

Tadeusz FLORKOWSKI

Możliwości oznaczania trytu w próbkach wody w zastosowaniu do badań hydrogeologicznych

WSTĘP

Metodyka badań zjawisk zachodzących w układach hydrogeologicznych wzbogaciła się w ostatnich latach w nowe narzędzie, jakim jest technika trytowa. Umożliwia ona — z jednej strony — określenie „wieku“ próbek wody, pobranych z różnych zbiorników podziemnych, z drugiej — śledzenie podziemnych przepływów, jak też i ustalenie kontaktu między różnymi układami hydrogeologicznymi przez stosowanie trytu jako znacznika izotopowego. Szereg prac prowadzonych i opisanych w Stanach Zjednoczonych, Związku Radzieckim i in. potwierdziło przydatność trytu do tego rodzaju badań, a wiele laboratoriów naukowych zajęło się opracowaniem najbardziej wydajnych metod pomiaru stężenia trytu.

TRYT, JEGO CHARAKTERYSTYKA FIZYCZNA I ROZPOWSZECHNIENIE W PRZYRODZIE

Tryt (^3H lub T) jest izotopem wodoru, którego jądro składa się z protonu i dwóch neutronów. Jest on izotopem nietrwałym, rozpada się z okresem połowicznego rozpadu równym 12,3 lat, z emisją cząstki beta o energii maksymalnej 18 keV. Tryt został odkryty przez Rutherforda jako produkt reakcji jądrowej typu (d, d), a zidentyfikowany jako izotop promieniotwórczy przez Alvareza. Tryt naturalny jest wytwarzany w atmosferze ziemskiej przez neutronową składową promieniowania kosmicznego, a także przez rozpad różnych ciężkich jąder w skorupie ziemskiej, wywołany promieniami kosmicznymi. W. Libby i współpracownicy wykryli w roku 1951 (A. Grosse, W. Johnston i in., 1951) naturalny tryt w wodach powierzchniowych Norwegii, dzięki 10-krotnemu zwiększeniu jego stężenia za pomocą elektrolizy. Następnie oznaczyli stężenie trytu w wielkiej liczbie próbek wód naturalnych: z deszczu, śniegu, z rzek, jezior, mórz, zbiorników itp. Stwierdzili występowanie dużych wahań od 0,5 do 67 jednostek trytowych (TU), zdefiniowanych jako 1 TU =

1 Referat wygłoszony na Sesji Naukowej I.G. w dniu 11 lutego 1964 r.

= 1 atom T na 10^{18} atomów H. Jeżeli przyjmie się, że cała ilość trytu w miarę swego powstawania praktycznie przechodzi do wód oceanicznych i lądowych, to znalezione wartości odpowiadają średniej produkcji 0,14 atomu T na sekundę i cm^2 powierzchni ziemi.

Ilość trytu gazowego w powietrzu atmosferycznym oceniono w roku 1948 na $3,8 \cdot 10^3$ TU. Na skutek próbných wybuchów bomb wodorowych w atmosferze, prowadzonych przez Stany Zjednoczone i ZSRR w latach 1954—1958, ilość trytu w atmosferze wzrosła do $4,9 \cdot 10^5$ TU w roku 1959 (F. Bishop, B. T. Taylor, 1960), co pociągnęło za sobą wzrost stężenia trytu w wodach deszczowych do wartości szczytowej 1600 TU.

Obecność trytu była także stwierdzona w meteorytach oraz w odzyskanych elementach satelitów ziemi. Tryt w tych przypadkach był wytworzony przez kosmiczne protony o bardzo wysokiej energii, oddziałujące z jądrami żelaza.

STĘŻENIE NATURALNEGO TRYTU W WODZIE JAKO MIARA „WIEKU“

Przyjmując jakąś średnią ilość trytu w wodzie powierzchniowej, zasilanej wodami deszczowymi (6—8 TU przed rokiem 1954) i zakładając, że woda ta w pewnej chwili zostanie odcięta od dopływu wody deszczowej, można, wykorzystując fakt rozpadu jąder trytu z połowicznym okresem 12,3 lat, określić „wiek“ wody przez pomiar stężenia trytu w próbkach tej wody. Stwierdzono w ten sposób, że w miarę zagłębiania się pod naturalne zwierciadło wody gruntowej, warstwy wody były coraz starsze. Badania przeprowadzone np. przez U.S. Geological Survey (C. W. Carlston, L. Thatcher, 1962) wykazały, że woda na głębokości 15 m miała 4 lata, a powyżej 30 m więcej niż 25 lat. Korzystając z „zaznaczenia“ wody trytem, U.S. Geological Survey przeprowadził po wybuchach jądrowych obserwacje cyrkulacji wody deszczowej, a także badania dotyczące szybkości i kierunku przepływu wody podziemnej w różnych warstwach. Określanie „wieku“ wód na podstawie zawartości trytu jest w zasadzie możliwe do około 50 lat, przy założeniu, że wyklucza się możliwość infiltracji wody młodszej.

ZNAKOWANIE WODY TRYTEM

Tryt obecny w wodzie w wyniku promieniowania kosmicznego i wybuchów termojądrowych określa się jako naturalny. Stężenie trytu w określonej masie wody można wielokrotnie zwiększyć przez dodanie wody trytowej, wyprodukowanej sztucznie, zaznaczając w ten sposób wskaźnikiem trytowym wodę w określonym zbiorniku naturalnym lub sztucznym. Możliwe są wtedy studia dotyczące kierunku i szybkości przepływu, przecieków i możliwych kontaktów poszczególnych systemów wodnych.

Tryt jako izotop wodoru wchodzi w skład cząsteczki wody (HTO), a cząsteczka wody trytowej zachowuje się, pomijając pewien efekt izotopowy, tak samo w środowisku geologicznym jak normalna cząsteczka wody (H_2O). Unika się w ten sposób wszystkich niepożądanych efektów adsorpcji jonów wskaźników izotopowych, jaka występuje często w przy-

padku stosowania innych wskaźników izotopowych w postaci roztworów soli różnych pierwiastków. W metodzie rozcieńczenia izotopowego stężenie trytu w pobranej próbce wody odpowiada jednoznacznie ilości wody, w której wskaźnik trytowy był rozcieńczony.

Przeprowadzono już wiele badań hydrogeologicznych przy zastosowaniu trytu jako wskaźnika. I tak np. w USA stwierdzono miejsca wypływu wody z jezior w postaci strumieni ukazujących się w odległości kilku mil od jeziora. Określono objętość podziemnych zbiorników wodnych i szybkość ruchu wody w różnych systemach (C. W. Carlton, L. Thatcher 1962). W Grecji przy współudziale Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej przeprowadzono w latach 1961—1962 badania zasobów wodnych w terenie wapiennym pomiędzy Trypolisem i Peloponezem (D. I. Burdon i inni, 1963). W Trieście, także przy współpracy MAEA, przeprowadzono interesujące badania, potrzebne przy projektowaniu nowej hydroelektrowni. Ma ona być zbudowana na terenie Jugosławii, na rzece o wydatku przepływu 2 m³/sek. Ponieważ rzeka znika w grotcie wapiennej, należało stwierdzić, czy strumień wypływający w odległości 37 km i zopatrujący w wodę pitną miasto Triest pochodzi z tej rzeki i czy budowa hydroelektrowni nie zakłóci dostawy wody pitnej. Przez zastosowanie trytu jako wskaźnika, stwierdzono, że zaledwie 1% wody strumienia pochodzi z rzeki i że czas wędrówki wody z rzeki do strumienia wynosi 11 dni (J. F. Cameron — wiadomość ustna).

Nie sposób zreferować tu wszystkich prac hydrogeologicznych prowadzonych przy pomocy znakowania trytem. Główne zalety trytu jako wskaźnika izotopowego w tych pracach to: długi okres połowicznego rozpadu trytu, który umożliwia śledzenie procesów odbywających się powoli; mała szkodliwość biologiczna trytu, z uwagi na jego bardzo miękkie promieniowanie beta, które dopuszcza stężenia trytu w wodzie pitnej znacznie wyższe niż innych izotopów promieniotwórczych, a także upraszcza wszelkie manipulacje z wodą trytową w porównaniu z innymi izotopami; a wreszcie wspomniana już natura wody trytowej, która zachowuje się w środowisku skalnym identycznie jak zwykła woda.

DETEKCJA TRYTU W PRÓBKACH WODNYCH

Obok wyżej wspomnianych zalet tryt wykazuje dość niekorzystną cechę, jaką stanowi trudność jego detekcji. Mała energia cząstek beta i związana z tym bardzo nieznaczna ich przenikliwość przez materię nie pozwala wykrywać trytu za pomocą normalnych detektorów promieniowania beta, jak okienkowe liczniki GM, czy liczniki scyntylacyjne. Do pomiarów trytu trzeba zastosować specjalną technikę detekcji, przy użyciu ciekłych scyntylatorów lub liczników gazowych z wewnętrznym napełnieniem.

Z uwagi na małą czułość tych detektorów dla cząstek beta trytu, nie jest możliwy pomiar trytu w zbyt małych stężeniach, np. w wodzie naturalnej. Dlatego też próbka wody trytowej jest zwykle wzbogacana w tryt drogą elektrolizy lub wielokrotnej destylacji. Zagęszczona próbka, wzbogacana w atomy trytu jest dopiero mierzona odpowiednim licznikiem.

WZBOGACANIE PRÓBEK WODNYCH METODĄ ELEKTROLIZY

W. Libby z USA pierwszy zastosował technikę elektrolitycznego wzbogacania trytu w wodzie. Pierwotną próbkę wody, zawierającą tryt, poddaje się, po zakwaszeniu lub zalkalizowaniu, elektrolizie. Na katodzie wydziela się wodór, a roztwór wzbogaca się w deuter i tryt. Istotną sprawą jest zachowanie stałych warunków elektrolizy, jak koncentracja, gęstość prądu, temperatura itp., oraz możliwość standaryzowania procesu i dokładnego określenia wzbogacenia próbki w tryt. Dokonuje się tego albo metodą roztworu standartowego, albo przez pomiar ilości deuteru we wzbogaconej próbce. W laboratorium Libby'ego pierwotna próbka wody o objętości 1 l jest zagęszczona 2000 razy do objętości 0,5 ml. Proces elektrolizy jest długotrwały (kilka dni) i dość kosztowny (100—200 dol. USA).

Nie w każdym przypadku jest konieczne tak duże wzbogacenie, często ogranicza się je do 100-krotnego zagęszczenia próbki. Odzysk trytu wynosi zwykle 50—90%, tzn. taka jego pierwotna ilość pozostaje w zagęszczonej próbce. Reprodukacja elektrolizy jest ograniczona głównie reprodukcją powierzchni elektrod i ich zmianą w czasie pracy. Poszczególne laboratoria zajmujące się tym zagadnieniem wypracowały własną metodykę pracy, dającą zadowalające wyniki. Należy jeszcze zaznaczyć, że zagęszczona próbka nie może być zbyt zakwaszona ani zalkalizowana, gdyż sprawia wtedy duże kłopoty jej detekcja za pomocą scyntylatorów ciekłych (wygaszanie scyntytacji).

WZBOGACANIE PRÓBEK WODNYCH METODĄ DESTYLACJI

Wzbogacenie wody w procesie destylacji następuje wskutek szybszego parowania wody zwykłej (H_2O), ze względu na jej wyższe ciśnienie pary w porównaniu z wodą trytową (HTO). Destylacja następuje w kolumnie frakcyjnej pod mniejszym ciśnieniem. Proces destylacji jest powtórzony wielokrotnie, w wyniku czego można otrzymać stokrotne, a nawet większe zagęszczenie pierwotnej próbki i wzbogacenie jej w tryt.

W laboratorium AERE w Wantage w Anglii (D. B. Smith, D. S. Rawson, 1962) opracowano w pełni zautomatyzowany system destylacji frakcyjnej. Próbka o objętości pierwotnej 10 l zostaje zagęszczona do objętości 100 ml w czasie kilkunastu dni. W efekcie w próbce pozostaje 92% całkowitej ilości trytu. Dalsze zagęszczenie do objętości 10 ml, odpowiedniej dla celów detekcji, może odbyć się drogą elektrolityczną lub przez destylację w mniejszej kolumnie.

DETEKCJA TRYTU ZA POMOCĄ LICZNIKA GAZOWEGO

Licznik gazowy z wewnętrznym napełnieniem może pracować w systemie proporcjonalnym lub Geigera-Müllera. Licznik proporcjonalny daje impulsy elektryczne proporcjonalne do ilości par jonów wytworzonych w objętości czynnej licznika przez cząstki beta z próbki. Dobra zdolność rozdzielcza pozwala stosować taki licznik przy dużych częstościach impulsów na sekundę, małe impulsy z licznika wymagają natomiast dużego wzmocnienia. W liczniku GM impulsy są znacznie wyższe, wskutek du-

zego wzmocnienia gazowego wewnątrz licznika i wymagają tylko prostych elektronicznych układów, zliczających impulsy w czasie. Czas rozdzielczy takiego licznika jest jednak dużo gorszy, co w pewnym stopniu ogranicza jego stosowalność.

Próbka, w której ma być oznaczone stężenie trytu, musi być w postaci gazowej. Przemiany wody w wodór gazowy dokonuje się przez przepuszczanie jej ponad blachą cynkową, ogrzaną do temperatury 400°C. Otrzymany wodór absorbuje się w węglu aktywnym w temperaturze ciekłego powietrza. Licznik o objętości jednego lub kilku litrów napełnia się najpierw gazem gaszącym (pary węglowodorów) pod ciśnieniem kilku cm Hg, a następnie wprowadza się do licznika (do ciśnienia 40—50 cm Hg) potrzebną ilość wodoru z węgla aktywnego drogą podgrzewania.

Następnie na licznik podaje się wysokie napięcie rzędu jednego do kilku tysięcy woltów. Powoduje to przepływ przez licznik krótkotrwałego prądu, wywołanego jonizacją gazu przez cząstkę beta z trytu. W rezultacie na połączonym szeregowo z licznikiem oporze (rzędu 10—20 MΩ) powstaje impuls elektryczny, który dalej może być policzony przy pomocy odpowiednich układów elektronowych. Ponieważ wszystkie cząstki beta emitowane przez jądra trytu, obecne wewnątrz licznika, powodują jonizację i są całkowicie zatrzymane w gazie licznika, wydajność detekcji w tym systemie wynosi prawie 100%.

Każdy licznik gazowy wykazuje pewne tło pochodzące głównie od cząstek i fotonów kosmicznych, które wpadają do objętości czynnej licznika i dają około 1 imp./min. na 1 cm² powierzchni licznika. Ponieważ mierzone próbki trytowe mają zwykle małą aktywność (1 TU w objętości 1 litra wody daje tylko 7 rozpadów/min.), istotną sprawą jest zmniejszenie tła licznika. Dokonuje się tego przez stosowanie wokół licznika grubej osłony wykonanej z ciężkiego materiału, np. ołowiu. Ponieważ w ołowiu zawsze znajdują się pewne domieszki izotopów promieniotwórczych naturalnych szeregów promieniotwórczych, protoplastów ołowiu, między licznik a osłonę ołowianą wstawia się warstwę innego ciężkiego materiału, np. rtęci lub żelaza.

Dla zmniejszenia tła kosmicznego stosuje się także tzw. osłony antykoincydencyjne. Stanowią je duże liczniki GM, otaczające licznik właściwy i połączone elektrycznie z układem antykoincydencyjnym. Działanie takiego układu polega na tym, że przepuszcza on impulsy tylko wtedy, gdy pochodzą z licznika właściwego, przy równoczesnej eliminacji impulsów we wszystkich licznikach osłony. Cząstka kosmiczna, która przechodzi równocześnie przez któryś z liczników osłony i licznik właściwy, nie będzie w ten sposób zarejestrowana w postaci impulsu. Osłony antykoincydencyjne bardzo skutecznie zmniejszają tło kosmiczne, co pozwala na pomiary próbek trytowych o bardzo małej aktywności.

Kryteriami użyteczności licznika do pomiarów trytowych są (W. I. Kaufman i inni, 1962):

— Najmniejsza wykrywalna aktywność trytu (NWA), zdefiniowana jako aktywność trytu, która daje po odjęciu tła częstość zliczeń równą podwójnemu błędowi standartowemu:

$$NWA = \frac{9 \cdot 10^{-5}}{E \cdot V} \sqrt{\frac{n_b}{t}} \left(\frac{\mu\text{C}}{\text{ml}} \right)$$

gdzie: E jest wydajnością detekcji (%)
 V jest objętością próbki (ml)
 n_b jest częstością zliczeń tła $\left(\frac{\text{imp.}}{\text{min.}}\right)$
 t jest czasem pomiaru (min.)

Czułość detekcji (C.D.) określona jako odwrotność minimalnej wykrywalnej aktywności w czasie pomiaru = 30 min.

$$CD = 61 \frac{E \cdot V}{\sqrt{n_b}} \left(\frac{1}{\mu c}\right)$$

Wartości liczbowe uzyskane w pomiarach dokonanych licznikiem gazowym ilustruje tabela 1.

Tabela 1

Objętość licznika l	Tło imp./min.	NWA $\mu c/ml$	NWA TU	C.D. l/ μc
0,9	10	$0,71 \cdot 10^{-3}$	220	1400
1,8	10	$0,36 \cdot 10^{-3}$	128	2800
7,2	25	$0,14 \cdot 10^{-3}$	43	7070

Metoda gazowa detekcji trytu jest korzystna dla małych aktywności trytu, wymaga jednak dość skomplikowanych i pracochłonnych czynności, tak że w przypadku bardziej aktywnych próbek ekonomiczniejsza jest metoda scyntylicyjna. Koszt aparatury dla metody gazowej jest dość wysoki i wynosi w USA 10—20 tys. dolarów.

DETEKCJA TRYTU METODĄ SCYNTYLACYJNĄ

Licznik scyntylicyjny jest detektorem promieniowania jądrowego, składającym się z dwóch zasadniczych elementów: scyntylicatora i fotopowielacza elektrycznego. W scyntylicatorze następuje absorpcja jonizującej cząstki (np. cząstki beta) i przetworzenie jej energii kinetycznej na krótkotrwały błysk świetlny (scyntylicację). Scyntylicacje są zamieniane na fotokatodzie fotopowielacza w wyniku efektu fotoelektrycznego na elektrony. Elektrony są następnie powielane w układzie dynod fotopowielacza przez wykorzystanie zjawiska emisji wtórnej. Na oporze anodowym fotopowielacza otrzymujemy w ten sposób impuls elektryczny, którego wysokość jest proporcjonalna do energii cząstki jonizującej, pochłoniętej w scyntylicatorze. Do układu dynod fotopowielacza należy przyłożyć odpowiednie napięcia, otrzymane z oporowego dzielnika napięć, zasilanego z bardzo dobrze stabilizowanego zasilacza. Stabilność napięcia zasilającego ma zasadniczy wpływ na stałość wzmocnienia fotopowielacza. Impulsy elektryczne z fotopowielacza, po wzmocnieniu przez wzmacniacz impulsowy, mogą być policzone przelicznikiem elektronowym, względnie podane na analizator wysokości impulsów, który może zaszeregować je w zależności od ich wysokości napięciowej do odpowiednich kanałów zliczających.

Do detekcji niskoenergetycznych cząstek beta, a więc także w przypadku trytu, stosuje się technikę scyntylicatorów ciekłych, do których wprowadza się mierzoną próbkę. Do pomiaru wodnych próbek trytowych

majkorzystniejszy roztwór scyntylacyjny tworzy się z czterech głównych składników: rozpuszczalnika (toluen, ksylen lub dioxan), scyntylatora organicznego (PFO lub p-terphenyl), składnika rozpuszczającego wodę i mieszającego się dobrze z głównym roztworem (np. alkohol lub p-dioxan), oraz tzw. przesuwalca widma emisji scyntylatora, który dopasowuje je do czułości spektralnej fotokatody (POPOP). Jeżeli scyntylator pracuje w niskiej temperaturze, dodaje się także pewną ilość alkoholu etylowego, aby obniżyć punkt zamarzania mieszaniny. Wszystkie związki chemiczne stosowane do sporządzenia scyntylatorów muszą być najwyższej czystości chemicznej, gdyż najmniejsze zanieczyszczenia powodują gaszenie scyntylacji i obniżenie wydajności detekcji. Przyrządzony scyntylator wlewa się do naczynka pomiarowego, wykonanego ze szkła „Pyrex“ lub kwarcu, o objętości od 10 do 200 ml. W roztworze scyntylatora rozpuszcza się próbkę wody trytowej, przy czym w zależności od typu tego roztworu, może on przyjąć od kilku do 25% wody bez wyraźnych strat świetlnych, związanych z gaszeniem scyntylacji.

Podobnie jak w przypadku liczników gazowych głównym czynnikiem decydującym o dobrej czułości detekcji dla trytu jest niskie tło licznika scyntylacyjnego. Niestety, poważną wadą fotopowielacza jest tzw. prąd ciemny lub szumy fotopowielacza, spowodowane głównie przez termoemisję fotokatody. Termoemisję można poważnie zmniejszyć przez oziębienie fotopowielacza. Dlatego też niektóre aparaty pomiarowe do oznaczania trytu wyposażone są w lodówkę, w której znajduje się licznik scyntylacyjny w temperaturze 0°C lub nawet poniżej 0°C.

Innym alternatywnym sposobem zmniejszania tła układu pomiarowego, wywołanego prądem ciemnym fotopowielacza jest stosowanie dwóch fotopowielaczy „obserwujących“ to samo naczynko pomiarowe i połączonych w układzie koincydencyjnym. Ponieważ impulsy szumów obu fotopowielaczy występują w czasie według rozkładu statystycznego, stosunkowo mała ich liczba występuje równocześnie. Elektroniczny układ koincydencyjny jest nieczuły na nierównoczesne impulsy przychodzące z obu fotopowielaczy, a rejestruje tylko impulsy elektryczne wywołane równocześnie w obu fotopowielaczach błyskami scyntylacji, pochodzącymi od cząstek beta trytu.

Dla zmniejszenia tła kosmicznego do licznika scyntylacyjnego stosuje się także osłony ołowiane i stalowe, a czasem także antykoincydencyjne, podobnie jak w przypadku liczników gazowych.

Jak widzimy, metodyka pomiarów małych aktywności trytu komplikuje się głównie przez konieczność zmniejszenia tła i usunięcia wszystkich czynników przewodzących tło. Jednym ze źródeł tła są ponadto promieniotwórcze zanieczyszczenia w materiałach, z których wykonane są elementy licznika scyntylacyjnego, naczynka pomiarowego i osłony. Dotyczy to głównie szkła, które zawiera promieniotwórczy izotop potasu ^{40}K . Dlatego też elementy szklane fotopowielaczy czy naczynek pomiarowych są wykonane ze szkła specjalnego, nie zawierającego potasu (pyreks, szkło sodowe lub kwarc). Tło od domieszek promieniotwórczych w materiałach, z których zbudowany jest zestaw pomiarowy, nie może być całkowicie usunięte. Tabela 2 ilustruje wyniki badań wpływu różnych czynników

na tło cieczowego licznika scyntylacyjnego, przeprowadzonych w Laboratorium AERE w Wantage w Anglii (I. S. Boyce, I. F. Cameron, 1962).

Wydajność detekcji trytu w liczniku scyntylacyjnym z ciekłym scyntylatorem wynosi od 2 do kilkudziesięciu $\%$, w zależności od systemu detekcji. Najmniejsza wykrywalna aktywność trytu, zdefiniowana podobnie jak w przypadku licznika gazowego, przy czasie pomiaru 30 min. = $6 \cdot 10^{-7} \mu\text{c/ml}$ (I. S. Boyce, I. F. Cameron, 1962). Tak dużą czułość dla detekcji trytu osiągnięto dzięki optymalnym warunkom pomiarowym, jak wybór najodpowiedniejszych typów i egzemplarzy fotopowielaczy, rodzaju naczynek pomiarowych, geometrii pomiaru, roztworów scyntylacyjnych, osłon, układów elektronowych itp.

Tabela 2

Pochodzenie tła licznika scyntylacyjnego

Źródło tła	Przyczynk częstotliwości zliczeń tła (imp./min.)
Miękkie promieniowanie ze skażeń promieniotwórczych laboratorium i promieniowanie kosmiczne (osłona 10 cm Pb+2,5 cm Hg)	28 ± 2
Promieniowanie z zanieczyszczeń promieniotwórczych w osłonie ołowianej (po przejściu przez 2,5 cm Hg)	0 ± 2
Promieniowanie kosmiczne nie odcięte przez osłonę antykoincydencyjną	7 ± 1
Skażenie promieniotwórcze okienka katody fotopowielacza	zależnie od egzemplarza fotopowielacza 0 do 70
Skażenia pozostałe i ewentualne impulsy fałszywe fotopowielacza	25 ± 5

Aparatura pomiarowa dla oznaczania trytu w próbkach wodnych jest już obecnie produkowana seryjnie przez specjalizujące się firmy, jak Nuclear Chicago, Co. USA, Packard Instrument Co. USA, Tracerlab USA i in. Koszt takiej aparatury wynosi od 5 do 12 tys. dolarów.

Technika scyntylacyjna do pomiaru próbek zawierających tryt wydaje się być bardziej perspektywiczna i ekonomiczna od metod posługujących się licznikami gazowymi. Jest bardziej odpowiednia do pomiarów rutynowych, czynności pomiarowe są stosunkowo proste i mogą być zautomatyzowane.

BEZPIECZEŃSTWO PRACY

Jak już wspomniano wyżej praca z trytem nie sprawia dużych trudności pod względem zapewnienia koniecznej ochrony radiologicznej. Niska energia promieniowania beta trytu powoduje, że dopuszczalne stężenia trytu w wodzie pitnej i powietrzu są wielokrotnie wyższe niż dopuszczalne stężenia dla innych izotopów promieniotwórczych.

Dopuszczalne stężenie trytu w powietrzu wynosi $2 \cdot 10^{-6} \mu\text{c/cm}^3$, a w wodzie pitnej $3 \cdot 10^{-2} \mu\text{c/cm}^3$. Jak wynika z poprzednich rozważań,

technika scyntylacyjna pozwala mierzyć koncentracje trytu w wodzie do $6 \cdot 10^{-7}$ $\mu\text{C}/\text{cm}^3$, a więc koncentracje o cztery rzędy wielkości niższe od dopuszczalnych w wodzie pitnej.

Także transport wody trytowej nawet o dużej aktywności jest nieskomplikowany, gdyż każda butelka czy ampulka zatrzymuje całkowicie w swych ściankach promieniowanie beta trytu.

Przy pracach hydrogeologicznych z wodą trytową jako wskaźnikiem, z punktu widzenia ochrony radiologicznej, należy przestrzegać następujących prawideł:

— stosować aktywności znacznika trytowego tak, aby oceniana koncentracja końcowa po rozcieńczeniu była znacznie poniżej dopuszczalnej dla wody pitnej;

— stosować możliwie niskie koncentracje trytu, a bardziej czułą aparaturę pomiarową;

— przeprowadzać w czasie pomiarów tzw. bilansowanie trytu, tzn. oceniać, w jakim stopniu pierwotna koncentracja wskaźnika trytowego uległa rozcieńczeniu i czy tryt nie „zagażał“ po drodze; zwykle tzw. „odzysk“ trytu wynosi kilkadziesiąt %.

WNIOSKI

Wydaje się, że uznana już w świecie technika trytowa w zastosowaniu do badań hydrogeologicznych może przyczynić się także i w naszym kraju do rozwiązywania zagadnień wodnych, których ilość rośnie z roku na rok w związku z budową nowych kopalń, obiektów hydrogeologicznych i regulacją rzek. Zorganizowanie jednej lub kilku placówek zajmujących się pomiarami próbek wody znaczonej trytem może rozwiązać ten problem z dużymi korzyściami ekonomicznymi dla gospodarki narodowej.

Instytut Techniki Jądrowej A.G.-H. w Krakowie.
Nadesłano dnia 25 lutego 1964 r.

PIŚMIENNICTWO

- BISHOP F., TAYLOR B. T. (1960) — Growth of the Tritium Content of Atmospheric Molecular Hydrogen. *Nature* 185, p. 26—27. London.
- BOYCE I. S., CAMERON I. F. (1962) — A Low-Background Liquid — Scintillation Counter for the Assay of Low-Specific-Activity Tritiated Water. In *Proceedings of the Symposium on the Detection and Use of Tritium in the Physical and Biological Sciences held in Vienna*, 1, p. 231—247. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- BURDON D. J., ERIKSSON E., PAYNE B. R., PAPANIMITROPOULOS T., PAPANIKIS N. (1963) — The Use of Tritium in Tracing Karst Groundwater in Greece. In *Proceedings of the Symposium on the Application of Radioisotopes in Hydrology held by the International Atomic Energy Agency in Tokyo*, p. 309—316. Vienna.
- CARLSTON C. W., THATCHER L. (1962) — Tritium Studies in the United States Geological Survey. In *Proceedings of the Symposium on the Detection*

- and Use of Tritium in the Physical and Biological Sciences held in Vienna, 1, p. 75—81. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- GROSSE A., JOHNSTON W., WOLFGANG R., LIBBY W. (1951) — Tritium in Nature. Science, 113, p. 1—5. Washington.
- KAUFMAN W. J., NIR A., PARKS G., HOURS R. M. (1962) — Recent Advances in Low-Level Scintillation Counting of Tritium. In Proceedings of the Symposium on the Detection and Use of Tritium in the Physical and Biological Sciences held in Vienna, 1, p. 249—260. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- SMITH D. B., RAWSON D. S. (1962) — The Reconcentration of Tritium by Distillation. In Proceedings of the Symposium on the Detection and Use of Tritium in the Physical and Biological Sciences held in Vienna, 1, p. 105—118. International Atomic Energy Agency, Vienna.

Тадэуш ФЛЁРКОВСКИ

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ПРОБАХ ВОДЫ И ПРИМЕНЕНИИ ДЛЯ ГИДРОГЕОЛОГИИ

Резюме

Вкратце описывается методика применения трития в гидрогеологических работах. Приводится характеристика изотопа трития, способ его возникновения и распространения в природе. Вследствие небольшой концентрации трития и малой энергии бета-частиц, излучаемых тритием, пробы воды следует обогащать тритием путем электролиза или дистилляции. Измерение активности трития производится с помощью газового счетчика или сцинтилляционного счетчика с жидким сцинтиллятором. Приводится чувствительность обоих методов и излагаются вопросы связанные с безопасностью работы с тритием в качестве изотопного измерения.

Tadeusz FLORKOWSKI

THE POSSIBILITY OF TRITIUM DETECTION IN APPLICATION TO HYDROGEOLOGY

S u m m a r y

The technique of the tritium application in hydrogeology is shortly described. The physical characteristics of tritium, its origin and distribution in nature is given. Because of low tritium activity and its very low beta particles energy the sample of tritiated water must be enriched by distillation or electrolysis. The tritium activity can be measured using the gas counter or liquid scintillation technique. The sensitivity for both methods is given and health hazard for tritium as tracer in hydrogeology is discussed.