

Andrzej BLUSZCZ

Instytut Fizyki Politechniki Śląskiej  
w Gliwicach

## PODSTAWY DATOWANIA OSADÓW METODĄ TERMOLUMINESCENCJI

**Streszczenie.** Pierwotna idea wykorzystania zjawiska termoluminescencji do datowania formacji geologicznych doczekała się przetworzenia i realizacji w postaci metody datowania ceramiki z wykopalisk archeologicznych. Sukcesy tej metody zwróciły uwagę na datowanie termoluminescencyjne osadów czwartorzędowych. Pierwsze próby datowania termoluminescencyjnego osadów czwartorzędowych podjęli Schelkopylas i Morozov z Kijowa; później do badań przystąpiło kilkanaście ośrodków, w tym również i w Polsce. Dotychczasowe rezultaty wskazują na znaczne możliwości metody datowania termoluminescencyjnego w ustalaniu chronologii osadów. Występuje jednak szereg problemów, których wyjaśnienie jest konieczne przed uznaniem jej za metodę standardową. Artykuł omawia krótko rys historyczny metody, a następnie podstawy zjawiska termoluminescencji, założenia metody datowania, różne stosowane techniki pomiarowe oraz dokładność uzyskiwanych wyników.

### 1. WSTĘP

Wczesne zastosowania termoluminescencji w geologii związane były z poszukiwaniami i rozpoznawaniem złóż minerałów - zwłaszcza bogatych w uran, a podejmowane w latach 50 próby datowania formacji geologicznych (Mc Dougall, ed., 1968), z powodu mnożących się trudności, zostały zaniechane. Około 1960 roku wskazano na możliwość datowania nie tak starych znalezisk archeologicznych. W ciągu dekady lat sześćdziesiątych datowanie termoluminescencyjne ceramiki osiągnęło pozycję standardowej i powszechnie uznanej metody (Felming, 1979). Sukcesy te ponownie skierowały zainteresowanie na datowanie formacji geologicznych. Pierwsze próby datowania osadów czwartorzędowych podjęto w Instytucie Geologii Ukraińskiej Akademii Nauk w Kijowie w latach sześćdziesiątych (Schelkopylas, Morozov, 1965), w drugiej połowie lat siedemdziesiątych do tych prac włączyły się także inne ośrodki.

W chwili obecnej na potrzeby geologii czwartorzędu pracuje na świecie około dziesięciu laboratoriów wykonujących datowania termoluminescencyjne osadów. Stan tej metody stosowanej do osadów czwartorzędowych oceniany jest jednak krytycznie (Dreimanis et al. 1978, Wintle, Huntley, 1982) i

przed rozwiązaniem szeregu podstawowych problemów nie będzie jej można uznawać za metodę standardową i dającą całkowicie pewne wyniki.

## 2. PODSTAWY DATOWANIA TERMOLUMINESCENCYJNEGO

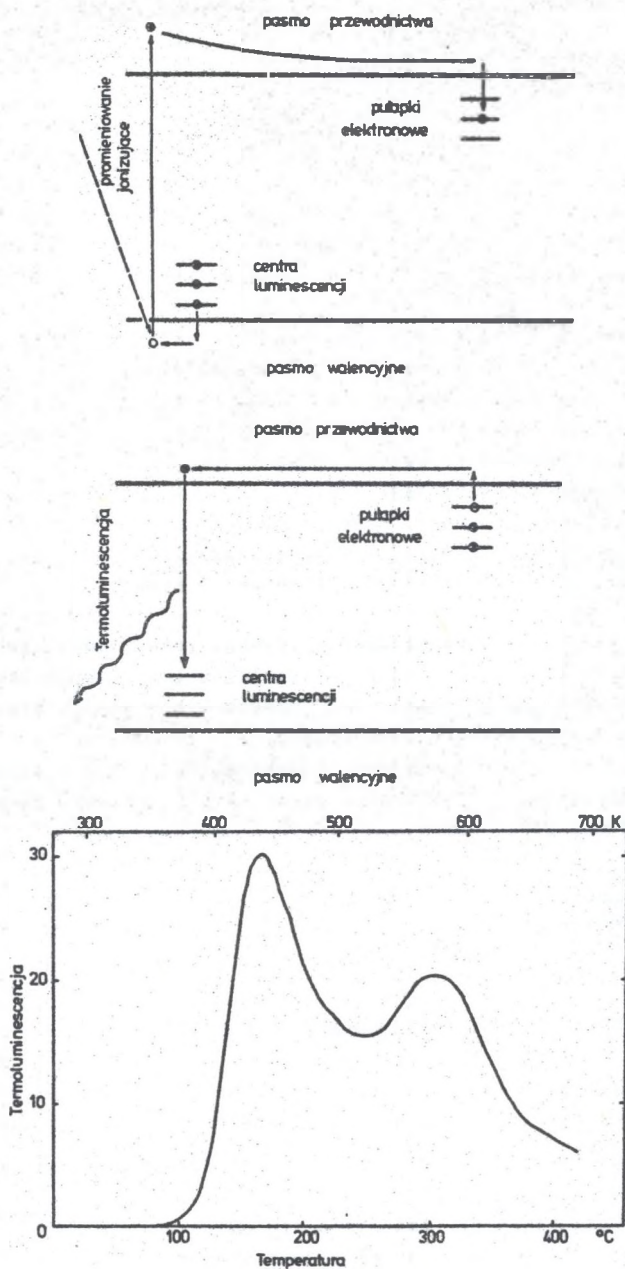
Promieniowanie jonizujące naturalnych radioizotopów uranu, toru i produktów ich rozpadu i potasu ( $^{40}\text{K}$ ) zawartych w niewielkich ilościach we wszystkich osadach (oraz promieniowanie kosmiczne) jest pochłaniane przez ziarna minerałów, takich jak kwarc czy szpaty, wchodzących w skład tych osadów. Większość pochłanianej energii jest rozpraszana w postaci ciepła, część jednak jest zużywana przez elektrony na przejściu z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa (rys. 2.1a). Elektrony te mogą przemieszczać się w obrębie całej sieci krystalicznej. Większość z nich niemal natychmiast rekombinuje, tzn. powraca do pasma walencyjnego, ale pewna niewielka część kontynuuje wędrówkę po kryształach. Ostatecznie te właśnie elektrony, napotykać defekty sieci krystalicznej w postaci wakansów lub jonów domieszek zostają związane lub "spużapkowane". Ilość spużapkowanych elektronów jest proporcjonalna do energii pochłoniętego przez kryształ promieniowania. Wraz z upływem czasu energia zmagazynowana przez te spużapkowane elektrony wzrasta. Przy podgrzaniu kryształu do temperatury około 800 K (500°C) elektrony te są uwalniane. Powstałe swobodne elektrony przemieszczając się w sieci krystalicznej mogą swoją energię przekształcić w drgania cieplne sieci lub rekombinując w centrach luminescencyjnych wyemitować ją w postaci światła (rys. 2.1b). Tę właśnie emisję światła nazywa się termoluminescencją TL (rys. 2.1c).

Właściwość minerałów polegająca na wykazywaniu zjawiska termoluminescencji po pochłonięciu energii promieniowania jonizującego jest szeroko wykorzystywana w dozymetrii termoluminescencyjnej do pomiaru ilości pochłoniętej energii. Zupełnie tak samo można traktować ziarna kwarcu występujące w osadach i uważać je za dozymetr (co prawda o bardzo małej czułości<sup>x)</sup>) zbierający termoluminescencję przez czas rzędu dziesiątków i setek tysięcy lat.

Wyznaczenie wieku metodą termoluminescencji można podzielić na dwa etapy: 1<sup>o</sup> wyznaczenie dawki geologicznej i 2<sup>o</sup> wyznaczenie dawki rocznej, zgodnie z następującym wzorem:

$$\text{wiek} = \frac{\text{dawka geologiczna}}{\text{dawka roczna}} \quad (2.1)$$

<sup>x)</sup> W porównaniu z dozymetrami używanymi w radioterapii i ochronie radiologicznej kwarc ma czułość mniej więcej pięć rzędów wielkości mniejszą.



Rys. 2.1,

a - gromadzenie elektronów w stanach pułapkowych w wyniku oddziaływania promieniowania jonizującego, b - uwalnianie elektronów z pułapek w czasie podgrzewania kryształu i rekombinacja w centrach luminescencji, c - przykład krzywej termoluminescencji - świecenie próbki w czasie podgrzewania ze stałą szybkością

Dawka pochłonięta promieniowania, mierzona w grejach, równa jest waraźonej w dżulach energii pochłoniętej w kilogramie substancji:  $1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg}}$ . Używana jest również od dawna inna jednostka dawki, mianowicie  $1 \text{ rad} = \frac{100 \text{ erg}}{1 \text{ g}} = 10^{-2} \text{ Gy}$ . Dawka roczna, a właściwie moc dawki, jest to dawka pochłaniana przez ziarna w ciągu jednego roku. Wyraża się ją w  $\frac{\text{Gy}}{\text{rok}}$ . W naturalnych warunkach izotopy promieniotwórcze zawarte w osadach wywołują dawkę roczną w granicach 1-10 mGy/rok (0,1 - 1 rad/rok), co po czasie 100 tys. lat daje dawkę całkowitą równą kilkuset Gy (kilkudziesięciu krad).

Dawkę roczną określa się przez pomiar koncentracji izotopów promieniotwórczych w osadzie lub dozymetrami termoluminescencyjnymi o dużej czułości. Natomiast dawkę geologiczną wyznacza się mierząc termoluminescencję naturalną ziaren minerałów zawartych w osadzie - NTL i porównując ją następnie z termoluminescencją wywołaną przez napromieniowanie ziaren w warunkach laboratoryjnych dawką jednostkową (1Gy).

$$\text{dawka geologiczna} = \frac{\text{naturalna termoluminescencja}}{\text{termoluminescencja na grej}} \quad (2.2)$$

W praktyce nie stosuje się naświetlania dawką jednostkową, lecz dobiera się wielkość dawki laboratoryjnej  $D$  (a ściślej kilku różnych dawek  $D_1$ ) w zależności od stosowanej metodyki oraz znanych lub zakładanych własności dozymetrycznych ziaren badanego minerału.

Przyjmijmy, że dawka laboratoryjna  $D$  [Gy] wywołuje termoluminescencję  $TL(D)$ , a termoluminescencja naturalna wynosi  $NTL^x$ . Wtedy dawka geologiczna  $ED$  określona jest wzorem:

$$ED \text{ [Gy]} = \frac{NTL}{\frac{TL(D)}{D \text{ [Gy]}}} \quad (2.3)$$

### 3. ZAŁOŻENIA METODY DATOWANIA TERMOLUMINESCENCYJNEGO

Przedstawiony w poprzednim rozdziale schemat wyznaczania wieku może dawać poprawne wyniki tylko pod warunkiem spełnienia pewnych założeń:

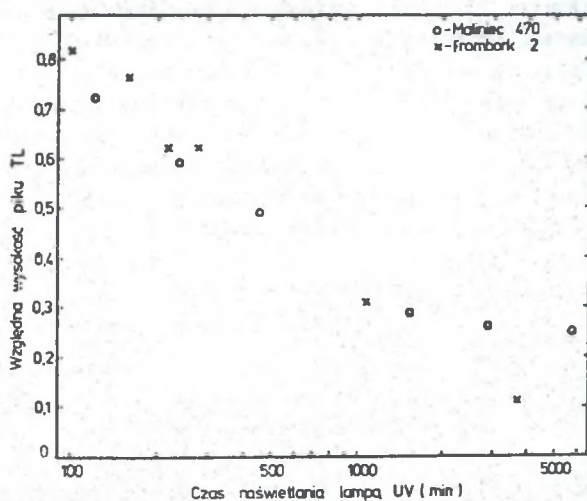
- 1° W czasie tworzenia się osadu jest zerowana termoluminescencja badanej frakcji ziaren minerałów.
- 2° W całej historii osadu nie zmieniała się dawka roczna.
- 3° Termoluminescencja ziaren minerałów jest proporcjonalna do wielkości pochłoniętej dawki.

<sup>x)</sup> Termoluminescencji najczęściej nie mierzy się w jednostkach bezwzględnych (np. energetycznych), a w dowolnych jednostkach względnych, ustalanych w zależności od konkretnego sposobu jej pomiaru.

4<sup>o</sup> W okresie istnienia osadu termoluminescencja ziaren minerałów była stabilna (nie ulegała samorzutnemu zanikowi).

Są to założenia ogólne i właściwie na każde z nich składa się szereg założeń i warunków bardziej szczegółowych. Zostaną one teraz szerzej omówione.

Ad 1<sup>o</sup> Jest rzeczą dość oczywistą, że by można wyznaczyć dawkę geologiczną z równania (2.2), ziarna minerałów nie powinny mieć żadnej TL w chwili powstawania osadu. Dla minerałów, które krystalizują w czasie powstawania osadu, jest to założenie spełnione. Jednak dla większości osadów lądowych minerały wchodzą w ich skład mając za sobą długą historię geologiczną i zdążyły zebrać już pewną termoluminescencję. Z drugiej strony fakty doświadczalne wskazują, że TL mierzona dla różnych poziomów profilu osadowego rośnie wraz z głębokością, a więc i z wiekiem osadu od dość małych wartości dla warstw najmłodszych do bardzo dużych dla głębokich warstw. Wynika z tego, że w czasie tworzenia się osadu występują jakieś mechanizmy "wymazujące" wcześniejszą termoluminescencję lub redukującą ją do małej wartości. Zaproponowano kilka takich mechanizmów (Wintle Huntley, 1982; Schelkopylas, Morozov, 1965). Za największe i najlepiej poparte faktami doświadczalnymi uważa się działanie widzialnego i ultrafioletowego promieniowania słonecznego na ziarna minerałów w czasie wietrzenia i transportu do miejsca depozycji. Stwierdzono, że wystawienie ziaren na działanie słońca lub lamp imitujących promieniowanie słoneczne zmniejsza termoluminescencję w ciągu paru dni do kilku-kilkunastu % oraz że dalsze przedłużanie tego działania nie ma już praktycznie żadnych skutków.



Rys. 3.1. Zmniejszanie termoluminescencji ziaren kwarcu o granulacji  $\approx 50 \mu\text{m}$  z próbek Maliniec 470 i Frombork 1 pod wpływem promieniowania ultrafioletowego lampy HQV-125 W

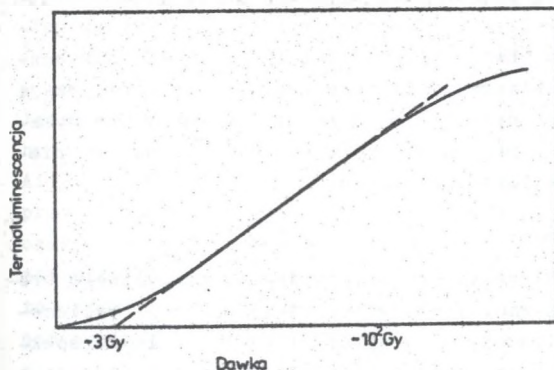
Za inne potencjalne czynniki zmniejszające TL uważa się: mechaniczne kruszenie i rozdrabnianie ziaren, lokalne podgrzewanie przez słońce, ciśnienie statyczne i czynniki chemiczne. W warunkach laboratoryjnych stwierdza się zmniejszanie TL jako skutek kruszenia i rozdrabniania ziaren (Wintle, Huntley, 1982; Prószyński, 1981). Nie jest on jednak zbyt wielki. Co do pozostałych, to brak jednoznacznych argumentów wskazujących na znaczenie któregośkolwiek z nich.

Założenie 1<sup>o</sup> rozumie się zatem jako zmniejszenie TL w czasie tworzenia osadu do resztkowych wartości, które nie mają większego znaczenia dla osadów starych - o wieku rzędu kilkudziesięciu lub paruset tysięcy lat - a dla młodszych wprowadzają pewien błąd systematyczny, który, jak można się spodziewać, jest rzędu 1-10 tys. lat. Jeżeli założyć, że termoluminescencja resztkowa jest tą, której nie wymazuje światło, to błąd ten można wyznaczać metodami omówionymi w rozdziale 4.

Ad 2<sup>o</sup> Dawkę roczną wyznacza się na podstawie współczesnych pomiarów koncentracji pierwiastków promieniotwórczych w osadzie. Przyjmuje się przy tym, że izotopy w łańcuchach uranu i toru są w równowadze promieniotwórczej i uwzględnia się, jeżeli jest znana, średnioroczną wilgotność osadu. Bowiem zarówno brak równowagi promieniotwórczej, jak i ilość wody mają wpływ na wielkość dawki pochłanianej przez ziarna minerałów. Woda absorbuje sama część energii promieniowania i zmniejsza dawkę ziaren. Zmiany wilgotności osadu w ciągu roku i w dłuższych okresach czasu mają zatem wpływ na średnią dawkę roczną. Znajomość wilgotności i jej zmian w przeszłości umożliwia wprowadzenie pewnych poprawek do obliczeń. Brak równowagi promieniotwórczej w łańcuchach uranu i toru wynikać może z ucieczki radonu lub z transportu łatwo rozpuszczalnych związków uranu wraz z wodami przesączającymi się przez osad. W warunkach dość jednorodnych warstw osadu pierwszy z czynników nie powinien odgrywać większej roli. Transport uranu wraz z wodą prowadzi natomiast do powstawania nadwyżek samego uranu, bez towarzyszących mu równowagowych ilości produktów rozpadu, zwłaszcza w osadach bogatych we frakcje organiczne. Stwierdzenie braku równowagi wymaga dodatkowych precyzyjnych pomiarów, a wykorzystanie ich wyników do korekcji obliczeń dawki rocznej uwarunkowane jest znajomością mechanizmu powstawania nierównowagi promieniotwórczej w przeszłości. Założenie 2<sup>o</sup> jest więc w pewnych warunkach uproszczeniem rzeczywistej sytuacji. Nakłada to ograniczenia na dokładność otrzymywanych wyników.

Ad 3<sup>o</sup> Jak wykazują doświadczenia, założenie o liniowym wsroście TL wraz z wielkością pochłoniętej dawki promieniowania jest dobrze spełnione z wyjątkiem zakresu bardzo małych i bardzo dużych dawek (patrz rys. 3.2). W obu tych zakresach obserwuje się zanitą i zmienną czułość TL w porównaniu z zakresem liniowego wzrostu TL. W zakresie dawek od zera do około 3 Gy (300 rad) obserwuje się dla kwarcu (Fleming, 1979) stopniowy wzrost czułości aż do wartości właściwej zakresowi liniowemu. Efekt ten zanita wielkość dawki geologicznej liczonej ze wzoru (2.2) i może mieć znaczenie

dla młodszych próbek osadów. Z kolei dla dużych dawek czułość TL stopniowo maleje prowadząc do efektu zwanego nasyceniem termoluminescencji. Wiel-



Rys. 3.2. Termoluminescencja jako funkcja dawki pochłoniętej promieniowania jonizującego

kość dawki granicznej, od której zaczyna się zakres nieliniowy jest różna dla różnych minerałów, zależy też od ich pochodzenia. Zwykle zakres nieliniowy zaczyna się przy dawkach 100–200 Gy (kilkanaście krad), niekiedy dopiero powyżej ok. 1000 Gy (100 krad). Nasycenie termoluminescencji występujące dla starych osadów prowadzi do zawyżenia dawki geologicznej. Efekt ten jednocześnie może praktycznie ograniczać przedział wieku dostępny dla datowania termoluminescencyjnego.

Ad 4<sup>o</sup> O stabilności TL w długim okresie czasu decyduje struktura energetyczna pułapek elektronowych oraz temperatura otoczenia. W kwarcu, w pułapkach związanych z pikiem TL – 598 K (325°C) i w temperaturze otoczenia 291 K (18°C) elektrony przebywają średnio  $4 \times 10^7$  lat, a w pułapkach związanych z pikiem TL – 648 K (375°C) co najmniej  $10^8$  lat (Fleming, 1979; Dawid et al., 1982). Czas ten maleje wraz ze wzrostem temperatury otoczenia:

$$\tau \sim \exp\left(\frac{A}{T_0}\right).$$

W normalnych warunkach powinien być on zatem wystarczający do datowania TL z dostateczną dokładnością w zakresie do 1 mln lat.

Ostatnie założenie ogranicza metodę datowania termoluminescencyjnego w najmniejszym stopniu.

#### 4. TECHNIKI POMIAROWE W DATOWANIU TL

Wiek metodą TL wyznacza się dzieląc dawkę geologiczną przez dawkę roczną (porównaj równ. 2.1). Przy czym do wyznaczenia pierwszej z tych wielkości korzysta się z pomiarów TL minerałów wypreparowanych z osadów. Natomiast drugą wielkość wyznacza się praktycznie na kilka sposobów w oddzielnych pomiarach.

#### 4.1. Wyznaczanie dawki rocznej

Dawkę roczną wyznacza się metodami pośrednimi lub bezpośrednimi. Metody pośrednie polegają na obliczeniu dawki rocznej na podstawie zmierzonych koncentracji radioizotopów w osadzie. Uwzględnić przy tym należy wilgotność osadu i odstępstwo od stanu równowagi promieniotwórczej. Metody bezpośrednie korzystają z dozymetrów termoluminescencyjnych, ale ograniczają się do wyznaczenia bezpośredniego dawki promieniowania  $\gamma$  i  $\beta$ . Nie wymagają przy tym założeń co do stanu równowagi promieniotwórczej, a w niektórych wypadkach i znajomości wilgotności osadu.

##### 4.1.1. Metoda spektrometrii gamma

Jest to metoda pośrednia i polega na analizie widma energetycznego promieniowania  $\gamma$  emitowanego przez radioizotopy zawarte w próbce i wyliczenia na tej podstawie ich koncentracji. Przy użyciu konwencjonalnych spektrometrów scyntylicyjnych o małej zdolności rozdzielczej widmo to jest rozmyte i koncentracje radioizotopów określa się przy pewnych dodatkowych założeniach (por. Rabsztyń et al., 1979; Kwaśniewicz et al., 1979). Można również użyć spektrometru z detektorem germanowym o wysokiej zdolności rozdzielczej pozwalającym na rozróżnienie w widmie poszczególnych izotopów. Metoda ta jest bardzo precyzyjna i daje jednocześnie informacje o występowaniu lub braku stanu równowagi promieniotwórczej.

##### 4.1.2. Metoda scyntytacji $\alpha$

Jest metodą pośrednią i polega na zliczaniu scyntytacji wywołanych cząstkami  $\alpha$  emitowanymi z próbki osadu. Na podstawie szybkości zliczeń scyntytacji  $\alpha$  i przy dodatkowych założeniach o stosunku koncentracji U/Th i o równowadze promieniotwórczej wyznacza się koncentracje poszczególnych radioizotopów z łańcuchów uranu i toru (Fleming, 1979).

##### 4.1.3. Metoda fotometrii płomieniowej

Jest metodą pośrednią i służy do wyznaczenia koncentracji  $^{40}\text{K}$  w osadzie. Stosuje się ją wspólnie z metodą scyntytacji  $\alpha$ .

##### 4.1.4. Metoda spektrometrii $\alpha$

Jest metodą pośrednią, bardziej precyzyjną niż metoda scyntytacji  $\alpha$ . W odróżnieniu do niej pozwala na analizę widma energetycznego cząstek  $\alpha$  emitowanych przez niektóre izotopy łańcuchów uranu i toru. Na podstawie analizy widmowej można wyznaczyć koncentracje poszczególnych radioizotopów oraz stwierdzić odchylenia od stanu równowagi promieniotwórczej (por. Liritzis, Galloway, 1982b; el - Daushy, 1981). Musi być uzupełniona metodą fotometrii płomieniowej potasu.

##### 4.1.5. Metoda zapóźnionych koincydencji $\alpha$

Jest metodą pośrednią polegającą na analizie czasowego rozkładu scyntytacji  $\alpha$  (Fleming, 1979; Huntley, Wintle, 1981). W porównaniu z metodą



scyntylacji  $\alpha$  nie wymaga założenia stosunku U/Th i pozwala na ocenę stopnia odstępstwa od równowagi promieniotwórczej. Jest mniej precyzyjna od metody spektrometrii  $\alpha$  i tak jak i ona wymaga uzupełnienia metodą fotometrii płomieniowej potasu.

#### 4.1.6. Metody TL-D dozymetrii termoluminescencyjnej

Są metodami bezpośrednimi i polegają na wyznaczeniu dawek rocznych w terenie, w warstwie w której pobrano próbkę lub w warunkach laboratoryjnych w próbce osadu o znacznej masie (Aitken, 1969; Mejdahl 1972; Bailiff, Aitken, 1980; Liritzis, Galloway, 1982a). Używa się w tym celu specjalnie przygotowanych dozymetrów o dużej czułości. Możliwy jest wtedy pomiar całkowitej dawki rocznej promieniowania  $\beta$  i  $\gamma$ , co jest wystarczające w metodzie wtrąceń kwarcowych (Fleming, 1970). Jeżeli pomiar trwa cały rok, to zbędne staje się uwzględnianie sezonowych wahań wilgotności. Podobne pomiary można przeprowadzić w laboratorium dysponując próbką o dużej masie, w której umieszcza się przygotowane dozymetry. Można wyznaczyć w ten sposób całkowite dawki  $\gamma$  i  $\beta$ . Należy jednak uwzględnić w tym wypadku poprawki na skończone rozmiary próbki oraz na wilgotność osadu. W przypadku bezpośredniego pomiaru metodą TL-D dawki  $\gamma$  i  $\beta$  lub tylko  $\gamma$  można pośrednio wyznaczyć dawki pozostałych rodzajów promieniowania (tzn.  $\alpha$  lub  $\beta$  i  $\alpha$ ) przy uczynieniu dodatkowych założeń o koncentracjach uranu, toru i potasu.

#### 4.2. Wyznaczanie dawki geologicznej

Przy wyznaczaniu dawki geologicznej mierzy się termoluminescencję wy-preparowanych w odpowiedni sposób ziaren minerałów (Wintle, Huntley, 1982; Hütt et al., 1977; Prószyński, 1981). W praktyce używa się albo ziaren kwarcu o granulacji  $\sim 100 \mu\text{m}$  (metoda wtrąceń kwarcowych - Fleming, 1970), albo ziaren polimeralnych o granulacji kilku  $\mu\text{m}$  (metoda drobnoziarnista - Zimmerman, 1971). Z dozymetrycznego punktu widzenia dwie te metody różnią się czułością używanych ziaren na promieniowanie  $\alpha$ . Metoda wtrąceń kwarcowych jest praktycznie nieczuła na promieniowanie  $\alpha$  w odróżnieniu od drobnoziarnistej czułej na wszystkie rodzaje promieniowania (choć nie w jednakowym stopniu, co jest źródłem dodatkowych komplikacji).

##### 4.2.1. Metoda addytywna

Addytywna metoda wyznaczania dawki geologicznej polega na dodaniu w warunkach laboratoryjnych do dawki geologicznej pochłoniętej przez ziarna dawek  $\beta$  lub  $\gamma$  w określonych wartościach oraz na pomiarze termoluminescencji naturalnej NTL oraz termoluminescencji NTL + D ziaren, które otrzymały dodatkowe dawki (por. Wintle, 1978). Następnie ekstrapoluje się wstecz liniową zależność TL od dawki pochłoniętej i dla zerowej wartości TL odczytuje się dawkę geologiczną (rys. 4.2a,c).

#### 4.2.2. Metoda odtworzeniowa

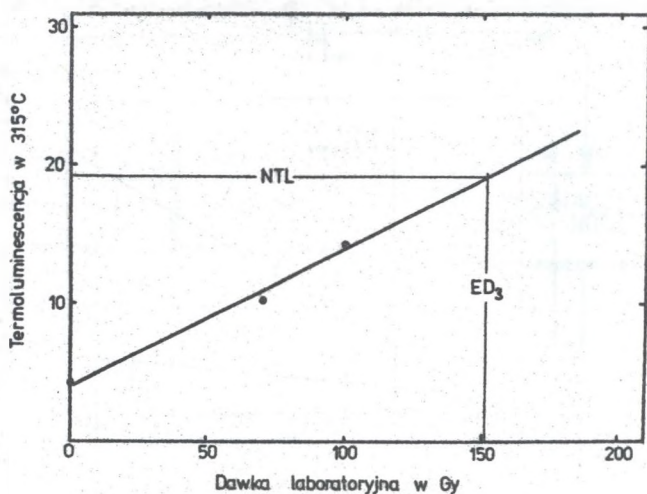
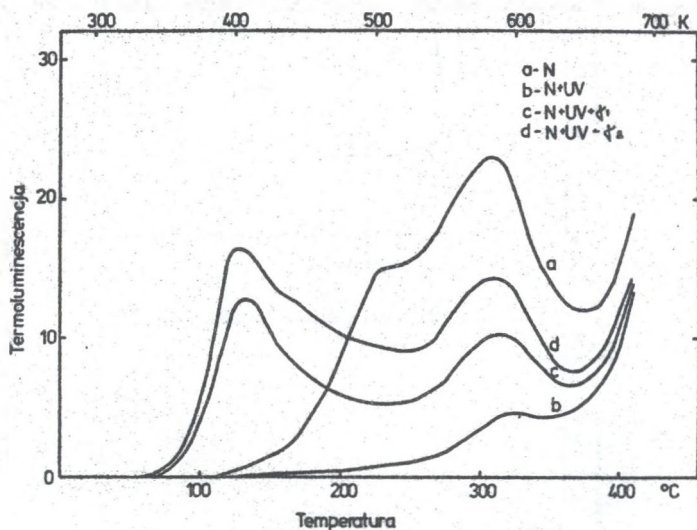
Ponieważ metoda addytywna nie uwzględnia faktu, że minerały wchodzą w osad z pewną resztkową termoluminescencją, opracowano metodę odtworzeniową (Wintle, Huntley, 1980). Polega ona na poddaniu ziaren minerałów działaniu promieniowania słońca lub specjalnych lamp, które wymazuje TL do poziomu resztkowego, a następnie nałożeniu dawek  $\beta$  lub  $\gamma$ . Dawka geologiczna jest równa takiej z dawek nałożonych na resztkową TL, która odtwarza wielkość termoluminescencji naturalnej. Zakłada się przy tym dodatkowo, że promieniowanie wymazujące TL nie zmienia czułości minerałów (rys. 4.1a,b).

#### 4.2.3. Metoda R- $\Gamma$

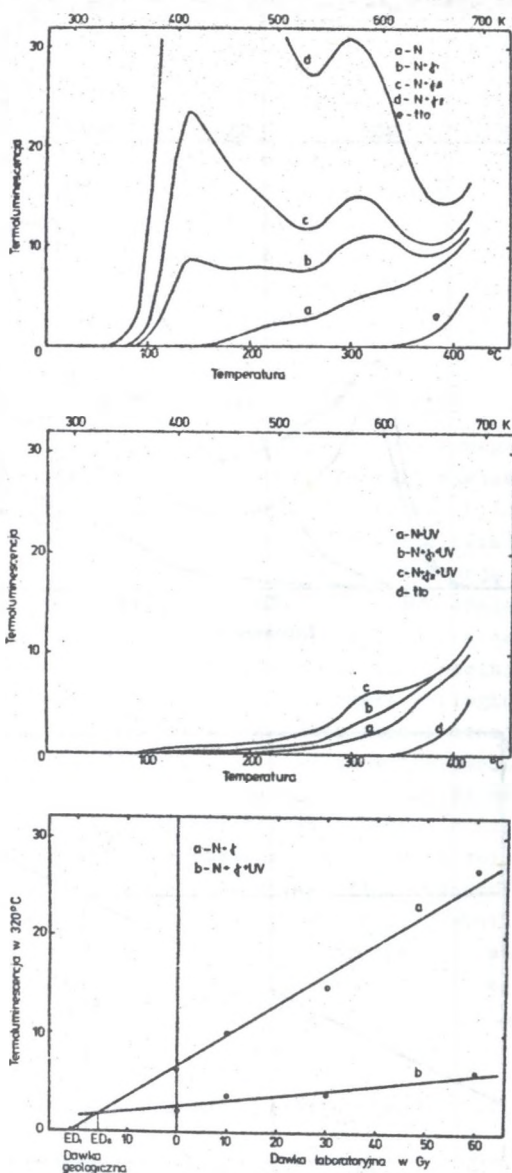
Metoda ta jest rozwinięciem poprzedniej i nie wymaga założenia o niezmienną czułości minerałów wskutek działania światła (Wintle, Huntley, 1980). Polega na dodaniu do dawki geologicznej dawek laboratoryjnych o określonych wartościach. Tak przygotowane próbki minerałów dzieli się na dwie części. Dla jednych mierzy się termoluminescencję w funkcji dawki pochłoniętej jak w metodzie addytywnej. Pozostałe poddaje się działaniu promieniowania wymazującego TL i mierzy się termoluminescencję resztkową w funkcji dawki pochłoniętej. Obie zależności ekstrapoluje się liniowo wstecz do przecięcia, otrzymując wartość dawki geologicznej (rys. 4.2a,b, c). Przedstawione metody wyznaczania dawki geologicznej uwzględniają z zaznaczonych w punkcie 3.1 tylko problem termoluminescencji resztkowej pozostałej po działaniu promieniowania słońca. Problem pozostałych czynników jest kwestią otwartą i wymaga dalszych badań (Wintle, Huntley, 1982). Metoda odtworzeniowa mimo ignorowania ewentualnych zmian czułości minerałów wydaje się być szczególnie korzystna dla wyznaczenia dużych dawek geologicznych z zakresu nieliniowej zależności TL wynikłej z nasycania się. We wszystkich przedstawionych metodach w przypadku badania frakcji drobnodziarnistej niezbędnym jest wyznaczenie czułości ziaren na promieniowanie  $\alpha$ .

### 5. OGRANICZENIA DOKŁADNOŚCI METODY DATOWANIA TERMOLUMINESCENCYJNEGO

Dokładność wyników datowania termoluminescencyjnego ograniczona jest czynnikami, które można umownie podzielić na dwie grupy. Pierwsza to czynniki związane z błędami pomiarów wykonywanych w laboratoryjnych warunkach i stąd można je nazwać czynnikami lub błędami laboratoryjnymi. Przy stosowaniu prawidłowych technik pomiarowych błędy te można zminimalizować i dodatkowo oszacować ich wartość. Druga grupa czynników związana jest z samą metodą pomiarową - z tzw. błędami metody wynikającymi z przyjęcia założeń upraszczających rzeczywistość. Warto podkreślić, że w szczególności źródłami błędów metody są:



Rys. 4.1. Ilustracja metody odtworzeniowej wyznaczania dawki geologicznej  
 a - krzywe termoluminescencji ziaren kwarcu o granulacji  $\sim 150 \mu\text{m}$  z próbki Frombork 1, dawki  $\phi_1$  i  $\phi_2$  pochłonięte przez ziarna po redukcji TL promieniowaniem UV wynosiły 70 i 100 Gy, b - wielkość pikę TL (315°C) w funkcji pochłoniętej dawki (zaznaczono wartości średnie z kilku pomiarów) wyznaczona dawka ED wynosi  $152 \pm 20$  Gy

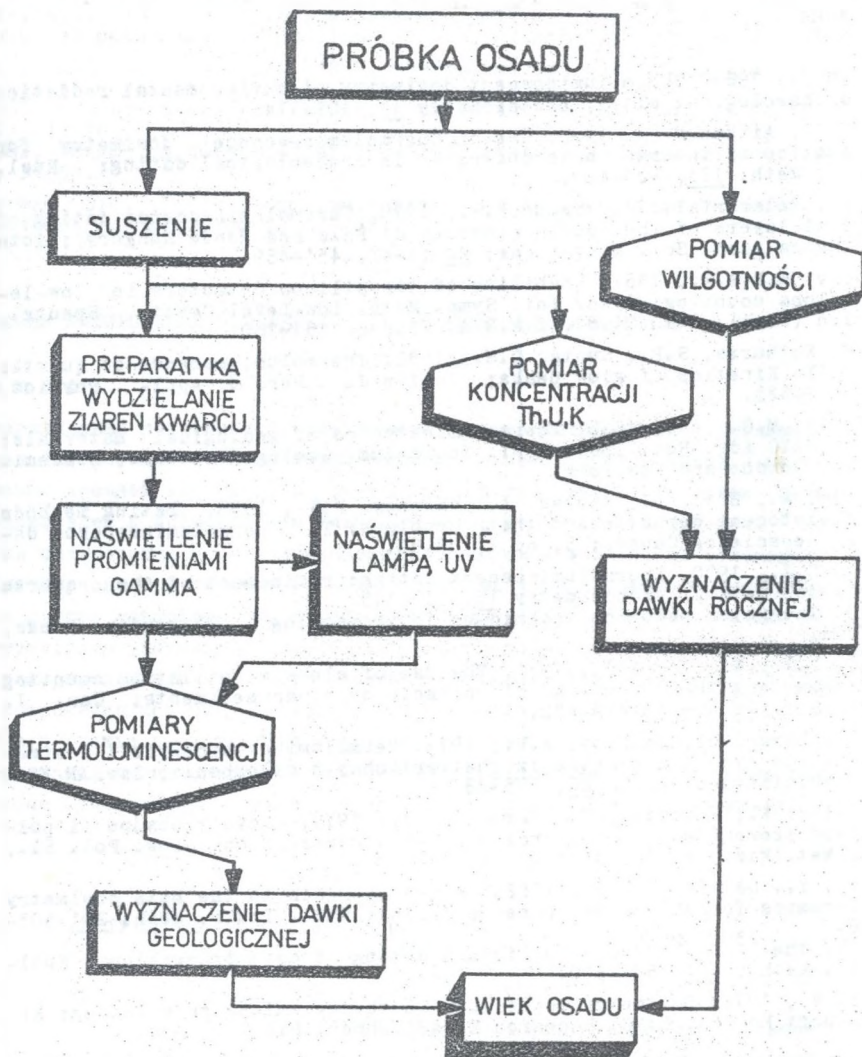


Rys. 4.2. Ilustracja metody addytywnej i metody R- $\Gamma$  wyznaczania dawki geologicznej

a - krzywe termoluminescencji ziaren kwarcu; naturalnej i po pochłonięciu dawek  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  promieniowania  $\gamma$ , b - krzywe termoluminescencji pozostałej po naswietlaniu lampą HQV-125W emitującej ultrafiolet (wykorzystywane w metodzie R- $\Gamma$ ), c - wielkość pików TL w funkcji dawki  $\delta$  promieniowania  $\gamma$  (linia a) i wielkość TL - resztkowej w funkcji dawki promieniowania  $\delta$  (linia b)

- nieznaną wartość poziomu TL resztkowej ziaren wchodzących w osad,
- wszelkie wahania wartości dawki rocznej wynikające np. ze zmian wilgotności osadu, braku równowagi promieniotwórczej czy zmian czułości ziaren na promieniowanie jonizujące,
- nieliniowa zależność termoluminescencji od pochłoniętej dawki zwłaszcza spowodowana nasycaniem.

W przypadku tej grupy czynników oszacowanie wartości błędów jest bardzo trudne, a usunąć je można tylko przez znalezienie lepszych założeń wyjściowych.



Rys. 6.1. Schemat datowania termoluminescencyjnego osadów

## 6. PODSUMOWANIE

Datowanie TL osadów wykazała się korzystając wiele z doświadczeń metody datowania TL ceramiki. Stąd wiele odnośników do pozycji związanych bezpośrednio z datowaniem ceramiki, ale dotyczących problemów wspólnych lub zbliżonych dla obu.

Datowanie termoluminescencyjne osadów można schematycznie przedstawić w postaci poniższego diagramu (rys. 6.1).

## LITERATURA

- Aitken, M.J., 1969, Thermoluminescent dosimetry of environmental radiation on archaeological sites; *Archaeometry* 11, 109-114.
- Bailliff, J., Aitken, M.J., 1980, Use of thermoluminescence dosimetry for evaluation of internal beta dose rate in archeological dating; *Nucl. Instr. Meth.* 173, 423-429.
- Borsy, Z., Féliszferfalvi, J., Szabó, P.P., 1979, Thermoluminescence dating of several layers of the loess sequences at Paks and Mende (Hungary); *Acta Geologica Acad. Sci. Hungaricae*, 22 (1-4), 451-459.
- el-Daushy, M.F.A.F., 1981, Stability of two silicon detectors in low-level alpha counting; *Proc. Int. Symp. Meth. Low-Level Count. Spectr.*, Berlin (West), 6-10.04.81, I.A.E.A. Vienna, 151-160.
- David, M. Kathuria, S.P., Sunta, C.M., 1982, Thermoluminescence of quartz: Part IX- Kinetics of glow peaks; *Indian J. Pure & Appl. Physics*, 20, 519-523.
- Mc Dougall, M.C., ed., 1968, Thermoluminescence of geological materials; *Proc. NATO Adv. Res. Inst. Appl. Thermolum. Geolog. Problems*; Academic Press, London and New York.
- Dreimanis, A., Hütt, G., Raukas, A., Whippey, P.W., 1978, Dating methods of pleistocene deposits and their problems: I. Thermoluminescence dating; *Geoscience Canada*; 5, no 2, 55-60.
- Fleming, S.J., 1970, Thermoluminescent dating: refinement of the quartz inclusion method; *Archaeometry* 12, 133-145.
- 1979, Thermoluminescence techniques in archaeology; Clarendon Press, Oxford.
- Huntley, D.J., Wintle, A.G., 1981, The use of alpha scintillation counting for measuring Th-230 and Pa-231 contents of ocean sediments; *Can. J. Earth Sci.* 18, no 3, 419-432.
- Hütt, G., Vares, K., Smirnov, A.V., 1977, Termoluminescentnyie i dosimetriczeskie svoistva kvartsa iz cetervertichnykh otlozhenii; *Izv. AN ESSR ser. khimii-geologii*, 26, 275-283.
- Kwaśniewicz, E., Rabsztyn, B., Zastawny, A., 1979, Scyntylycyjne i półprzewodnikowe spektrometry promieniowania gamma; *Zesz. Nauk. Pol. Śl., ser. Mat.-Fiz.*, z. 32, 33-42.
- Liritzis, Y., Galloway, R.B., 1982a, A new approach to the beta dosimetry of ceramics for thermoluminescence dating; *Nucl. Instr. Meth.* 201 503-506.
- 1982b, The  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  disequilibrium dating of cave travertines; *Nucl. Instr. Meth.*, 201, 507-510.
- Mejdahl, V., 1972, Dosimetry techniques in thermoluminescence dating; *Risø Report No 261*, DAEC, Research Establishment Risø.

- Prószyński, M., 1981, Metoda oznaczania wieku geologicznego poszczególnych warstw gruntu; Sprawozdania z badań naukowych nr IV, KBCzPAN Warszawa, 73-97, 167-168.
- Rabsztyń, B., Kwaśniewicz, E., Zastawny, A., 1979, Badania złożonego spektrometru gamma do pomiaru koncentracji radioaktywnych pierwiastków w materiałach; Zeszyty Naukowe. Pol. Sl., ser. Mat.-Fiz., z. 33, 101-109.
- Schelkopyas, V.N., Morozov, G.V., 1965, Opredelenie odnositelnogo vozrasta chetvertichnikh otlozhenii srednego Pridneprov'ia termoluminestentnim metodom; [w:] Osnovnie problemi izucheniia chetvertichnogo perioda, Nauka, Moskva.
- 1969, Application of the thermofluorimetric method in a study of the loess formation of the Ukraine (Abstract); VIIIe Congress INQUA Paris, Resumes des Communications, 292.
- Wintle, A.G., 1978, A thermoluminescence dating study of some quaternary calcite: potential and problems; Can. J. Earth Sci., 15, 1977-1983.
- Wintle, A.G., Huntley, D.J., 1979, Thermoluminescence dating of a deep-sea sediment core; Nature, 279, 710-712.
- 1980, Thermoluminescent dating of ocean sediments; Can. J. Earth Sci., 17, 348-360.
- 1982, Thermoluminescence dating of sediments; Quaternary Sci. Rev., 1, 31-53.
- Zimmerman, D.W., 1971, Thermoluminescent dating using fine grains from pottery; Archaeometry 13, 29-52.

#### ОСНОВАНИЯ ДАТИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ

#### Р е з ю м е

Оригинальная концепция использования явления натуральной термолюминесценции для датирования геологических формаций стала претворенной в метод датирования древней керамики, а успехи этого метода вновь притянули внимание исследователей к возможностям датирования четвертичных отложений. Первые попытки датирования термолюминесцентным методом четвертичных отложений предприняли Шелкопьяс и Морозов из Киева. Позднее к исследованиям приступили во многих других лабораториях, в том числе также и в Польше. Полученные до сих пор результаты указывают значительные возможности термолюминесцентного метода для определения хронологии осадков. Существует однако же целый ряд проблем, объяснение которых необходимо к тому чтобы метод мог быть считан стандартным. В статье представлено исторический очерк метода, обсуждаются физические основы явления термолюминесценции, предпосылки метода датирования и различные измерительные техники а также точность получаемых результатов.

#### BASICAL PRINCIPLES OF TL-DATING OF DEPOSITS

#### S u m m a r y

An original idea of using the phenomenon of the thermoluminescence for dating of geological materials was transformed into the dating method for ancient ceramics. Its successful realization turned an attention to the

problem of the quaternary deposits dating. Schelkopyas and Morozov from Kiev were the first who attempted to date quaternary deposits by means of the thermoluminescence method. They were followed then by a dozen or so of other laboratories - some of them placed in Poland. Former results indicate significant possibilities of the thermoluminescence dating method to establish the chronology of deposits. However certain problems still exist and they should be solved before thermoluminescence dating could be regarded as a standard method.

The paper starts with a brief historical outline of the TL-method, then deals with bases of the phenomenon of the thermoluminescence, with assumptions of the dating method, with different measurement techniques involved and with the accuracy of results.