

Mieczysław PAZDUR

METODA JEDNOCZESNEGO POMIARU NATURALNYCH KONCENTRACJI  $^{226}\text{Ra}$  I  $^{14}\text{C}$   
W PRÓBKACH WODY

**Streszczenie.** W artykule opisano metodę jednoczesnego pomiaru koncentracji radu-226 oraz radiowęglu w próbkach wody za pomocą licznika proporcjonalnego z wewnętrznym wypełnieniem w postaci dwutlenku węgla. Pomiar szybkości zaliczeń radonu wykonuje się w liczniku proporcjonalnym jednocześnie z pomiarem szybkości zliczeń impulsów powodowanych rozpadami  $^{14}\text{C}$ . Dokładność wyznaczenia koncentracji radu w próbce, oszacowana na podstawie wykonanych pomiarów, wynosi około 20% przy koncentracjach radu rzędu  $10^{-12}$  g/l. Najmniejsza mierzalna koncentracja radu wyznaczana jest praktycznie tylko zawartością radu w stosowanych odczynnikach chemicznych i jest szacowana na  $10^{-15}$  g/l.

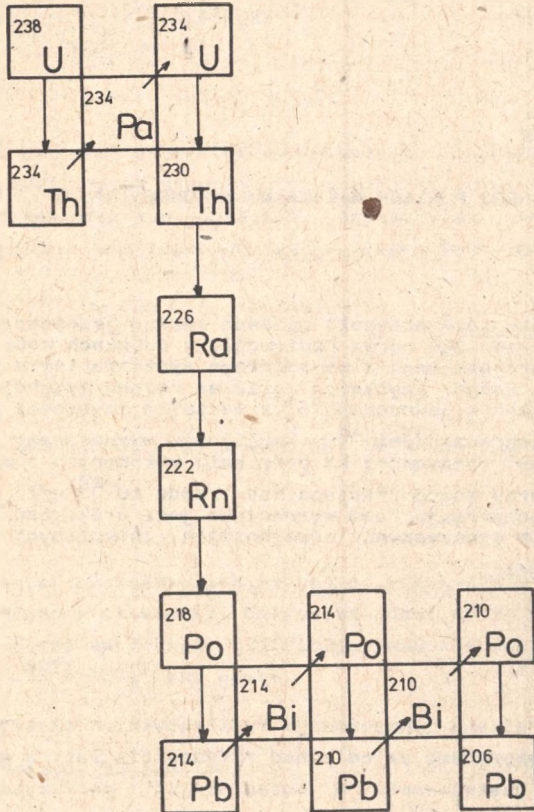
### 1. Wstęp

Pomiary naturalnych koncentracji radioaktywnych izotopów  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{222}\text{Rn}$  w hydrosferze wykonywane są od ponad trzydziestu lat, a wyniki tych pomiarów znalazły zastosowanie w meteorologii, geofizyce, hydrologii i oceanografii [9-12]. Przegląd starszych metod pomiarowych zawierają materiały konferencji poświęconych zjawiskom atmosferycznym [1] i geologii jądrowej [2]. W ostatnich latach opracowano kilka precyzyjnych metod pomiarowych wykorzystujących jako detektory promieniowania komory jonizacyjne [3-6] i ciekłe scyntylatory [7, 8].

### 2. Własności fizykochemiczne radu i radonu

Izotopy radu  $^{226}\text{Ra}$  i radonu  $^{222}\text{Rn}$  należą do naturalnego szeregu promieniotwórczego  $4n+2$ , który schematycznie przedstawiono na rys. 1. W tabeli 1 zestawione są wartości okresów połowicznego zaniku oraz energie rozpadów dla istotnego z punktu widzenia techniki pomiarowej fragmentu szeregu  $4n+2$ , obejmującego izotopy od  $^{226}\text{Ra}$  do  $^{210}\text{Pb}$ .

Rad jako pierwiastek chemiczny należy do grupy metali ziem alkalicznych, jego własności fizykochemiczne są zbliżone do własności baru, wapnia i strontu. Pokrewieństwo własności chemicznych jest powodem, dla którego trudno jest go oddzielić od tych pierwiastków.



Rys. 1. Uproszczony schemat naturalnej rodziny promieniotwórczej  $4n+2$ . Strzałki pionowe przedstawiają rozpady alfa, strzałki ukośne rozpady beta. Niektóre z izotopów szeregu  $4n+2$  mają kilka typów rozpadów pominiętych na rysunku

Tabela 1 \*

Parametry rozpadu niektórych izotopów naturalnego szeregu promieniotwórczego  $4n+2$

Izotop	Typ rozpadu	Okres połowicznego zaniku	Energia rozpadu
$^{226}\text{Ra}$	alfa	1620 lat	4,78 MeV
$^{222}\text{Rn}$	alfa	3,825 dni	5,85 MeV
$^{218}\text{Po}$	alfa	3,05 min	6,00 MeV
$^{214}\text{Pb}$	beta	26,8 min	0,65 MeV
$^{214}\text{Bi}$	beta	19,7 min	1,65 MeV
$^{214}\text{Po}$	alfa	$1,64 \cdot 10^{-4}$ s	7,69 MeV
$^{210}\text{Pb}$	beta	21 lat	0,02 MeV

Radon jest najcięższym z gazów szlachetnych, nie wykazuje praktycznie żadnej aktywności chemicznej. Z doświadczeń wielu laboratoriów wykonujących pomiary koncentracji  $^{14}\text{C}$  techniką licznika proporcjonalnego z wewnętrznym wypełnieniem w postaci  $\text{CO}_2$  wiadomo [22, 23], że usunięcie domieszek radonu z dwutlenku węgla jest praktycznie niemożliwe przy stosowaniu znanych metod laboratoryjnych (absorpcja, wyrażanie itp.).

### 3. Przygotowanie próbek do pomiaru

Pomiary aktywności radu wykonywane były na próbkach wody pobieranych na terenie ROW w dwóch miejscach wypływu na głębokości około 400 m pod powierzchnią. W każdym z miejsc poboru próbki pobierano dwukrotnie, objętość wody pobranej do pomiaru wyznaczana była głównie potrzebami pomiaru koncentracji  $^{14}\text{C}$  i wynosiła od 45 l do 75 l. Pobrane próbki wody były transportowane i przechowywane w plastikowych pojemnikach o objętości 15 l, szczelnie zamkniętych dla uniemożliwienia kontaktu próbek z powietrzem atmosferycznym.

Przygotowanie próbek do pomiaru składa się zasadniczo z dwóch etapów: 1 - strącania węglanu wapnia wraz z mikroilościami radu, 2 - wyzwalania dwutlenku węgla zawierającego mikroilości radonu powstałego wskutek rozpadu radu. Strącanie osadu  $\text{CaCO}_3$  w próbki wody prowadzi się przez dodanie chlorku wapnia w obecności zasady  $\text{NH}_4\text{OH}$  w temperaturze  $80^\circ\text{C}$  w stalowym zbiorniku o objętości 45 l, którego konstrukcja została opisana uprzednio [15, 16]. Wytrącony osad zbierany jest w naczyniu szklanym przymocowanym na szlif do stożkowego dna zbiornika. Po zakończeniu procesu strącania, trwającego około 15-30 minut, zebrany osad jest płukany w wodzie destylowanej aż do uzyskania odczynu obojętnego, a następnie umieszczany w szklanym słoiku zamkniętym na szlif dla uniknięcia kontaktu z atmosferą. Dwutlenek węgla otrzymany w procesie traktowania osadu  $\text{CaCO}_3$  1 N wodnym roztworem  $\text{HCl}$  wraz z mikroilościami radonu przeprowadzany jest przez linię oczyszczającą, zawierającą pułapki o temperaturze  $-80^\circ\text{C}$  dla usunięcia małych lotnych substancji (przede wszystkim pary wodnej), płuczki z  $\text{AgNO}_3$  oraz piece z watą srebrną dla usunięcia zanieczyszczeń gazami wytwarzającymi jony elektroujemne.

Cały proces oczyszczania przebiega identycznie jak w przypadku próbek przeznaczonych wyłącznie do pomiaru aktywności  $^{14}\text{C}$  [15, 16, 17].

Ilość dwutlenku węgla mierzona jest manometrem rtęciowym w stalowym pojemniku w temperaturze  $27^\circ\text{C}$ . Stała temperatura zbiornika utrzymywana jest za pomocą ultratermostatu. Oczyszczony dwutlenek węgla wprowadzany jest w ściśle ustalonej ilości do licznika proporcjonalnego o objętości czynnej 1,8 l. Pomiar szybkości zliczeń trwa około 50 godzin, impulsy pochodzące od rozpadów radonu i jego pochodnych rejestrowane są wraz z impulsami z rozpadów  $^{14}\text{C}$  i impulsami tła w trzech kanałach amplitudowych

siedmiokanałowej aparatury elektronicznej stosowanej w standardowych pomiarach aktywności  $^{14}\text{C}$  [18].

Metodyka ustalania punktu pracy licznika proporcjonalnego, oceny czystości gazu, wydajności detekcji oraz kontroli stabilności warunków pomiaru jest taka sama jak przy pomiarach  $^{14}\text{C}$  [19, 20].

#### 4. Obliczenie koncentracji radu w próbce wody

Dla wyznaczenia koncentracji radu w próbce wody konieczna jest ilościowa analiza wszystkich procesów, zachodzących od momentu pobrania próbki do zakończenia pomiaru szybkości zliczeń.

Historia próbki wody pobranej w celu wyznaczenia koncentracji radu składa się z następujących etapów: 1 - pobieranie, transport i przechowywanie próbki wody, 2 - strącanie osadu  $\text{CaCO}_3$  wraz z mikroilościami radu, 3 - przechowywanie strąconego osadu przez okres kilku dni dla wytworzenia radonu, 4 - wyzwalańia dwutlenku węgla zawierającego mikroilości radonu oraz jego oczyszczanie, 5 - przechowywanie dwutlenku węgla, 6 - pomiar szybkości zliczeń.

Rozkład mikroskładnika promieniotwórczego między osadem a roztworem określany jest prawem Doernera-Hoskinsa [13, 14]

$$\log \frac{x_0}{x_0 - x} = \lambda \log \frac{y_0}{y_0 - y} \quad (1)$$

gdzie:

- $x$  i  $y$  - ilości mikroskładnika i makroskładnika w osadzie,
- $x_0$  i  $y_0$  - początkowe ilości mikroskładnika i makroskładnika w roztworze,
- $\lambda$  - stała charakterystyczna dla danego układu mikro- i makroskładnika.

Wyznaczono [21], że przy dużych szybkościach wzrostu kryształów prawo Doernera-Hoskinsa upraszcza się do postaci:

$$\frac{x_0 - x}{x_0} = \frac{y_0 - y}{y_0} \quad (2)$$

Oznaczając ilości jonów  $\text{Ca}^{2+}$  w próbce wody przez  $y_1$  a ilość atomów wapnia dodanych do wody w postaci  $\text{CaCl}_2$  przez  $y_2$  otrzymuje się, że początkowa ilość atomów radu w próbce wody dana jest równaniem

$$x_0 = \frac{y_1 + y_2}{y} x, \quad (3)$$

gdzie  $x$  i  $y$  oznaczają odpowiednio ilości radu i wapnia w osadzie.

Oznaczając przez  $t_1$  czas, jaki upłynął od momentu strącenia osadu  $\text{CaCO}_3$  do momentu wyzwolenia dwutlenku węgla, otrzymuje się, że liczba atomów radonu zawartych w osadzie w chwili rozpoczęcia wyzwolenia  $\text{CO}_2$  wynosi:

$$N_1 = \frac{\lambda_1 x}{\lambda_2} [1 - \exp(-\lambda_2 t_1)] \quad (4)$$

gdzie  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$  oznaczają odpowiednio stałe rozpadu promieniotwórczego  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{222}\text{Rn}$ .

Ilość atomów  $^{222}\text{Rn}$  w chwili rozpoczęcia pomiaru dana jest wzorem

$$N_2 = N_1 \exp(-\lambda_2 t_2) \quad (5)$$

gdzie  $t_2$  oznacza czas, jaki upłynął od momentu wyzwolenia  $\text{CO}_2$  z osadu  $\text{CaCO}_3$  do rozpoczęcia pomiaru.

Z danych zamieszczonych w tabeli 1 wynika, że po rozpadzie alfa radonu następują bardzo szybko cztery dalsze rozpady, w wyniku których emitowane są dwie cząstki alfa i dwie cząstki beta, których energie są bardzo duże w porównaniu z energiami cząstek beta z rozpadów  $^{14}\text{C}$ . Impulsy wywoływane rozpadami radonu i jego pochodnych rejestrowane są w trzech kanałach amplitudowych, którym odpowiadają energie progowe  $E_{p1} = 0,3 \text{ keV}$ ,  $E_{p2} = 60 \text{ keV}$  i  $E_{p3} = 1 \text{ MeV}$  [19].

Najniższą energię mają cząstki beta z rozpadu izotopu  $^{210}\text{Pb}$ , maksymalna energia tych cząstek wynosi 650 keV, jest więc znacznie wyższa od energii odpowiadającej najniższemu progowi dyskryminacji  $V_{D1}$ . Na tej podstawie można założyć, że wszystkie rozpady, jakie zachodzą w objętości czynnej detektora, są rejestrowane w odpowiednich kanałach amplitudowych. Oznaczając przez  $R_1$  szybkość zliczeń impulsów pochodzących z rozpadu radonu i produktów, rejestrowanych w kanale 1,  $i = 1, 2, 3$ , otrzymuje się, że całkowita szybkość zliczeń, wywołana rozpadami radonu i pochodnych, wynosi:

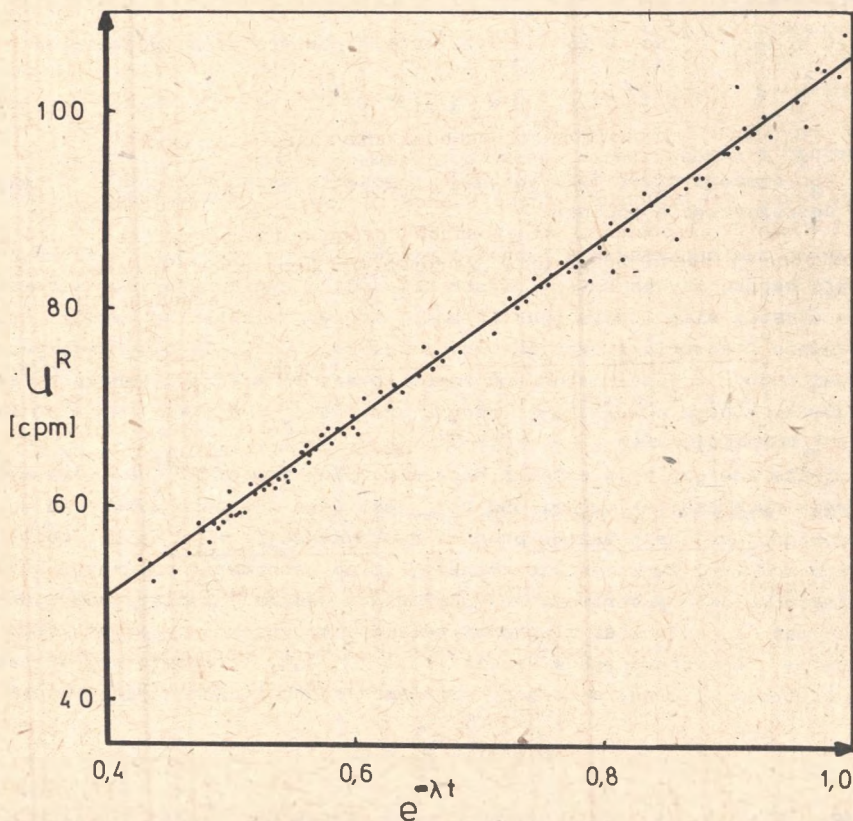
$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (6)$$

Szybkość zliczeń impulsów tła w kanale trzecim, oznaczana przez  $B_3$ , oszacowana na podstawie 25 pomiarów, w których nie mogło być impulsów pochodzących od rozpadów radonu i jego produktów, wynosi  $B_3 = 0,22 \pm 0,05 \text{ cps}$ .

Oznaczając przez  $U_3^R$  całkowitą szybkość zliczeń impulsów w kanale trzecim na początku pomiaru, otrzymuje się, po odjęciu szybkości zliczeń tła  $B_3$ , szybkość zliczeń impulsów  $R_3$  w chwili rozpoczęcia pomiaru

$$R_3 = U_3^R - B_3 \quad (7)$$

Wartość  $U_3^R$  wyznaczana jest metodą najmniejszych kwadratów na podstawie wartości szybkości zliczeń otrzymanych w pomiarach cząstkowych o różnym czasie trwania. Wyniki pomiarów cząstkowych dla jednej z próbek w funkcji czasu przedstawione są na rysunku 2. Doświadczalnie obserwowany spadek szybkości zliczeń dokładnie pokrywa się z zanikiem promieniotwórczym ostłej zaniku równej stałej zaniku izotopu  $^{222}\text{Rn}$ .



Rys. 2. Wyniki pomiarów cząstkowych dla jednej z próbek w skali półlogarytmicznej. Linia ciągła przedstawia prostą najmniejszych kwadratów dopasowaną do wyników pomiarów

Na podstawie szeregu pomiarów, w których szybkości zliczeń każdej z próbek mierzono dwukrotnie, pierwszy raz w obecności radonu, drugi raz po jego całkowitym zaniku, wyznaczano stosunek zliczeń impulsów pochodzących od rozpadów radonu i jego pochodnych w kanałach 1 i 2 do szybkości zliczeń impulsów pochodzących od rozpadów radonu i pochodnych w kanale trzecim. Wyniki tych pomiarów przedstawiono w tabeli 2. Jako wagi poszczególnych pomiarów przyjęto całkowite liczby impulsów wywołanych rozpadami radonu i produktów we wszystkich kanałach podczas pierwszego z pomiarów. W wyniku obliczeń otrzymano:

$$w = \frac{R_1 + R_2}{R_3} = 2,65 \pm 0,06 \quad (8)$$

Tabela 2

Wyniki pomiarów użytych do wyznaczenia współczynnika  $w$ , określonego równaniem (8)

Nr	Symbol próbki	$U_3$ [cpm]	$R_1 + R_2$ [cpm]	$R_3$ [cpm]	$w$
1	RJ-1	0,15	$470,4 \cdot 10^3$	$175,8 \cdot 10^3$	2,68
2	RVI-1	0,20	$120,5 \cdot 10^3$	$45,8 \cdot 10^3$	2,63
3	Garbina III	0,24	$9,8 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^3$	2,38
4	B6/2	0,20	$6,9 \cdot 10^3$	$2,6 \cdot 10^3$	2,32
5	IHKM PAN Płock	0,25	$2,6 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3$	2,55
6	PR-3	0,23	$3,2 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^3$	2,37

Na podstawie wzorów (6)-(8) otrzymuje się, że całkowita szybkość zliczeń na początku pomiaru wynosi:

$$R = (1 + w)(U_3^R - B_3) \quad (9)$$

Ponieważ czas trwania całego pomiaru jest rzędu kilku tysięcy minut, a okresy połowicznego zaniku izotopów powstających po rozpadzie alfa radonu wynoszą kolejno 3 min, 27 min, 20 min oraz  $1,6 \cdot 10^{-4}$  s, można więc dla uproszczenia przyjąć, że zachodzą one jednocześnie z rozpadem radonu. Oznaczając przez  $V_g$  objętość  $CO_2$  otrzymanego z próbki, zredukowaną do warunków normalnych, a przez  $V_L$  objętość detektora, otrzymuje się:

$$N_2 = \frac{(1 + w)(U_3^R - B_3)V_g}{\lambda_2 \cdot V_L} \quad (10)$$

gdzie przez  $\nu$  oznaczono liczbę jednoczesnych rozpadów,  $\nu = 5$ . Korzystając z równań (3)-(5) oraz (10) otrzymuje się końcowe wyrażenie na koncentrację radu w badanej próbce wody

$$C_{Ra} = \left\{ \frac{(y_1 + y_2)(1 + w)(U_3^R - B_3)V_0 \exp(\lambda_2 t_2)}{y \sqrt{\lambda_1} [1 - \exp(-\lambda_2 t_1)] V_L} - B_R \right\} / V_w \quad (11)$$

gdzie  $V_w$  oznacza objętość próbki wody, a  $B_R$  oznacza liczbę atomów radu wprowadzonych wraz z użytymi odczynnikami, głównie z chlorkiem wapnia. Koncentrację radu w chlorku wapnia określono w wyniku specjalnych pomiarów na  $a = 0,024$  pCi/g, a ponieważ ilość chlorku wapnia używana przy strącaniu osadu  $\text{CaCO}_3$  wynosi  $y_2 = 55$  g, więc  $B_R = y_2 a = 1,34$  pCi/g.

### 5. Wyniki pomiarów

Równanie (11) dla wyliczenia koncentracji radu w próbce wody wyprowadzono przy założeniu, że radon obecny w próbce wody nie jest absorbowany w procesie strącania osadu oraz że w czasie przechowywania osadu nie występuje ucieczka atomów radonu. Słuszność tych założeń sprawdzono doświadczalnie dla jednej z próbek wody. Po pobraniu próbki przechowywano ją przez okres około miesiąca dla uzyskania stanu równowagi promieniotwórczej między radem i radonem. Osad  $\text{CaCO}_3$  otrzymany z próbki został podzielony na dwie części - z części A wyzwolono dwutlenek węgla po czasie  $t_{1A} = 510$  minut, z części B po czasie  $t_{1B} = 10$  100 minut. Zakładając, że w chwili strącania osadu  $\text{CaCO}_3$  w roztworze panuje stan równowagi promieniotwórczej pomiędzy radem i radonem i oznaczając przez  $k$  stosunek liczby atomów radonu, które pozostają w roztworze po strąceniu osadu do początkowej liczby atomów radonu w roztworze, otrzymuje się, że stosunek liczby atomów radonu w części B w momencie wyzwolania  $\text{CO}_2$  do liczby atomów radonu w części A w momencie wyzwolania  $\text{CO}_2$  dany jest wyrażeniem:

$$u = \frac{N_B}{N_A} = \frac{1 - k \exp(-\lambda_1 t_{1B})}{1 - k \exp(-\lambda_1 t_{1A})} \quad (12)$$

Doświadczalnie wyznaczona wartość tego stosunku wynosi  $u_{\text{exp}} = 12,4 \pm 0,8$ , podczas gdy wstawienie  $k = 1$  do równania (12) daje wartość  $k_{\text{teor}} = 11,6 \pm 0,3$ . Ponieważ różnica pomiędzy wartościami  $u_{\text{exp}}$  i  $u_{\text{teor}}$  jest mniejsza niż dokładność z jaką są one wyznaczone, można przyjąć, że  $k = 1$ , tzn. że radon nie jest absorbowany podczas strącania osadu  $\text{CaCO}_3$ . Równość wartości  $u_{\text{exp}}$  i  $u_{\text{teor}}$  można uważać za potwierdzenie drugiego z wymienionych uprzednio założeń, mianowicie że nie występuje ucieczka atomów ra-



donu z osadu. Jeżeli przyjąć, że różnica między wartościami  $u_{exp}$  i  $u_{teor}$  jest wywołana tylko ucieczką atomów radonu z osadu w czasie jego przechowywania, to można stąd oszacować, że ilość radonu jaka ulotniła się z osadu w czasie przechowywania rzędu 10 000 minut wynosi około 8% całkowitej ilości radonu powstałej w tym czasie w wyniku rozpadu radu zawartego w osadzie. Można spodziewać się więc, że maksymalny błąd systematyczny, związany ze stosowaniem wzoru (11) do wyliczenia koncentracji radu w próbce wody będzie tego samego rzędu albo nawet mniejszy, gdyż wymienione dwa czynniki, tj. absorpcja i ucieczka radonu mogą się wzajemnie kompensować. W tabeli 3 przedstawiono wyniki pomiaru koncentracji radu dla dwóch próbek wody.

Tabela 3

Wyniki pomiaru koncentracji radu w próbkach wody

Symbol próbki	$V_w$ [l]	$t_1$ [min]	$t_2$ [min]	$C_{Ra}$ [pCi/l]
Gd-99	60	8460	10 290	17,5
Gd-100	60	21360	300	1,2

## 6. Podsumowanie

W pracy przedyskutowano możliwość zastosowania metodyki preparatyki i aparatury wykorzystywanej w standardowych pomiarach aktywności  $^{14}C$  w próbkach wody do pomiaru koncentracji radu w tych próbkach. Wykazano, że metodyka preparatyki wstępnej próbki wody i oczyszczania dwutlenku węgla opracowana dla celów oznaczania  $^{14}C$  może być bez większych zmian zaadaptowana dla potrzeb jednoczesnego pomiaru koncentracji radu i radiowęglu. W stosunku do typowych pomiarów koncentracji  $^{14}C$  w wodzie wymagane jest jedynie wyznaczenie zawartości jonów wapnia w próbce wody, wyznaczenie masy osadu  $CaCO_3$  oraz wydłużenia czasu trwania pomiaru. Do ujemnych stron jednoczesnego pomiaru koncentracji radu i radiowęglu należy zaliczyć przede wszystkim znaczne zmniejszenia dokładności wyznaczenia koncentracji  $^{14}C$ .

## LITERATURA

- [1] Proceedings of the CACR Symposium. Atmospheric Chemistry, Circulation and Aerosols, Tellus 18 (1965) 153-686.
- [2] Nuclear Geology. A Symposium on Nuclear Phenomena in the Earth Sciences. Wiley, New York, Chapman and Hall, London 1954.

- [3] KUZNIECOW J.W., LISICYN A.P., SIMONIAK Z.N., JELIZAROWA A.N.: *Radiochimia* 15 (1973) 704.
- [4] ŁAZAREW K.F., GRASZCZENKO S.M.: *Radiochimia* 1 (1959) 626.
- [5] CHRISTER HÖGBERG S.A., GUSTAVSOON J.E.: *Nucl. Instr. Methods* 113 (1973) 573.
- [6] CHRISTER HÖGBERG S.A., GUSTAVSON J.E.: *Nucl. Instr. Methods* 113 (1973) 583.
- [7] GORBUSZINA Ł.W., ŻILCOWA Ł.J., MATWIEJEWA E.N., SURGANOWA N.A., TENIAJEW W.G., TYMINSKIJ W.G.: *Radiochimia* 15 (1973) 336.
- [8] ŻILCOWA Ł.J., MIEDWIEDIEW M.N., SPIRIDONOW A.I., TYMINSKIJ W.G.: Preprint ZIBJ, 12-3762, Dubna 1969.
- [9] DROŻŻIN W.M., NIKOŁAJEW D.S., ŁAZARIEW K.F., GRASZCZENKO S.M.: *Radiochimia* 15 (1973) 415.
- [10] ROGERS A.S.: *Bull. U.S. Geol. Surv.* 1052E (1958) 187.
- [11] ROGERS A.S.: *Bull. Geol. Soc. Am.*, 67 (1956) 1781.
- [12] *Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology*, IAEA, Vienna 1968.
- [13] WDOWIENKO W.M.: *Sowriemiennaja Radiochimia*. Atomizdat, Moskwa 1969.
- [14] FRIEDLANDER F., KENNEDY J.W.: *Chemia jądrowa i radiochemia*. PWN, Warszawa 1957.
- [15] BUJKO A., DUTKIEWICZ J., MOŚCICKI W., ZASTAWNY A.; *Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Fizyka II*, Nr 113 (1967) 135.
- [16] KOSTKIEWICZ E., MOŚCICKI W., PAZDUR A., PAZDUR M., ZASTAWNY A., POMYKAŁA W.: *Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria "Mat.-Fiz."*, z. 23 (1973) 15.
- [17] PAZDUR A., KOSTKIEWICZ E., MOŚCICKI W., PAZDUR M., POMYKAŁA W., ZASTAWNY A.: *Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria "Mat.-Fiz."*, z. 23 (1973) 3.
- [18] MOŚCICKI W., POMYKAŁA W., ZASTAWNY A.: *Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria "Mat.-Fiz."*, z. 23 (1973) 25.
- [19] ZASTAWNY A., KOSTKIEWICZ E., MOŚCICKI W., PAZDUR A., PAZDUR M., POMYKAŁA W.: *Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria "Mat.-Fiz."*, z. 23 (1973) 41.
- [20] PAZDUR M., KOSTKIEWICZ E., MOŚCICKI W., PAZDUR A., POMYKAŁA W., ZASTAWNY A.: *Zeszyty Naukowe Pol. Śl., seria "Mat.-Fiz."* z. 23 (1973) 51.
- [21] MIELICHOW I.W., MIERKUŁOWA M.S.: *Radiochimia* 1 (1959).
- [22] MICHAEL H.N., RALPH E.K.: *Dating Techniques for the Archaeologist*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1971.
- [23] De VRIES H.: *Appl. Sci. Res.* B6 (1957) 461.

МЕТОД ОДНОВРЕМЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАЦИИ  
 $^{222}\text{Rn}$  И  $^{14}\text{C}$  В ОБРАЗЦАХ ВОДЫ

Р е з ю м е

В работе описано метод одновременного измерения концентрации радия и радиоуглерода в образцах воды при помощи пропорционального счётчика наполненного двуокисью углерода. Измерение активности радона проводят пропорциональным счётчиком одновременно с измерением активности радиоуглерода. Точность определения концентрации радия оценивается на 20% при концентрации радия

$10^{-12}$  g/l. Минимальная измерима концентрация радия в воде ограничена практически только содержанием радия в применяемых реагентах и оценивается на  $10^{-15}$  g/l.

A METHOD OF SIMULTANEOUS DETERMINATION OF NATURAL CONCENTRATION OF  $^{226}\text{Ra}$  AND  $^{14}\text{C}$  IN WATER SAMPLES

S u m m a r y

The paper presents the method of simultaneous determination of  $^{226}\text{Ra}$  and radiocarbon concentration in water samples with the use of  $\text{CO}_2$ -filled proportional counter. The measurement of radon activity is performed in a proportional counter simultaneously with the measurement of the activity of radiocarbon. The accuracy of determination of radium concentration in a sample, as estimated from actually performed measurements, is equal to 20% when radium concentration is of the order of  $10^{-12}$  g/l. The minimum measurable radium concentration is limited practically only by radium content in chemicals used and is estimated to be ca  $10^{-15}$  g/l.

Wpłynęło do Redakcji 20.XII.1977 r.

Recenzent

Doc. dr hab. inż. Andrzej Zastawny