

METODY PRACY – RACJONALIZACJA – POSTĘP TECHNICZNY

WŁODZIMIERZ MOŚCICKI

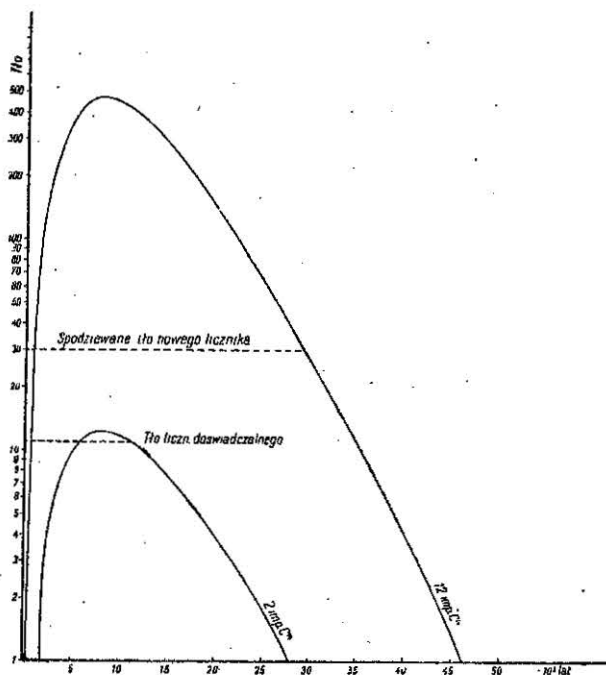
METODA „RADIOWĘGLA“ W BADANIACH WIEKU CZWARTORZĘDOWYCH SZCZĄTKÓW ORGANICZNYCH

W 1946 r. W. F. Libby zwrócił uwagę na możliwość określenia wieku szczątków organicznych na podstawie pomiaru koncentracji izotopu węgla C^{14} („radiowęgla“) w węglu niepromieniotwórczym.

Podstawą metody są następujące fakty. Składowa neutronowa promieniowania kosmicznego generuje w atmosferze atom „radiowęgla“. „Radiowęgiel“ ulega utlenianiu na CO_2 , przedostaje się do dolnych warstw atmosfery i zmieszany z węglem atmosfery przechodzi w niezmięnionej koncentracji do biosfery. Ubytek „radiowęgla“ związany z procesem spontanicznej emisji elektronu, z okresem połowicznego zaniku $T_{1/2} = 5\,560$ lat, jest stale kompensowany generacją nowych atomów „radiowęgla“ w górnych warstwach atmosfery, tak że koncentracja C^{14} w organizmach żywych utrzymuje się stale na tym samym poziomie. Po śmierci organizmu wymiana węgla ustaje i szczątki ustroju zatrzymują w sobie tę ilość C^{14} , którą posiadały w chwili śmierci. Ilość ta ulega stałemu ubytkowi na skutek spontanicznego rozpadu, tak że po upływie około 6 000 lat szczątki zawierają już tylko $1/2$ liczby posiadanych pierwotnie atomów C^{14} , po upływie ok. 12 000 lat $1/4$ itd.

W związku z tym maleje również koncentracja C^{14} w węglu niepromieniotwórczym szczątków. Okazuje się, że liczba rozpadów C^{14} w 1 g węgla pochodzącego ze współcześnie żyjących lub niedawno zmarłych organizmów wynosi 15–18, dla szczątków organizmów zmarłych przed 5 000 – 6 000 lat – liczba rozpadów spada do 7–9, w węglu bardzo starym (ropa naftowa, węgiel kamienny) w ogóle nie obserwuje się rozpadów C^{14} .

Przebieg procesu rozpadu C^{14} może w zasadzie odbywać się drogą detekcji elektronów pochodzących z C^{14} w liczniku G. M. lub innych detektorach (np. w liczniku proporcjonalnym albo w liczniku scyntylacyjnym)



Ryc. 1

Metoda stosowana dotychczas na szerszą skalę polega na wprowadzeniu proszku węglowego, otrzymywanego z podlegających określeniu wieku szczątków, bezpośrednio do specjalnego licznika G. M. („Screen Wall Counter“); w metodzie opracowanej przez autora wprowadza się do zwyczajnego licznika G. M. otrzymany ze spalania szczątków gazowy CO_2 z małą domieszką pary CS_2 (3).

Niezależnie od użytej aparatury sama natura zjawiska ogranicza zarówno dokładność pomiaru, jak i górną granicę wieku, który można jeszcze określić posługując się metodą „radiowęglą“.

Przy użyciu dowolnego detektora liczba notowań procesów rozpadu C^{14} nakłada się na liczbę notowań impulsów detektora wywołanych przez tzw. „tło“⁽¹⁾.

Wielkość tła przy nieodsloniętym liczniku może sięgać kilkuset impulsów. Przy pomocy odpowiednich osłon można zredukować tę liczbę do kilkunastu, a nawet kilku. Ostatnio uzyskano redukcję tła w liczniku do wartości poniżej 2 imp./min., podczas gdy liczba impulsów w nieodsloniętym liczniku wynosiła około 300.

Redukcja tła wpływa decydująco na dokładność pomiaru oraz na górną granicę wieku, jaka może być oznaczona w danych warunkach doświadczalnych. Ryc. 1 przedstawia zależność błęd statystycznego („standart deviation“⁽²⁾) popełnianego przy pomiarze promieniotwórczości próbki metodą licznika wypełnionego dwutlenkiem węgla w zależności od rozmiarów tła i wieku próbki.

Krzywe przerywane narysowane są dla licznika, w którym efekt pochodzący z rozpadu C^{14} wynosi

1) Efekt „tła“ pochodzi z zanieczyszczeń radioaktywnych powietrza, materiałów, z których wykonana jest aparatura przedmiotów znajdujących się w laboratorium itp. oraz z promieniowania kosmicznego.

2) Przy zarejestrowaniu liczby n impulsów licznika pomiarowego odpowiedni błąd statystyczny wynosi \sqrt{n} . Uwzględnienie tego błęd w pomiarze zezwala na przypuszczenie, że w 68,2% następnym pomiarów z tą samą próbką uzyskane liczby n_1, n_2 itd. będą mieściły się w granicach od n do $n + \sqrt{n}$.

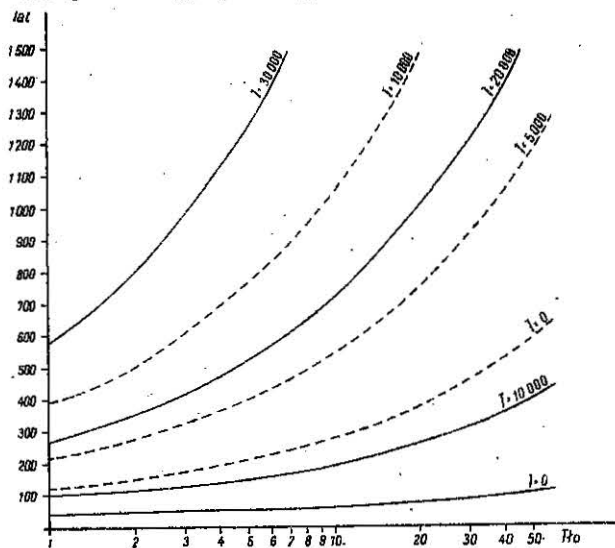
2 imp./min. Kalibracja licznika (pomiar tła) trwa 200 godzin, pomiar zaś promieniowania próbki — 50 godzin. W aparaturze doświadczalnej zbudowanej przez autora uzyskano redukcję tła do liczby około 10 imp./min. przy 2 imp./min. z C^{14} .

Z wykresu widać, że błąd, jakim z natury notowań statystycznych obarczony jest pomiar, wynosi w tych warunkach dla próbek współczesnych około 280 lat, dla próbek sprzed 5 000 lat około 550 lat i dla próbek sprzed 10 000 lat ponad 1 000 lat.

Krzywe ciągłe podane dla próbek współczesnych ($T=0$), sprzed 10 000 lat ($T=10\ 000$) i sprzed 20 000 lat ($T=20\ 000$) wykreślone są dla nowego licznika, w którym liczba impulsów C^{14} z węgla współczesnego będzie wynosiła 12. Ponieważ nowa osłona powinna zapewnić redukcję impulsów tła do wysokości 25–30 imp./min., błąd statystyczny dla próbek współczesnych powinien leżeć w granicach 80–90 lat, dla próbek sprzed 10 000 lat w granicach 380–450 lat, dla próbek zaś sprzed 20 000 lat w granicach 1 100–1 200 lat.

Krzywe $T=30\ 000$ lat poprowadzono przy założeniu, że czas pomiaru próbki wynosi 200 godzin. W celu zilustrowania rozstrzygającego wpływu tła na zasięg metody podajemy na ryc. 2 wykres zależności granicy wieku³⁾, jaki można jeszcze obliczyć z dokładnością statystyczną 10% określonego wieku zakładając, że pomiaru dokonujemy z pomocą licznika wykalibrowanego w czasie 200 godzin, a promieniotwórczość próbki mierzymy w ciągu 50 godzin.

Jak widać ze sporządzonych za pomocą skonstruowanej obecnie aparatury doświadczalnej (tło 11 imp., efekt maksymalny 2 imp.) maksymalny wiek próbek określony z błędem statystycznym mniejszym niż 10% wieku leży nieco poniżej 12 000 lat (zakładając bardzo dobrą kalibrację aparatury).



Ryc. 2

3) Sposób zdefiniowania granicy wieku jest raczej niepraktykowany. Ze względu jednak na przejrzystość definicji i dostępność jej dla czytelników, którzy nie znają metod statystycznych, wprowadzamy ją wbrew przyjętym zwyczajom.

Inni autorzy wymienioną granicę definiują jako taki wiek, dla którego liczba impulsów C^{14} wynosi pewną wielokrotność (3–4) standardowego błęd statystycznego. Przy przyjęciu tej definicji górna granica wieku dla omawianych niżej warunków pomiaru wynosiłaby około 56 000 lat.

Dla porównania podajemy, że pracująca obecnie w Geochronometrycznym Laboratorium Uniwersytetu Yale (Chicago) aparatura posiada tło 5 imp./min., przy 6,68 imp./min. dla próbek współczesnych i posiada teoretyczną granicę wieku dla pomiaru trwającego 2 miesiące około 37 000 lat.

W nowej aparaturze górna granica powinna być przesunięta do około 30 000 lat.

Nasuwa się pytanie, czy przy obecnej technice eksperymentalnej istnieje teoretyczna możliwość zbudowania aparatury, która byłaby w stanie w sposób zdecydowany przesunąć górną granicę dającego się jeszcze określić wieku.

Wyraźnej redukcji tła można się spodziewać na dużej głębokości pod powierzchnią ziemi. Obniżenie jednak liczby impulsów tła do wartości poniżej 0,5 imp./min. na 100 cm² powierzchni licznika wydaje się mało prawdopodobne. W liczniku o objętości rzędu 25 litrów współczesny dwutlenek węgla pod ciśnieniem 1 atmosfery dawałby około 200 rozpadów na minutę. Ze względu na warunki pracy licznika elektrycznego średnica licznika nie powinna być dużo większa niż 10 cm, tak że powierzchnia takiego licznika powinna być rzędu 10 dcm² a w związku z tym tło rzędu co najmniej 50.

Zakładając optymalne warunki: tło 50 imp./min., liczba rozpadów dla wypełnienia pochodzącego od współcześnie żyjących organizmów 200 imp./min., okres kalibracji licznika — 1 miesiąc, czas pomiaru próbki — 1 miesiąc, otrzymuje się górną granicę wieku, który można określić z błędem statystycznym nie przekraczającym 10% wartości wieku około 65 000 lat. Dla uzyskania tak znacznej redukcji tła przy olbrzymich rozmiarach licznika należałoby licznik, wykonany ze szczególnie ubożego w zanieczyszczenia radioaktywne materiału, zamurzyć w osłonie rtęciowej warstwy 2—3 cm, bowiem wielokrotne destylowanie rtęci wykazuje minimalne zanieczyszczenia ciałami promieniotwórczymi. Niezależnie od tego należałoby zbudować szczelną osłonę antykoincydencyjną¹⁾, zapewnić doskonałą stabilizację napięć zasilających aparaturę, temperaturę pracy licznika,

1) Osłona antykoincydencyjna pozwala wyeliminować z rejestracji impulsy pochodzące z promieniowania kosmicznego.

opracować metodą ściśle odtwarzalnych wypełnień licznika itd.

W praktyce granicy tej nawet w warunkach tak znacznej redukcji tła nie da się prawdopodobnie nigdy uzyskać, a to ze względu na inne poza statystycznymi, źródła błędów pomiarowych, jak błąd w odczycie temperatury i ciśnienia, niedokładne wyznaczenie niewydajności osłony antykoincydencyjnej itp.²⁾.

Dalsze i to znaczne przesunięcie granicy wieku, który mogłaby objąć metoda „radiowęglą”, wiąże się z procesem wzbogacenia izotopowego, dzięki któremu można bardzo znacznie przesunąć górną granicę wieku. Niestety współcześnie istniejące metody kontroli procesu są tego rodzaju, że wnoszą dodatkowy czynnik niepewności redukując praktyczne znaczenie tej kontroli do minimum.

Przed fizykami więc stoi wdzięczne zadanie opracowania metod, które pozwoliłyby w pełni wykorzystać olbrzymie możliwości związane z procesem wzbogacania izotopowego.

Jedyna pracująca już od dwu lat aparatura w Geochronometrycznym Laboratorium Uniwersytetu Yale ograniczyła zakres dotychczasowych swoich prac do próbek o maksymalnym wieku 28 000 lat (2).

Został już stosunkowo dobrze zbadany i określony w czasie materiał z okresów sprzed 10 000—15 000 lat, a przede wszystkim wiek najmłodszego nasunięcia lądolodu ostatniego zlodowacenia w Ameryce.

Szersze omówienie uzyskanych wyników, jak również wnioski dotyczące synchronizacji zlodowaceń wisconsin i bałtyckiego znajdzie czytelnik w artykule B. Halickiego (1).

2) Jedno z zasadniczych źródeł błędów w metodzie „S. W. C”, zakażenie próbki ciałami promieniotwórczymi (radon, współczesny CO₂) podczas operacji chemicznych, jest w metodzie opracowanej przez autora praktycznie całkowicie wyeliminowane.

L I T E R A T U R A

1. H a l i c k i B. — Datowanie zjawisk geologicznych radiowęglą. Wiad. Muzeum Ziemi t. 6 z. 2. Warszawa 1952.
2. L i b b y W. F. — (Nieopublikowane) wg E. C. An-

derson—Some Problems in Radiokarbon Dating. Kobenhavn 1952.

3. M o ś c i c k i W. — Metoda bezwzględnej dątownia osadów czwartorzędowych. Wiad. Muzeum Ziemi z. 2. Warszawa 1952.