

## Metoda de datare bazată pe radionuclidul Pb-210

### Pb-210 în natură

Pb-210 poate fi folosit pentru determinarea ratei de acumulare a sedimentelor în lacuri, oceane și alte ape. În aplicare tipică cu această metodă se poate determina rata de acumulare medie a sedimentelor pe o perioadă de 0-200 de ani. Din rata de acumulare se poate estima vârsta sedimentului de la o anumită adâncime în stratul sedimentar.

#### *Utilizarea Pb-210 în datarea sedimentelor*

Pb-210 este un element radioactiv natural ce face parte din seria U-238. La scara temporală de aplicabilitate a metodei timpul de înjumătățire al U-238 este atât de mare încât poate fi considerat infinit concentrația U-238 în sol putând fi considerată aproximativ constantă. Concentrația de U existentă depinde de locație, dar este omniprezentă în scoarța terestră. U-238 ( $T_{1/2} = 4.5 \cdot 10^9$  ani) se dezintegrează în U-234 ( $T_{1/2} = 248000$  ani) care la rândul lui se dezintegrează în Th-230 ( $T_{1/2} = 80.000$  ani) ce este urmat de Ra-226 ( $T_{1/2} = 1620$  ani). În general, în sol Ra-226 are aceeași activitate ca și U-238 din care provine, din cauza stabilirii echilibrului secular. Ca urmare, Ra-226 se găsește la rândul sau în scoarța terestră și în sol. În urma dezintegrării Ra-226 se produce Rn-222 ( $T_{1/2} = 3.8$  zile) care poate ajunge prin difuzie în atmosferă înainte de a se dezintegra în elementul radioactiv următor, dacă ia naștere în stratul superior al solului. Emanarea de Rn este un fenomen normal și produce un nivel scăzut dar perfect constant de Rn în atmosferă. După câteva zile petrecute în atmosferă Rn-222 se dezintegrează în Po-218, un radionuclid metalic, care într-o perioadă de zile/ore ajunge pe suprafața solului cu depunerea de praf și prin ploi. În urma unui număr de dezintegrări succesive de câteva minute este produs **Pb-210** ( $T_{1/2} = 22.3$  ani). Pb-210 care cade în lacuri sau oceane rămâne acumulat în sedimente timp de câteva luni și va fi fixat între particulele sedimentelor. După 2 ani Po-210, care rezultă din Pb-210, va fi în echilibru secular cu acesta. Po-210 este un element care emite particule alfa, care pot fi detectate și măsurate.

Radionuclizii proveniți din atmosferă sunt transportați prin coloana de apă în sedimentele de la baza lacurilor.

Activitatea totală a Pb-210 din sedimente are două componente: componenta radiogenică primară (*supported*  $^{210}\text{Pb}(\text{Pb}_s-210)$ ), care provine din dezintegrarea naturală a Ra-226 din sol și sediment și componenta radiogenică atmosferică (*unsupported*  $^{210}\text{Pb}(\text{Pb}_{us}-210)$ ) care

provine din fluxul atmosferic descendent. Componenta  $Pb_s-210$  este în echilibru radioactiv cu Ra-226 iar  $Pb_{us}-210$  este dat de scăderea  $Pb_s$ -lui din activitatea totală a Pb-210 măsurată. Activitatea ridicată de  $Pb_{us}-210$  a stratului superior de sediment este cauzată de plumbul recent depus din atmosferă. În straturi mai adânci, care au fost “îngropate” de depozitări mai recente de sediment, activitatea totală ( $C_{tot}$ ) este în concordanță cu legea:

$$C_{tot} = C_{uns}(0)e^{-\lambda t} + C_{sup}(1-e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

Unde  $C_{sup}$  este activitatea  $Pb_s-210$ ,  $\lambda$  este constanta de dezintegrare a Pb-210 și  $C_{tot}(0)$  este activitatea a Pb-210 a stratului cel mai adânc “îngropat” de sediment. La echilibru între activitatea Pb-210 și a Ra-226 se ajunge pentru un timp de 6-7 ori timpul de înjumătățire a Pb-210, ceea ce înseamnă 130-150 de ani.

Este important de reținut însă că în sedimentele cu concentrație mare de Ra-226 sau cu o concentrație inițială joasă de Pb-210 datarea nu este posibilă în sedimente mai vechi de 3-4 timpi de înjumătățire (60-90 ani) (pentru a fi peste limita de detecție). Nivelul în care diferența (activitatea plumbului și a radiului) dispăre în totalitate se poate numi  $^{210}Pb$  dating horizon (Nivel de datare).

Scriind:

$$C_{uns} = C_{tot} - C_{sup} \quad (2)$$

$C_{uns}$  satisface o simplă relație exponențială

$$C_{uns} = C_{uns}(0)e^{-\lambda t} \quad (3)$$

și deci activitatea inițială a sedimentului poate fi determinată, cu această ecuație și de aici putem calcula timpul  $t$  de la depunere.

#### *Modele teoretice aplicate la studiul proceselor de sedimentare*

Determinările depunerilor de Pb-210 arată că fluxul poate varia semnificativ pe termen scurt (zile sau luni), însă acest flux rămâne relativ uniform pe termen lung, ani sau chiar mai mult. Notând fluxul anual de Pb-210 cu  $P$  pentru sediment putem scrie:

$$P' = F_{Pb} \cdot (1 + \alpha \eta_{Pb}) P_{Pb} \quad (4)$$

unde  $\eta_{Pb}$  este parametrul de transport bazin hidrografic/lac pentru Pb-210 și  $F_{Pb}$  este raportul dintre Pb-210 din coloana de apă și din sediment.

### **Modelul CIC (Lacuri cu viteză de sedimentare constantă)**

În lacuri unde procesele de eroziune din bazinul hidrografic și procesele în coloana de apă sunt constante duc la rezultatul unei viteze de sedimentare constante. Se poate presupune că fiecare strat de sediment va avea aceeași cantitate de material și activitate de Pb-210 atmosferic în momentul sedimentării. Deci sedimentul de la o anumită adâncime  $m$  (depunerea uscată în  $g/cm^2$ ) va fi de vârstă:

$$t = \frac{m}{r} \quad (5)$$

unde  $r$  este viteza de sedimentare ( $g/cm^2 \cdot ani$ ), iar activitatea Pb-210 (atmosferic) va varia în cazul acesta cu adâncimea după formula:

$$C_{(m)} = C(0)e^{-\lambda m / r} \quad (6)$$

unde  $\lambda$  este constantă de dezintegrare pentru Pb-210 ( $0.03114 \text{ ani}^{-1}$ ) și

$$C(0) = P' / r \quad (7)$$

este activitatea Pb-210 atmosferic în partea superioară a coloanei de sediment. Când reprezentăm în scara logaritmică rezultatele obținute pentru Pb în funcție de adâncime profilul va fi liniar. Media vitezei de sedimentare  $r$  poate fi determinată din panta graficului folosind testul celor mai mici pătrate pentru a găsi cea mai bună fitare.

## Modelul CRS (Lacuri cu viteze de sedimentare variabile)

Luând în vedere ce schimbări au avut loc în ultimii 150 de ani, sunt evidente schimbări mari în procese de eroziune și în depunere de sedimente în medii lacustrine. Unde au avut loc aceste schimbări, depunerea Pb-ului atmosferic poate varia în funcție de adâncime în moduri complicate și profilul de Pb-210 în funcție de adâncime pe scara logaritmică devine nelineară.

Această nelinearitate poate avea următoarele cauze:

1. Dizolvarea plumbului depus din atmosfera de viteză mare de sedimentare
2. Variația gradului de concentrare a sedimentelor pe bazinul lacului
3. Întreruperea procesului normal de sedimentare
4. Amestecarea prin procese fizice chimice și biologice a sedimentului.

Pentru datări de încredere la fiecare caz trebuie identificat mecanismul dominant și la calcularea vârstei folosirea modelului adecvat.

Modelul CRS se folosește în cazuri când rata de sedimentare s-a modificat pe parcursul procesului din cauza unui factor amintit mai sus. În cadrul acestui model se presupun trei lucruri importante:

- a. rata de depunere a Pb-210 din atmosferă este constantă
- b. Pb-210 ajuns în apa lacului este rapid depozitat în sediment, deci Pb-210 care nu provine din dezintegrarea Ra-226 din sediment, provine în totalitate din depunerile atmosferice
- c. Pb-210 depus în sediment nu este influențat și redistribuit de procese post-depoziționale și se dezintegrează conform legii de dezintegrare.

Metodologia calculării prin această metodă au fost dezvoltate de Appleby&Oldfield (1978) și de Robbins (1978). Schimbările în rata de sedimentare cu trecerea timpului rezultă schimbări în concentrația Pb-210 depus pe bazinul lacului, în concordanța cu relația:

$$C(0) = P' / r \quad (8)$$

În acest caz datarea sedimentului nu se face cu ajutorul concentrației de Pb-210 din stratul respectiv, ci din distribuția a acestuia în coloana de sediment. După dezintegrare cantitatea rămasă de Pb-210 în sediment la momentul  $\tau$  din trecut, luând intervale de timp scurt este:

$$P e^{-\lambda \tau} d\tau \quad (9)$$

unde  $P$  este rata de depunere a Pb-210 din atmosfera (fluxul de Pb-210). Presupunând ca  $P$  este constant, Pb-210 prezent în sediment după un timp  $t$  este:

$$A = \int_t^{\infty} P e^{-\lambda \tau} d\tau = \frac{P}{\lambda} e^{-\lambda t} \quad (10)$$

Pb-210 rămas în întreaga coloană de sediment, se obține punând condiția  $t=0$  în ecuație de mai sus:

$$A(0) = \frac{P}{\lambda} \quad (11)$$

Din aceasta rezultă că:

$$A = A(0) e^{-\lambda t} \quad (12)$$

Valorile  $A$  și  $A(0)$  se pot calcula prin integrare numerică a concentrației în funcție de adâncime. Dacă  $m$  este adâncimea sedimentului cu vârsta  $t$ ,

$$A = \int_m^{\infty} C(m) dm \quad A(0) = \int_0^{\infty} C(m) dm \quad (13, 14)$$

Din aceste valori, vârsta sedimentului la adâncimea  $m$  este calculat folosind formula:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left( \frac{A(0)}{A} \right) \quad (15)$$

Din ecuația (3) și (8) pentru sedimentul cu vârsta  $t$  obținem rata de sedimentare:

$$r = \frac{P}{C} e^{-\lambda t} . \quad (16)$$

În timp ce:

$$P = \lambda A(0) = \lambda A e^{-\lambda t} , \quad (17)$$

rezultă că rata de sedimentare (materie uscată) în punctul  $t$  din trecut se poate calcula direct din formula:

$$r = \frac{\lambda A}{C} . \quad (18)$$

Acesta se poate calcula ca masă acumulată pe unitate de timp între straturile vecine.