 180 м). Відомо,

що у районі Трипільської ТЕС переважаючими напрямками поширення викидів навесні є північний (19,0%) та північно-

Рисунок 1

Схема відбору проб трави в околицях Трипільської ТЕС у м. Українка Київської області



Рисунок 2

Схема відбору проб трави поблизу районної котельні "Нивки", м. Київ



східний (16%), рідше — південно-західний (8,5%); восени — північний (19,0%) та північно-східний (18,5%), рідше — пів-

денно-західний (7,1%) та південний (7,8%) [13].

Зразки однорічної рослинності (трави) довкола названих

об'єктів були відібрані у вересні-жовтні 2014 року. Кожну пробу відбирали, фіксуючи відстань від джерела викиду CO₂. У травні 2015 року відбір проб повторили в околицях Трипільської ТЕС. Схеми відбору проб трави наведено на рисунках 1 та 2.

З метою запобігання впливу можливого зовнішнього забруднення зразків проводили їх попередню підготовку — промивали гарячою водою. Трав'янисту масу подрібнювали, висушували за кімнатної температури, а після цього досушували у сушильній шафі за температури 150°C. Наступна підготовка проб для отримання бензолу до вимірювань включала ланцюжок перетворень (вуглець-карбід-ацетилен-бензол). У зв'язку з високою зольністю трави, що зумовлено високим вмістом кремнію, на першій стадії хімічних перетворень матеріалу проб для підготовки карбиду літію використовували метод вакуумного піролізу [14].

Питому активність ¹⁴C у пробах бензолу визначали методом рідинно-сцинтиляційного лічення на спектрометрі Quantulus 1220™. Для стандартизації спектрів використовували нещодавно розроблений метод [15], а вміст ¹⁴C розраховували за алгоритмами, описаними Stuiver и Pollach [16], за формулою:

$$A_i = \frac{N_i - N_{\phi i}}{T \cdot E_i} \quad (1),$$

де A_i — питома активність радіовуглецю, визначена в i "вікні", Бк; N_i — кількість відліків в i "вікні", імп.; $N_{\phi i}$ — кількість відліків в i "вікні" фонового спектра, імп.; T — час вимірювання, с; E — ефективність лічення, Бк·імп.⁻¹.

Процент від сучасного рівня радіовуглецю (рМС) визначали як

$$pMC = \frac{A}{226 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1} \text{ C}^{-1}} \quad (1),$$

де A — питома активність радіовуглецю, Бк · кг⁻¹.

Результати вимірювання вмісту ¹⁴C у досліджуваних пробах трави довкола РК "Нивки" та Трипільської ТЕС наведено у таблиці. Отримані значення вмісту радіовуглецю у відсотках до сучасного рівня (рМС) показали, що зміни концентрації ¹⁴C в атмосфері поблизу джерела викиду спалюваного

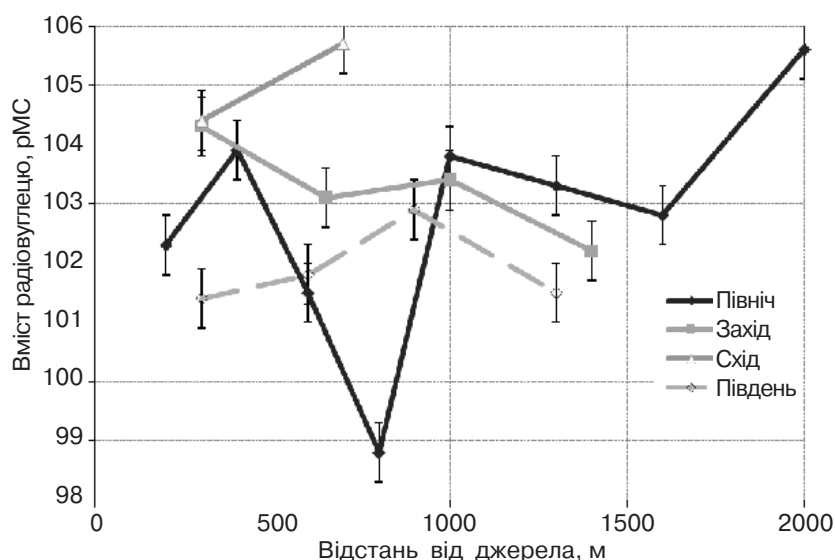
Таблиця

Результати досліджень вмісту ¹⁴C у пробах трави навколо Трипільської ТЕС і районної котельні "Нивки"

№ пп	Відстань, м	Позначення на схемі	Напрямок	¹⁴ C, рМС	
				2014 р.	2015 р.
Трипільська ТЕС				2014 р.	2015 р.
1	200	A1	Північ	102,1	101,0
2	400	A2	Північ	103,9	99,6
3	600	A3	Північ	101,5	100,4
4	800	A4	Північ	98,8	100,2
5	1000	A5	Північ	103,8	103,6
6	1300	A6	Північ	103,3	103,8
7	1600	A7	Північ	102,8	101,9
8	2000	A8	Північ	105,6	103,3
9	300	D1	Захід	104,3	101,0
10	650	D2	Захід	103,1	102,5
11	1000	D3	Захід	103,4	101,0
12	1400	D4	Захід	102,2	101,6
13	300	C1	Схід	104,4	100,1
14	700	C2	Схід	105,7	104,3
15	300	B1	Південь	101,4	103,1
16	600	B2	Південь	101,8	102,7
17	900	B3	Південь	102,9	102,5
18	1300	B4	Південь	101,5	102,7
Нивки, районна котельня				2014 р.	2015 р.
1	100	1	Південь	102,1	-
2	500	2	Південь	101,9	-
3	100	3	Захід	99,9	-
4	500	4	Захід	102,5	-
5	-	-	Фон	102,1	-

Рисунок 3

Просторовий розподіл ¹⁴C у траві в околицях Трипільської ТЕС (осінь 2014 р.)



SPATIAL DISTRIBUTION OF RADIOCARBON AROUND THE HEAT POWER FACILITIES
Serdiuk A.M., Buzynny M.G., Mikhailova L.L., Simovich S.V., Romanchenko M.A., Sakhno V.I., Chyrkov V.S.

Objective. We studied the spatial distribution of ^{14}C due to CO_2 emissions when burning the fossil fuel at the heat power facilities.

Materials and methods. Annual grass samples were collected at a fixed distance from the sources of CO_2 industrial emissions – the Nyvky district boiler plant in Kyiv (chimney height of 30 m) and around the Trypilska HPP in Ukrainka (chimney height of 80 m). Grass samples were washed with hot water in order to prevent impact of possible surface contamination, and then samples were ground and dried in an oven at 150°C . For benzene production the samples were exposed to a chain of chemical transformations (carbon-carbide-acetylene-benzene). For lithium carbide production we applied a vacuum pyrolysis method. ^{14}C specific activity in the benzene samples were measured by liquid scintillation spectrometer Quantulus 1220TM.
Results. ^{14}C depletion in the atmosphere near the sources of CO_2 emissions at the expense of the fossil fuel has a distinct local character and depends on natural factors causing their spatial

distribution: power of source, chimney height, and wind direction. The maximum impact of CO_2 emissions, caused by the combustion of fossil fuel, was observed at a distance of 400-800 m to the north of Trypilska TPP which complied with the more prevailing wind direction in this area, and the spatial distributions differed for the fall and spring seasons. The spatial distribution of ^{14}C near the Nyvky boiler plant demonstrated the maximum depletion of ^{14}C at a distance of 100 m to the west from the source which also complied with the more prevailing wind direction. A relationship between a value of the impact of fossil fuels on the ^{14}C activity concentration in the grass around the source and intensity of emission source, the height of the chimney, the distance from the source, and the prevailing wind direction was confirmed. The obtained results demonstrate the prospects for the use of the annual plants as a marker for the study of CO_2 emissions in the air near the source, the TPP in particular. Under conditions of a large city at the simultaneous impact of many sources of CO_2 emissions due to combustion of the fossil fuels, we need a clear understanding of the background components (natural and technogenic).
Keywords: heat power plant, fossil fuels, CO_2 , radiocarbon, ^{14}C depletion, grass.

викопного палива мають виражений локальний характер і визначаються факторами, які зумовлюють просторовий розподіл викидів CO_2 : потужність джерела, висота труби та напрямок вітру. Результати представлено для різних відстаней від ТЕС для чотирьох умовних просторових напрямків відповідно до схеми відбору проб (рис. 3 і 4).

Отримані значення вмісту ^{14}C в однорічних рослинах свідчать про його збіднення в атмосферному CO_2 внаслідок спалювання викопного палива. Просторовий розподіл ^{14}C є неоднорідним для різних географічних напрямків і відрізняється для осіннього та весняного відборів проб. Його визначають переважаючі напрямки вітру та інші умови формуванням "факела" викидів. Найбільший вплив викидів CO_2 внаслідок спалювання викопного палива, тобто збіднення ^{14}C , спостерігається на відстані 800 м та 400 м відповідно для двох відборів на північ від джерела викиду. Формування зони найбільшого збіднення співпадає з переважаючими напрямками вітру.

При дослідженні викидів районної котельні "Нивки" в умовах суцільної забудови (рис. 2) непросто знайти місця для відбору проб трави. Проте декілька проб було відібрано, а

максимальне збіднення ^{14}C зафіксовано на відстані 100 м на захід від джерела, що відповідає найбільш характерному напрямку вітру у цьому місці.

Загалом отримані результати досліджень підтверджують, що величина впливу викопного палива на рівень збіднення ^{14}C в однорічній рослинності довкола теплоенергетичних об'єктів визначається інтенсивністю джерела викиду, висотою труби, відстанню від джерела та умовами поширення викидів залежно від

ландшафту та переважаючих напрямків вітру.

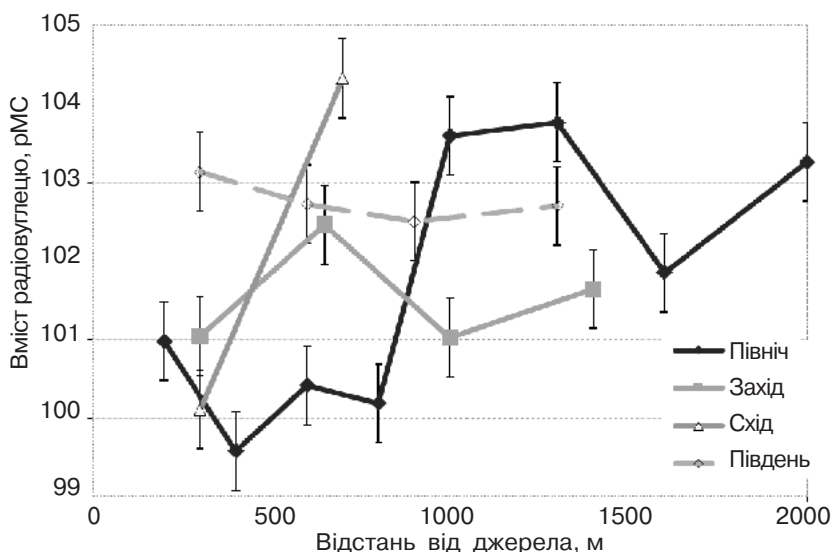
В умовах великого міста одночасно діють багато джерел викидів CO_2 , який є наслідком спалювання викопного палива. За таких умов для встановлення впливу певного джерела потрібне чітке розуміння складових фону (природних та техногенних).

Висновки

1. Виявлене збіднення ^{14}C однорічних рослин, які сформувалися протягом вегетаційного періоду поблизу те-

Рисунок 4

Просторовий розподіл ^{14}C у траві в околицях Трипільської ТЕС (весна 2015 р.)



плоенергетичних об'єктів, порівняно з рослинами, зібраними в умовно чистих районах, відповідає впливу викидів CO₂ від спалювання вугільного палива.

2. Ступінь збіднення ¹⁴C визначається розподілом CO₂ навколо джерела викиду залежно від інтенсивності викидів, висоти труби, напрямку та інтенсивності вітру.

3. Варіації вмісту ¹⁴C у зразках однорічних рослин (трави) можна використовувати для натурального калібрування моделей просторового розподілу, побудованих для газових викидів від спалювання вугільного палива.

4. Вивчення вмісту ¹⁴C в однорічній рослинності як результату засвоєння CO₂ з навколишнього повітря є перспективним напрямком для оцінки забруднення атмосфери викидами CO₂, вивчення особливостей формування "газового факела" викидів теплоенергетичних об'єктів, що працюють на вугільних видах палива у великих містах, промислових центрах та на інших урбанізованих територіях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Suess H. E. Radiocarbon Concentration in Modern Wood / H.E. Suess // *Science*. — 1955. — Vol. 3166. — P. 415-417.
2. Levin I. The effect of anthropogenic CO₂ and ¹⁴C sources on the distribution of ¹⁴C in the atmosphere / I. Levin, K. Munnich, W. Weiss // *Proceedings of the 10-th International ¹⁴C Conference. Radiocarbon*. — 1980. — Vol. 22 (2). — P. 379-391.
3. The continental European Suess effect / I. Levin, J. Schuchard, B. Kromer, K. Munnich // *Proceedings of the 13-th International ¹⁴C Conference. Radiocarbon*. — 1989. — Vol. 31 (3). — P. 431-440.
4. Stuiver M. Atmospheric C-14 changes resulting from fossil-fuel CO₂ release and cosmic-ray flux variability / M. Stuiver, P.D. Quay // *Earth*

and Planetary Science Letters. — 1981. — Vol. 53 (3). — P. 349-362.

5. Nydal R. A survey of radiocarbon variation in nature since the Test Ban Treaty. Radiocarbon Dating / R. Nydal, K. Lovseth, S. Gulliksen // *Proceedings of the 9-th International Conference*. — Berkeley, Los Angeles : University of California Press, 1979. — P. 313-323.

6. Forty years of atmospheric radiocarbon monitoring around Bohunice nuclear plant, Slovakia / P. Povinec, M. Chudy, A. Sivo et al. // *J. Environ. Radioact.* — 2009. — Vol. 100 (2). — P. 125-130.

7. Loosli H.H. ¹⁴C in the environment of Swiss nuclear installations / H.H. Loosli, H. Oeschger // *Proceedings of the 13-th International ¹⁴C Conference. Radiocarbon*. — 1989. — Vol. 31 (3). — P. 747-753.

8. Global and local effects of ¹⁴C ischarges from the nuclear fuel cycle / M. McCartney, M.S. Baxter, K. McKay, E.M. Scott // *Proceedings of the 12-th International ¹⁴C Conference. Radiocarbon*. — 1986. — Vol. 28 (2A). — P. 634-643.

9. Ecological chronology of nuclear fuel cycle sites / M. Buzinny, N. Kovalyukh, I. Likhtarjov et al. // *Proceedings of the 15-th International ¹⁴C Conference. Radiocarbon*. — 1995. — № 2. — P. 469-473.

10. Stenhouse M.J. The uptake of bomb ¹⁴C in humans / M.J. Stenhouse, M.S. Baxter // *Radiocarbon dating*. — Berkeley : University of California Press, 1979. — P. 324-341.

11. Radiocarbon concentration in urban area / A.Z. Rakowski, T. Kuc, T. Nakamura, A. Pazdur // *Geochronometria*. — 2005. — Vol. 24 (1). — P. 63-68.

12. Rakowski A.Z. Radiocarbon method in monitoring of fossil fuel emission / A.Z. Rakowski // *Geochronometria*. — 2011. — Vol. 38 (4). — P. 314-324.

13. Греков Л.Д. Космічний моніторинг забруднення земель техногенним пилом. / Л.Д. Греков, Г.Я. Красовський, О.М. Трохимчук. — К., 2007. — 122 с.

14. Skripkin V.V. Recent developments in the procedures used at the SSCER Laboratory for the routine preparation of lithium carbide / V.V. Skripkin, N.N. Kovalyukh // *Radiocarbon*. — 1998. — Vol. 1. — P. 211-214.

15. Бузинний М.Г. Аналіз бета-спектрів рідинно-сцинтиляційного спектрометра шляхом їх стандартизації на основі зміщення і обчислення у багатьох вікнах / М.Г. Бузинний // *Гіг. насел. місць*. — Київ, 2014. — Вип. 64. — С. 222-226.

16. Stuiver M. Discussion: Reporting of ¹⁴C Data / M. Stuiver, H.A. Polach // *Radiocarbon*. — 1977. — Vol. 19 (3). — P. 355-363.

REFERENCES

1. Suess H.E. *Science*. 1955; 3166 : 415-417.
2. Levin I., Munnich K. and Weiss W. Radiocarbon : Proceedings of the 10-th International ¹⁴C Conference. 1980; 22(2) : 379-391.
3. Levin I., Schuchard J., Kromer B., Munnich K. Radiocarbon : Proceedings of the 13-th International ¹⁴C Conference. 1989; 31 (3) : 431-440.
4. Stuiver M., Quay P.D. Earth and Planetary Science Letters. 1981; 53(3) : 349-362.
5. Nydal R., Lovseth K., Gulliksen S. Radiocarbon Dating. Proceedings of the 9-th International Conference. Berkeley, Los Angeles : University of California Press ; 1979 : 313-323.
6. Povinec P., Chudy M., Sivo A., Simon J., Holy K., Richtarikova M.J. Environ. Radioact. 2009; 100 (2).
7. Loosli H.H. and Oeschger H. Radiocarbon : Proceedings of the 13-th International ¹⁴C Conference. 1989; 31(3) : 747-753.
8. McCartney M., Baxter M.S., McKay K., Scott E.M. Radiocarbon : Proceedings of the 12-th International ¹⁴C Conference. 1986; 28 (2A) : 634-643.
9. Buzinny M., Kovalyukh N., Likhtarjov I., Los I., Nesvetajlo V., Pazdur M.F., Skripkin V., Shkvorets O., Sobotovich E. Radiocarbon : Proceedings of the 15-th International ¹⁴C Conference. 1995; 2 : 469-473
10. Stenhouse M.J., Baxter M.S. The uptake of bomb ¹⁴C in humans. Radiocarbon dating : Proceedings of the 9-th International Conference. Berkeley : University of California Press; 1979 : 324-341.
11. Rakowski A.Z., Kuc T., Nakamura T., Pazdur A. Geochronometria. 2005; 24 : 63-68.
12. Rakowski A.Z. Geochronometria. 2011; 38(4) : 314-324.
13. Hrekov L.D., Krasovskiy G.Ya., Trokhymchuk O.M. Kosmichnyi monitoryng zabrudnennia zemel tekhnogenym pylom [Space Monitoring of the Land Contamination with the Technogenic Dust]. Kyiv ; 2007 : 122 p. (in Ukrainian).
14. Skripkin V.V., Kovalyukh N.N. Radiocarbon. 1998; 1 : 211-214.
15. Buzynnyi M.H. Analiz beta-spektriv ridynno-stsyntylatsiinoho spektrometra shliakhom ikh standartyzatsii na osnovi zmishchennia i obchyslennia u bahatohk vinkakh [Analysis of beta spectra of liquid scintillation spectrometer by means of their standardization on the basis of shift and calculation in many windows]. In : Hihiena naselennykh mist [Hygiene of Settlements]. Kyiv; 2014; 64 : 222-226 (in Ukrainian).
16. Stuiver M., Polach H.A. Radiocarbon. 1977; 19(3) : 355-363.

Надійшла до редакції 13.07.2015