

МАТЕМАТИЧНА МЕТОДИКА ВСТАНОВЛЕННЯ ВІКУ АНТРОПОГЕНОВИХ ВІДКЛАДІВ

С. К. Прилипко

кандидат геологічних наук

Інститут геологічних наук НАН України, 01054, м. Київ, вул. О. Гончара 55-б

С. І. Альперт

кандидат технічних наук

Національний авіаційний університет, 03058, м. Київ, проспект Любомира Гузара, 1

У даній роботі розглянуто термолюмінесцентний метод (TL-метод), який застосовується для визначення віку четвертинних відкладів. Було підкреслено, що TL-метод базується на вимірюванні енергії розпаду природних радіонуклідів, які присутні у породі. Також було запропоновано математичну формулу для визначення вікового параметра.

Ключові слова: термолюмінесцентний метод, палеодозиметри, четвертинні відклади, віковий параметр.

MATHEMATICAL METHOD OF DETERMINING THE AGE OF ANTHROPOGENIC SEDIMENTS

S. K. Prylypko

Candidate of Geological sciences

S. I. Alpert

candidate of technical sciences

National Aviation University, 03058, Ukraine, Kyiv, 1, Liubomyra Huzara ave

Однією із важливих та актуальних задач геохронології є визначення віку та послідовності накопичення осадових порід.

Термолюмінесцентне датування – це потужний інструмент для визначення віку четвертинних відкладів, що базується на вимірюванні кількості енергії, яка випромінюється у вигляді світла, що накопичується у ґрунтах та осадових породах [1]. Даний метод був вперше запропонований хіміком Д. Фаррінгтон у 1950-х роках. В Україні термолюмінесцентний метод розроблявся та впроваджувався вченими Г. В. Морозовим та В. М. Шовкоплясом. TL- датування базується на тому, що термолюмінесценція у мінералах виникає під дією фонові радіації, а її розмір пропорційний потужності дози радіоактивації кристалів та тривалості її дії. Метод визначення відносного та “абсолютного” віку четвертинних відкладів ґрунтується на властивостях кристалів кварцу

накопичувати енергію радіоактивного розпаду радіонуклідів, присутніх в породі і потім під дією температурного впливу випромінювати її у вигляді світлового потоку. Знаючи швидкість накопичення енергії (світлосуми) за одиницю часу при незмінній природній радіоактивності можна встановити вік зразка в роках, який реєструють по інтенсивності піку цієї кривої або у вигляді площі під кривою теплового випромінювання [4]. Далі ділимо кількість накопиченої енергії на фонову радіоактивність породи чи осаду. Потім обчислюємо значення, що характеризує вік досліджуваного зразка. При цьому більш давні четвертинні відклади мають більші індекси віку, а молодші мають менші індекси віку. При цьому палеодозиметр може накопичувати та зберігати вікову інформацію протягом тривалого часу. Вік відкладів визначається як відношення еквівалентної дози до річної потужності дози. Еквівалентна доза вимірює загальне опромінення радіоактивністю, що отримана зразком за час перебування у породі. Потужність дози – річна швидкість опромінення [2].

Метою даної роботи є внесок у розрахунки віку відкладів різних факторів, таких як: вплив альфа, бета та гамма-випромінювання на формування прогенетичної світлосуми в породі, нівеляції радіоактивності під впливом зовнішніх факторів, пов'язаних із вологістю, сонячною радіацією, температурним режимом та привнесенням радіоактивних елементів у ґрунт. Слід зазначити, що результати даного дослідження можуть бути застосовані для геохронологічного розчленування четвертинних відкладів, їх стратифікації та кореляції. У даній роботі було запропоновано математичний підхід до визначення віку четвертинних відкладів термolumінесцентним методом.

Одним із найбільш важливих та складних завдань при визначенні віку четвертинних відкладів TL-методом є обчислення параметра віку – T , який прямо пропорційний часу формування відкладів.

$$\text{Віковий параметр: } T = \frac{D}{P},$$

де T – час,

D – доза, що накопичена зразком,

P – річна доза.

Альфа, бета та гамма-випромінювання радіонуклідів протягом усього періоду захоронення відкладів утворюють структурні дефекти з постійною швидкістю – $V_{\alpha,\beta,\gamma}$, що можуть випромінювати при нагріванні кванти світла [3, 5].

Швидкість утворення радіаційних дефектів:

$$V_{\alpha,\beta,\gamma} = \beta \cdot E, \tag{1}$$

β – дозова чутливість мінералу,

E – потужність експозиційної дози альфа, бета та гамма-випромінювання.

Швидкість анігіляції є пропорційною n – концентрації електронів у кварці у конкретний момент часу:

$$V_A = k \cdot n, \quad (2)$$

де V_A – швидкість анігіляції, k – константа швидкості анігіляції локалізованих електронів (коефіцієнт пропорційності).

Швидкість утворення радіаційних дефектів $V_{\alpha,\beta,\gamma}$ дорівнює швидкості їх анігіляції: $V_{\alpha,\beta,\gamma} = V_A$. (3)

Із формул (1) та (2) випливає наступна рівність (4):

$$\beta \cdot E = k \cdot n. \quad (4)$$

Зауважимо, що у випадку насичення швидкість утворення радіаційних дефектів дорівнює швидкості їх анігіляції.

При насиченні концентрація локалізованих електронів буде позначатися через N , тобто:

$$\beta \cdot E = k \cdot N. \quad (5)$$

Константа швидкості накопичення буде розраховуватися за наступною формулою:

$$k = \frac{\beta \cdot E}{N}. \quad (6)$$

Оскільки n – концентрація локалізованих електронів у кварці, швидкість зміни концентрації локалізованих електронів буде дорівнювати першій похідній від концентрації локалізованих електронів $\frac{dn}{dt}$ та буде розраховуватися як різниця швидкості утворення радіаційних дефектів в об'ємі та швидкості їх анігіляції: $\frac{dn}{dt} = V_{\alpha,\beta,\gamma} - V_A = \beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n$. (7)

Далі розв'язуємо диференціальне рівняння першого порядку із відокремленими змінними: $\frac{dn}{\beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n} = dT$.

$$T = \int \frac{dn}{\beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n} = \left| \frac{\beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n = z}{dn = \frac{N}{\beta \cdot E} dz} \right| = \int \frac{N}{\beta \cdot E} \cdot \frac{1}{z} dz = \frac{N}{\beta \cdot E} \ln \left| \beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n \right|. \quad (8)$$

При цьому верхня границя інтегралу n_0 – це накопичена концентрація локалізованих електронів (центрів світіння), а нижня границя інтегралу $n_{\min}$ – це залишкова концентрація електронів після відбілювання. Отримуємо формулу для визначення вікового параметру T :

$$T = \frac{N}{\beta \cdot E} \left[\ln \left(\beta \cdot E - \beta \cdot E \cdot \frac{n_{\min}}{N} \right) - \ln \left(\beta \cdot E - \beta \cdot E \cdot \frac{n_0}{N} \right) \right] = \frac{N}{\beta \cdot E} \ln \frac{1 - \frac{n_{\min}}{N}}{1 - \frac{n_0}{N}}. \quad (9)$$

Висновок. Отже, у даній роботі було розглянуті основні теоретичні положення TL-методу, що використовується для визначення віку різноманітних мінералів та гірських порід. Також було запропоновано формулу для розрахунку вікового параметра T , використовуючи річну дозу, швидкість анігіляції та швидкість утворення радіаційних дефектів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Durcan J. A., King G. E., Duller G. A. T. DRAC: Dose Rate and Age Calculator for trapped charge dating. *Quaternary Geochronology*. 2015. № 28. P. 54-61.
2. Gozhik P., Komar M., Łanczont M., Fedorowicz S., Bogucki A., Mroczek P., Prylypko S., Kusiak J. Paleoenvironmental history of the Middle Dnieper Area from the Dnieper to Weichselian Glaciation: A case study of the Maksymivka loess profile. *Quaternary International*. 2014. P. 334-335.
3. Kitis G., Pagonis V. Localized transition models in luminescence: A reappraisal. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 2018. № 432. P. 13-19. DOI: 10.1016/j.nimb.2018.06.029.
4. Konstantinidis P. G., Polymeris G. S., Tsoutsoumanos E., Kitis G. Optimization of an experimental TL protocol for discriminating the recombination pathways. *Applied Radiation and Isotopes*. 2024. № 203, 111106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2023.111106>.
5. Yukihiro E. G. TL and OSL as research tools in luminescence: Possibilities and limitations. *Ceramics International*. 2023. Vol. 49(14). P. 24356-24369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.10.199>.