

Jan BURCHART

Instytut Nauk Geologicznych PAN, Warszawa

CHRONOMETRIA METODĄ ŚLADÓW SAMORZUTNEGO ROZSZCZEPIANIA JĄDER URANU
ORAZ JEJ UŻYTECZNOŚĆ W GEOLOGII CZWARTORZĘDU I ARCHEOLOGII

Streszczenie. W artykule przedstawiono podstawy teoretyczne i procedurę analityczną określania wieku minerałów i substancji szklanych tzw. metodą trakową. Przedstawiono zakres działania metody i przykłady jej zastosowań w geologii czwartorzędu i archeologii. Zwrócono uwagę na "cofanie" zegarów trakowych pod wpływem podwyższonej temperatury, co stwarza możliwość datowania ognisk palonych przez człowieka pierwotnego i wielkich pożarów.

1. PODSTAWY TEORETYCZNE

Niestabilność bardzo ciężkich jąder powoduje, że prócz powszechnie znanych przemian promieniotwórczych, jak np. przemiany α , ulegają one także samorzutnemu rozszczepieniu. Jest to zjawisko stosunkowo rzadkie, gdyż akt rozpadu jądra głównego izotopu uranu U^{238} zdarza się niemal 2 miliony razy rzadziej niż rozpady α takich jąder. W wyniku rozszczepienia jądro U^{238} dzieli się asymetrycznie na dwa fragmenty, elektrycznie naładowane i posiadające dużą energię. Fragmenty te lecą w przeciwne strony i wzdłuż toru swego przelotu w ośrodku materialnym wywołują przesunięcia atomów z ich pierwotnych pozycji. Charakterystyczne przy tym, że defekty takie - widoczne pod mikroskopem elektronowym, lecz zanikające podczas obserwacji w wiązce elektronów - powstają wyłącznie w nieprzewodnikach, a więc np. minerałach krzemianowych czy fosforanach, szklawach, plastikach, lecz nie w metalach i kruszcach. Można je utrwalić i powiększyć do rozmiarów widocznych pod mikroskopem optycznym przez chemiczne trawienie. Osiągają wówczas kształt rurek o średnicy około $1 \mu m$ i długości kilkunastu μm .

Jakkolwiek znanych jest szereg źródeł śladów rozszczepień, jednak w materii ziemskiej w grę wchodzi tylko trzy izotopy, a mianowicie U^{238} , U^{235} i Th^{232} . Ze stosunku izotopowego U^{238}/U^{235} i odpowiednich stałych rozpadu wynika jednak, że w normalnych sytuacjach jedynym praktycznie ważnym źródłem śladów rozszczepień jest uran-238. Ślady pochodzące z rozszczepiania toru zaczynają odgrywać liczącą się rolę tylko wówczas, gdy stosunek zawartości toru do uranu jest bardzo wysoki (ponad 100), co ma miejsce w minerałach torowych.

Zagęszczenie śladów samorzutnego rozszczepienia jąder U^{238} , konwencjonalnie wyrażane w ich ilości na cm^2 powierzchni i oznaczane symbolem ρ_s , oczywiście zależy przede wszystkim od zawartości uranu-238 w próbce, od czasu i szybkości procesu powstawania śladów wyrażonej przez stałą rozpadu oraz od czynników geometrycznych, z których jednym jest średnia długość traku (jest to nieco żargonowy, lecz przyjęty już w piśmiennictwie polskim termin dla określenia śladów rozszczepień).

Zjawisko rozszczepiania jąder uranu można też wywołać sztucznie, bombardując próbkę w reaktorze atomowym wiązką termicznych neutronów. Ulegają temu jądra uranu-235. Po naświetleniu próbkę można wytrawić i ujawnić traki pochodzące z indukowanego rozpadu uranu. Zagęszczenie ich zależy będzie od zawartości uranu-235, dawki neutronów, którymi próbkę naświetlano, przekroju czynnego reakcji neutron - U^{235} (czyli jakby prawdopodobieństwa skutecznego trafienia jądra przez neutron) i znowu szeregu czynników geometrycznych.

Tak więc

$$\rho_s \sim C_{238} \cdot t, \quad g \quad (1)$$

$$\rho_1 \sim C_{235} \cdot n, \quad g \quad (2)$$

gdzie ρ_s i ρ_1 to zagęszczenia traków naturalnych i indukowanych, odpowiednio, C_{238} i C_{235} to stężenia uranu-238 i uranu-235, t - wiek, g - czynniki geometryczne.

Jeśli zależności te podzielimy stronami, wówczas trudna do wyznaczenia ilościowego grupa czynników geometrycznych (g) ulega skróceniu:

$$\rho_s/\rho_1 \sim t \cdot 1/n \cdot C_{238}/C_{235} \quad (3)$$

i znając dawkę neutronów n oraz stosunek izotopowy U^{238}/U^{235} , który w materii ziemskiej jest stały (także w meteorytach i na Księżycu), można wyliczyć wiek.

Pełne równania opisujące te sprawy znaleźć można np. w książce Fleischer'a, Price'a i Walkera (1975), zaś w języku polskim w pracy Skowrońskiego (1976).

Uproszczony wzór do obliczania wieku, zaniedbujący zanik zawartości uranu postępujący na skutek rozpadu α , ma postać:

$$t = \frac{\rho_s}{\rho_1} n \frac{G}{I \lambda_f}, \quad (4)$$

gdzie I - stosunek izotopowy U^{235}/U^{238} , G przekrój czynny, λ_f - stała rozpadu dla samorzutnego rozszczepienia. Dla próbek starszych niż około 300 milionów lat uproszczenie to powoduje już wyraźne błędy i wówczas

trzeba stosować w pełni poprawny wzór o postaci:

$$t = \frac{1}{\lambda_c} \ln \left[1 + \frac{\rho_s}{\rho_1} n \frac{G\lambda_c}{I\lambda_f} \right], \quad (5)$$

gdzie λ_c jest stałą dla wszystkich rozpadów łącznie, jakim ulega uran-238.

Dla określenia wieku próbki trzeba zatem oznaczyć trzy wartości: ρ_s , ρ_1 oraz dawkę neutronów n . Pozostałe czynniki we wzorze to wartości stałe. Przybliżoną dawkę neutronów podaje oczywiście obsługa reaktora, dokładną zaś uzyskujemy naświetlając wraz z próbką wzorcowe szkieleo o znanej zawartości uranu, trawiąc je po naświetleniu i oznaczając mikroskopowo zagęszczenie w nim traków indukowanych.

Warto dodać, że stosunek ρ_1/n pomnożony przez stałą charakterystyczną dla danego minerału bezpośrednio wyraża koncentrację uranu w próbce.

2. METODYKA OZNACZEŃ

Ujawnianie i utrwalanie traków metodą chemicznego trawienia wprowadzone zostało przez Price'a i Walkera (1962). Istota sprawy polega na tym, że obszary zdefektowane - jakie wytwarzają się dokoła torów przelotu ciężkich, naśdowanych fragmentów jąder - mają nieco zwiększoną rozpuszczalność. Wobec tego, jeśli starannie dobierze się odpowiednią substancję trawiącą, jej stężenie, temperaturę i czas działania, można stworzyć sytuację, gdy obszary "zdrowe" powierzchni minerału ulegają minimalnemu tylko rozpuszczeniu, natomiast wyraźnie wyższa prędkość rozpuszczania wzdłuż torów przelotu fragmentów jąder powodować będzie wyługowanie rurkowatych kanałów. Rzecz jasna, każdy minerał wymaga odmiennych warunków trawienia. Zestawienie stosowanych substancji trawiących i warunków trawienia znaleźć można w książce Fleischera et al. (1975). Z najczęściej datowanych materiałów apatyt poddaje się trawieniu w rozcieńczonym kwasie azotowym, tytanit bądź w mieszaninie kwasów solnego, azotowego i fluorowodorowego, bądź w ługu sodowym, dla trawienia cyrkonów najlepszy okazał się eutektyczny stop NaOH i KOH (Gleadow et al., 1976), zaś szkła poddaje się działaniu kwasu fluorowodorowego.

Twórcami trakowej metody datowania jak i oznaczania śladowych i podśladowych zawartości uranu są Fleischer, Price i Walker, a pierwsze fundamentalne prace z tego zakresu to Price i Walker (1962, 1963) oraz Fleischer i Price (1964). Metoda znalazła rozliczne zastosowania w fizyce jądrowej, geologii, kosmologii, geochemii, jak też w technice i medycynie (precyzyjne sito o oczkach dowolnej średnicy, począwszy od około 100 Å).

Najczęściej stosowanym sposobem datowania jest tzw. metoda EDM (external detector method), czyli metoda zewnętrznego detektora. Badane minera-

ły zatapia się w żywicy epoksydowej lub w teflonie, następnie zeszlifowuje się dla odsłonięcia wnętrza ziarn, poleruje i trawi. W rezultacie uzyskujemy obraz zagęszczenia i rozmieszczenia śladów rozpadu samorzutnego, powstałych w ciągu całej przeszłości próbki. Następnie powierzchnię preparatu przykrywa się detektorem, którym jest bądź czysty, pozbawiony uranu, muskowitz, bądź specjalna folia plastikowa (najczęściej poliwęglanowa). Do serii pakietów próbka+detektor dołącza się wzorcowe szkło i całość poddaje się naświetlaniu w kolumnie termicznej reaktora. Ponieważ bombardowanie neutronami wywołuje reakcje jądrowe nie tylko w uranie-235, lecz i w innych izotopach, próbki po naświetlaniu są dość silnie promieniotwórcze i ze względów bezpieczeństwa muszą odczekać w specjalnym magazynie dopóty, dopóki promieniotwórczość ich nie spadnie wystarczająco, co zwykle trwa kilka lub kilkanaście dni. Po nacechowaniu detektorów znaczkami umożliwiającymi łatwe rozpoznanie wzajemnej orientacji detektora i próbki, detektory zdejmuje się z próbek i poddaje trawieniu. Rozszczepienia jąder uranu-235 w przypowierzchniowej warstwie minerałów wywołane bombardowaniem neutronami są źródłem fragmentów, które wlatują do detektora i są przezeń pochłaniane. Dlatego też wytrawiony detektor przedstawia obraz rozmieszczenia indukowanych rozszczepień w mineralu, a tym samym obecne rozmieszczenie w nim uranu.

W Instytucie Nauk Geologicznych PAN stosuje się technikę porównawczego scanningu dwumikroskopowego, która polega na tym, że pod jednym mikroskopem umieszcza się preparat minerałów z wytrawionymi trakami naturalnymi, zaś pod drugim, bliźniaczym, przy tych samych powiększeniach, odpowiadającą folię detekcyjną z wytrawionymi trakami indukowanymi. Preparaty wzajemnie orientuje się tak, by w polach widzenia były ściśle odpowiadające sobie pola. Zliczeń traków dokonuje się na poszczególnych ziarnach z osobna lub nawet na ich fragmentach, jeśli widać nierównomierne rozmieszczenie traków. Dla każdego obiektu uzyskuje się więc parę danych: ρ_0 i ρ_i . W takich to współrzędnych sporządza się wykres, na którym, jeśli próbka składa się z ziaren tego samego wieku, punkty im odpowiadające układają się wzdłuż linii prostej mającej znaczenie izochrony. Jej nachylenie zależy bowiem od grupy stałych, dawki neutronów i wieku (Burchart i Król, 1982). W użyciu są różne sposoby matematycznego opracowania wyników, zwłaszcza zaś obliczania przedziału niepewności wyliczanego wieku (Johnson et al., 1979; Burchart, 1981; Green, 1981).

3. ZAKRES STOSOWALNOŚCI

Zakres możliwych datowań uwarunkowany jest zagęszczeniem śladów naturalnych, gdyż zagęszczenie indukowanych można dostosować do potrzeb stosując odpowiednią dawkę neutronów. Przy gęstościach zbyt wielkich, prze-

kraczących 1×10^7 traków na cm^2 wytrawione ślady tworzą gęstą siatkę i dokładne ich policzenie staje się niemożliwe. Gęstości zbyt małe dają ubogą statystykę i wyniki obarczone dużą niepewnością. Dla małych obiektów, jak kryształy minerałów akcesorycznych wyseparowane ze skał, optymalne gęstości to wartości rzędu 10^5 - 10^6 traków/ cm^2 . Dla obiektów większych, o powierzchniach kilku milimetrów kwadratowych, wystarczą gęstości rzędu 10^2 - 10^3 traków/ cm^2 . Oczywiście gęstości te wynikają z kombinacji wieku i zawartości uranu. Przy stężeniu uranu wynoszącym 1 ppm 1 trak na cm^2 wytworzy się w apatycie po około 5000 lat, zaś w cyrkonie po około 1600 lat. Oczywiście im więcej badany materiał zawiera uranu, tym niższa jest dolna granica datowań. Przy przeciętnych zawartościach uranu cyrkonie nadają się do datowań w zakresie od kilku tysięcy do kilkuset milionów lat, apatyty od setek tysięcy do miliardów lat, szkliska wulkaniczne podobnie, amfibole, pirokseny, granaty i łuszczyki, zwykle bardzo ubogie w uran, mają zakres datowań ograniczony do wysokich wartości wieku. Z drugiej strony, substancje o dużych stężeniach uranu pozwalają datować niedawną przeszłość i przy stężeniach U wynoszących 1% można datować obiekty, których wiek wynosi zaledwie kilkadziesiąt, a przy pewnym wysiłku nawet kilkanaście lat.

Jak z powyższego wynika, dobierając materiał o odpowiednim zakresie koncentracji uranu datować można próbki z całej geologicznej skali czasu. Przedział opublikowanych wyników sięga od lat kilku (!) do ponad 2 miliardów.

4. ZABLIŻNIANIE TRAKÓW

Jak we wszystkich metodach tzw. oznaczenia wieku również i w metodzie trakowej wielkością mierzona nie jest czas, zaś wskazania zegara zależą nie tylko od mechanizmu napędzania opisanego równaniem (5), lecz także od procesów, które bieg zegara mogą opóźniać czy nawet cofać. Czym dla metody K-Ar ucieczka argonu, dla układu U-Th-Pb dyfuzja radiogenicznego ołowiu, dla Rb-Sr homogenizacja stosunków izotopowych strontu, tym dla metody trakowej jest zabliznianie defektów pod wpływem podwyższonej temperatury. Różne substancje bardzo się różnią trwałością powstających traków. Problemowi temu poświęcono bardzo wiele pracochłonnych eksperymentów i stwierdzono, że o stopniu zaniku śladów decyduje temperatura i czas jej oddziaływania. Jakkolwiek matematycznie ścisły opis procesu, a zwłaszcza zmiany tempa procesu zablizniania w czasie długotrwałego przebywania próbki w podwyższonej temperaturze są wciąż przedmiotem ożywionej dyskusji, ogólny obraz jest jasny. Na podstawie ekstrapolacji danych doświadczalnych potwierdzonych datowaniami z głębokich odwiertów i z sąsiedztwa małych intruzji magmowych szacuje się, że w warunkach geologicznych (czas grzania ok. miliona lat) traki w szkliskach zanikają zupełnie w temperaturze ok.

80°C, w apatytach przy 95-115°, cyrkonie przy ok. 200°, tytanicie i epidocie przy 250-300°, w granatach przy ok. 400°, zaś w diopsydzie w jeszcze wyższych temperaturach. Wynika z tego, że wystarczy pograżenie na głębokość zaledwie kilku kilometrów, by przy przeciętnym stopniu geotermicznym zegar trakowy w apatycie uległ cofnięciu do zera. Dlatego daty uzyskiwane dla tego minerału z obszarów orogenicznych z reguły określają czas postorogenicznego wypiętrzania i nie pozostają w żadnym związku z czasem krystalizacji. Przykładem mogą być wyniki z Alp (Wagner i Reimer, 1972) czy Tatr (Burchart, 1972).

Termiczna nietrwałość śladów stwarza więc możliwość datowania bardzo różnorodnych procesów, w tym czysto tektonicznych. Krytyczna oczywiście staje się uzasadniona odpowiedź na pytanie "co, jakie wydarzenia datujemy?". Wprawdzie odnosi się to do wszystkich metod chronometrycznych, lecz do trakowych w szczególności wobec wielkiej rozpiętości temperatur stabilności śladów w minerałach. Nóż człowieka prehistorycznego wykonany z obsydianu, znaleziony w popiołach ogniska i noszący ślady termicznych odkształceń, datowany metodą trakową dał wynik ok. 4000 lat (Fleischer et al., 1965), co oczywiście informuje o wieku ogniska a nie obsydianu.

5. ZASTOSOWANIE DATOWAŃ TRAKOWYCH W GEOLOGII CZWARTORZĘDU I ARCHEOLOGII

Wprawdzie większość dotychczas opublikowanych datowań trakowych odnosi się do starszych formacji, jednak niemało jest i takich, które dotyczą utworów czwartorzędowych, a także obiektów archeologicznych. We Włoszech, zachodniej części Stanów Zjednoczonych, niektórych częściach Afryki i innych rejonach świata, gdzie rozwinięty jest czwartorzędowy wulkanizm, datowania szkliv wulkanicznych, a także cyrkonów z tufów są bezpośrednio przydatne stratygrafii czwartorzędu, a są tym cenniejsze, że dotyczą przedziału czasowego, do którego inne metody chronometrii izotopowej czasem nie sięgają (interwał między górną granicą zasięgu metody C^{14} a dolną metody K/Ar). Szczególnie wartościowe są oznaczenia wieku minerałów wulkanogenicznych z cienkich warstewek tufowych przełamujących się z innymi osadami, częstokroć zawierającymi faunę. Przykładem może być praca Bigazzi et al. (1973). Niekiedy tufy mają bardzo rozległy zasięg geograficzny i wtedy stają się ważnymi reperami stratygraficznymi (Naeser i Izett, 1976). Interesujące dla geologii historycznej i paleogeografii regionu może być także badanie wieku minerałów akcesorycznych w osadach dla rozpoznania obszarów źródłowych i uzyskania informacji chronometrycznych niejako z wtórnego złoża.

Zainteresowanie tufami jest szczególnie wielkie, gdy występują one w serii osadów zawierających szczątki preczłowieka. I tak Gleadow (1980) uściślił na $1,87 \pm 0,04$ mln lat wiek słynnego w archeologii i antropologii tufu KBS z Kenii. Dla archeologii obiecującymi obiektami badań są materiały szkliste (zwykle obsydiany) ze śladami przebywania w ogniu (Fleischer

et al., 1965 oraz Watanabe i Suzuki, 1969), wyroby ceramiczne zawierające drobne kryształki cyrkonu, wreszcie wyroby szklane. Podam tu za Wagnerem (1976) przykład datowania okruchu szklanego znalezionej w ścianie rzymskiej łaźni w pobliżu Limoges: wiek 1830 lat B.P. Jeśli wyroby szklane mają podwyższoną zawartość uranu, można oczywiście datować także obiekty historyczne i Brill (1965) podaje np. wyniki datowania pucharu wykonanego między 1925 i 1928 r. z złotego fluoryzującego szkła uranowego zawierającego 2,5% UO_3 . Wynik datowania trakowego to 1924⁺⁷ (data, A.D. nie wiek). Bigazzi i Bonadonna (1973) z powodzeniem zastosowali datowania trakowe wyrobów z obsydianu dla znalezienia źródła materiału i zasięgu szlaków handlowych wiodących od Wysp Liparyjskich, na których stwierdzono dwie wiekowe grupy obsydianów: 11400 i około 1500 lat.

Metodami trakowymi nie można bezpośrednio datować procesów sedymentacji i dlatego w Polsce możliwości ich zastosowań w geologii czwartorzędowej są bardzo ograniczone. Warto jednak sprawdzić, czy temperatury oddziaływania pożarów, zwłaszcza wielkich pożarów torfowisk, były wystarczające dla zabliznienia śladów w apatycie. Gdyby tak było, apatyty w glinach lodowcowych spieczonych oddziaływaniem ognia mogłyby posłużyć do datowania pożaru.

Metody datowania wykorzystujące ślady rozszczepień jąder uranu są w użyciu już niemal 20 lat. Metoda została już dość wszechstronnie wypróbowana i wciąż proponowane są nowe jej zastosowania. Podsumowaniu dotychczasowego stanu badań, zwłaszcza zaś dyskusji nad problemami wciąż nierozwiązanymi, poświęcone było międzynarodowe sympozjum odbyte w Pizie w 1980 roku. Czytelnikom bliżej zainteresowanym tą problematyką polecić można zbiór referatów tam wygłoszonych opublikowany jako osobny zeszyt specjalistycznego czasopisma "Nuclear Tracks" (Wagner et al., 1981).

LITERATURA

- Bigazzi G., Bonadonna F., 1973, Fission Track Dating of the Obsidian of Lipari Island (Italy); *Nature*, 242, 322-323.
- Bigazzi G., Bonadonna F., Iaccarino S., 1973, Geochronological hypothesis on Plio-Pleistocene boundary in Latium region (Italy); *Boll. Soc. Geol. It.*, 92, 391-422.
- Brill R.H., 1965, Applications of fission-track dating to historic and prehistoric glasses; *Archaeometry*, 7, 51-57.
- Burchart J., 1972, Fission-track Age Determinations of Accessory Apatite from the Tatra Mountains, Poland; *Earth Planet. Sci. Lett.*, 15, 418-422.
- Burchart J., 1981, Evaluation of uncertainties in fission-track dating: some statistical and geochemical problems; *Nuclear Tracks*, 5, 87-92.
- Burchart J., Král' J., 1982, Application of the fission-track-isochrones method to accessory minerals of the crystalline rocks of the West Carpathians; *Geol. zbornik*, 33, 141-146.

- Fleischer R.L., Price P.B., 1964, Glass dating by fission fragment tracks Jour. Geoph. Res., 69, 331-339.
- Fleischer R.L., Price P.B., Walker R.M., Leakey L.S.B., 1965, Fission track dating of a Mesolithic knife; Nature, 205, 1138.
- Fleischer R.L., Price P.B., Walker R.M., 1975, Nuclear Tracks in Solids - Principles and Applications; University of California Press, Berkeley-Los Angeles - London, str. 605.
- Gleadow A.J.W., Hurford A.J., Quaife R.D., 1976, Fission track dating of zircon: improved etching techniques; Earth Planet. Sci. Lett., 33 273-276.
- Gleadow A.J.W., 1980, Fission track age of the KBS tuff and associated hominid remains in northern Kenya; Nature, 284, 225-230.
- Green P.F., 1981, A new look at statistics in fission-track dating; Nuclear Tracks, 5, 77-86.
- Johnson N.M., McGee V.E., Naeser C.W., 1979, A practical method of estimating standard error of age in the Fission Track Dating method; Nuclear Tracks, 3, 93-99.
- Naeser C.W., Izett G.A., 1976, Age of the Bishop Tuff of eastern California as determined by the fission-track method; Geology, 4, 587-590.
- Price P.B., Walker R.M., 1962, Chemical etching of charged-particle tracks in solids; Jour. Appl. Physics, 33, 3407-3412.
- Price P.B., Walker R.M., 1963, Fossil tracks of charged particles in mica and the age of minerals; Journ. Geoph. Res., 68, 4847-4862.
- Skowroński A., 1976, Efekty rozszczepienia jąder atomów uranu w minerałach. Studium metodyczne i przykłady zastosowań w geochemii; Prace Mineralogiczne, nr 46, s. 73, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Nauk Mineralogicznych.
- Wagner G.A., 1976, Radiation damage dating of rocks and artifacts; Endeavour, 35, 3-8.
- Wagner G.A., Reimer G.M., 1972, Fission track tectonics: the tectonic interpretation of fission track apatite ages; Earth Planet. Sci. Lett., 14, 263-268.
- Wagner G.A., Bigazzi G., Storzer D., Durrani S.A. (red.), 1981, Fission-Track Dating; Nuclear Tracks, 5, nos. 1/2, s. 252.
- Watanabe N., Suzuki M., 1969, Fission track dating of archeological glass materials from Japan; Nature, 222, 1057-1058.

ДАТИРОВАНИЕ ПО ТРЕКАМ СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР УРАНА И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
В ГЕОЛОГИИ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА И АРХЕОЛОГИИ

Р е з ю м е

В докладе представлено теоретические основы и методику датирования минералов и стекол методом треков, рассмотрено пределы применимости метода и приведено примеры его применения в четвертичной геологии и археологии. Подчеркнуто возможность датирования костёров первобытного человека и великих пожаров в результате отжыга треков вызванного нагревом.

FISSION TRACK CHRONOMETRY AND ITS APPLICATIONS
TO QUATERNARY GEOLOGY AND ARCHEOLOGY

S u m m a r y

The paper presents theoretical basis and analytical techniques of dating by the fission-track methods. The range of possible age determinations and the applications to Quaternary geology and archeology are discussed. Attention is paid to resetting of the fission-track clocks due to increased temperatures and, as a consequence, to possibilities of dating prehistoric hearths and natural fires.