

J. BURCHART & J. KRÁĀL
– IZOTOPOWY ZAPIS PRZESZŁOŚCI ZIEMI.
*Wyd. Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej,
Lublin 2015, 70 ryc., 299 str.*

Na krajowym rynku wydawniczym brak jest w języku polskim książki, która by w sposób kompleksowy a jednocześnie przystępny dla czytelników omawiała podstawowe zagadnienia dotyczące datowań radiometrycznych minerałów, osadów i skał. Lukę tą wypełnia książka Burcharta i KráĀła: *Izotopowy zapis przeszłości Ziemi*. Jej autorami sĀ geolodzy o bardzo duŹym doświadczeniu i dorobku naukowym w zakresie tytułowej problematyki. Z pewnością książka ta znajdzie liczny krĀg odbiorców wśród studentów oraz specjalistów z zakresu nauk o Ziemi.

Książka skłĀda siĀ z przedmowy, wstĀpu, 8 rozdziałów, spisu literatury i załĀcznika (skłĀd izotopowy wybranych pierwiastków promieniotwórczych i radiogenicznych). Zasadnicze rozdziały sĀ ułoŹone w sposób logiczny, wprowadzajĀc stopniowo czytelnika w tytułowĀ tematykĀ – poczynszĀ od podstaw teoretycznych do omówienia zagadnieĀ aplikacyjnych z licznymi przykłĀdami zastosowania radioizotopów w datowaniu róŹnych wydarzeĀ i procesów geologicznych. We wprowadzajĀcym rozdziale autorzy omawiajĀ róŹne typy przemian promieniotwórczych i opisujĀce je ogólne wzory oraz kolejno – zegary izotopowe i zmiany stosunków izotopowych w przyrodzie. Ta czĀść książki jest niezbĀdna dla pełnego zrozumienia róŹnych pojęć przedstawionych w nastĀpnych rozdziałach. W kolejnym rozdziale omówiono metody dozymetryczne i radiometryczne oraz spektrometriĀ mas. Autorzy zwiĀzle opisali w nim podstawowĀ metodĀ rozcieĀczenia izotopowego stosowanĀ powszechnie w analizach geochronologicznych oraz krótko scharakteryzowali spektrometry najnowszej generacji uŹywane do oznaczania radionuklidów i izotopów trwałych, w tym spektrometr mas z jonizacjĀ termicznĀ (*TIMS*), wtórny jonowy spektrometr mas (*SIMS*) i wysokorozdzielczĀ mikrosondĀ jonowĀ (*SHRIMP*), wielokolektorowy spektrometr mas ze wzbudzeniem w indukowanej plazmie (*MC-ICP-MS*). Wykaz ten naleŹałoby teŹ poszerzyĀ o akceleratorowy spektrometr mas (*Accelerator Mass*

Spectrometer, AMS), którego używa się do oznaczania ultraśladowych zawartości izotopów (jest on milion razy bardziej czuły od TIMS), np. do datowania radiowęglu (do 60 tys. lat) oraz analizator czasu przelotu (*time of flight mass spectrometry, TOF-MS*), rozdzielający jony na podstawie różnego czasu przelotu w tym samym interwale odległości w obszarze, w którym nie ma żadnego oddziaływania pola.

Osobny rozdział poświęcony jest modelowi izochronowemu, który stanowi podstawowe narzędzie geochronologii wykorzystywane najczęściej w petrogenезie. Zagadnienie to jest opisane na przykładzie układu rubid-stront (Rb-Sr), którego analiza izochronowa dostarcza informacji zarówno o wieku mierzonym od chwili osiągnięcia homogeniczności izotopowej, jak i o środowisku geochemicznym źródła materiału.

Najbardziej rozbudowany jest rozdział poświęcony najważniejszym metodom stosowanym w geochronologii. Omówiono w nim metody datowań: (1) rubidowo-strontową (Rb-Sr), (2) samarowo-neodymową (Sm-Nd), (3) lutetowo-hafnową (Lu-Hf), (4) renowo-platynowo-osmową (Re-Pt-Os), (5) w oparciu o promieniotwórcze przemiany uranu i toru (U-Th-Pb), (6) potasowo-argonową (K-Ar), w tym argon-argon (Ar-Ar) oraz (7) w oparciu o izotopy kosmogeniczne. Bardzo interesujący jest podrozdział dotyczący datowania skał magmowych i osadowych przy użyciu metody Rb-Sr. Na szczególną uwagę zasługuje datowanie autigenicznych illitów, stanowiących główny składnik skał ilastych. W minerałach tym bardzo łatwo dochodzi do wymiany izotopowej strontu na etapie diagenety, w wyniku której następuje pełna homogenizacja izotopowa. Należy przy tym pamiętać, że uzyskany wynik jest wiekiem diagenety, a nie sedymentacji illitu (przy braku składników detrytycznych). Stopniowy wzrost radiogenicznego ^{87}Sr w skorupie ziemskiej prowadzi do wzrostu stosunku $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Ponieważ stosunek ten w wytraconych węglanach, pozbawionych domieszek składników detrytycznych (łuszczyków, illitu), jest taki sam jak w wodzie oceanicznej, dlatego też sygnatura ta może być wykorzystana do datowania tych osadów szczególnie w interwale czasowym do 35 mln lat (*izotopowa stratygrafia strontowa*).

W przypadku skał prekambryjskich, które przechodziły przez wiele etapów metamorfizmu zaburzających układy Rb-Sr i U-Th-Pb, najczęściej stosowaną metodą datowania jest metoda Sm-Nd. Z uwagi na małą mobilność tych lantanowców w procesach metamorfizmu i wietrzenia w skorupie ziemskiej, geochemiczny i izotopowy układ Sm-Nd jest o wiele trwalszy i przechowuje zapis izotopowy wydarzeń z odległej historii Ziemi. Z innych promieniotwórczych systemów, zastosowanie znalazły rozwijające się metody: Lu-Hf do datowania cyrkonów $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$ oraz Re-Os i Pt-Os m.in. do badania geochemicznego rozwoju Ziemi, oddzielenia płaszcza od jądra Ziemi i skorupy ziemskiej od płaszcza oraz ich wzajemnych interakcji, jak również do datowania procesów tworzenia się złóż surowców mineralnych (w oparciu o datowania minerałów siarczkowych).

Krótki opis poświęcony jest również grupie metod U-Th-Pb, które zapoczątkowały rozwój geochronologii. Coraz to większe postępy w rozwiązaniach technicznych umożliwiły opracowanie metod datowania w mikroobszarze. Przykładem jest metoda CHIME (**C**hemical **T**h–**U**-total **P**b **I**sochron **M**ethod) stosowana głównie do datowania monocyków (Ce, La, Nd, Th, Y, Pr)[PO_4] przy

użyciu mikrosondy elektronowej lub protonowej – ta ostatnia polegająca na pomiarze emisji charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego (*particle-induced X-ray emission, μ -PIXE*). Metoda CHIME opiera się na założeniu, że ołów zawarty w sieci krystalicznej tego minerału jest całkowicie pochodzenia radiogenicznego. Bardzo ciekawy jest również podrozdział dotyczący ewolucji izotopowej ołowiu „zwyčajnego” w dziejach Ziemi. Stosunki izotopowe ołowiu znalazły zastosowanie w geochronologii (datowanie cyrkonu, tytanitu i monacytu) oraz w badaniach genezy złóż kruszców. Z kolei datowanie metodą trakową opiera się na zjawisku samorzutnego rozszczepienia jądra głównie izotopu ^{238}U , które prowadzi do powstania defektów sieci krystalicznej minerałów. Analiza jest bardzo prosta i sprowadza się do zliczenia traków (śladów) w obrazie mikroskopu optycznego.

Datowanie ^{40}K - ^{40}Ar należy do najstarszych metod stosowanych w geochronologii, którą używa się najczęściej do datowania łyszczyków, rzadziej skałeni. Jej odmianą jest metoda ^{40}Ar - ^{39}Ar . W wyniku bombardowania neutronami głównego izotopu potasu ^{39}K powstaje ^{39}Ar w ilości proporcjonalnej do zawartości ^{40}K . Stosunek $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ powinien dać w zasadzie wiek równoważny z metodą ^{40}K - ^{39}Ar .

Coraz większe zastosowanie w geomorfologii znajdują metody wykorzystujące pierwotne promieniowanie galaktyczne (protony, cząsteczki α , podrzędnie jądra ciężkich pierwiastków), docierające do naszego Układu Słonecznego w wyniku wybuchu supernowej. Promieniowanie to w atmosferze wchodzi w interakcję z atomami wytwarzając wtórne promieniowanie kosmiczne (neutrony, miony), które daje początek nuklidom kosmogenicznym (np. ^3He , ^{36}Cl) na powierzchni Ziemi. Na podstawie czasu ekspozycji powierzchni terenu można określić m.in. tempo procesów wietrzenia i erozji skał, tworzenia się terasów akumulacyjnych oraz datować trzęsienia ziemi, regresje mórz i lodowców (^{10}Be , ^{26}Al , ^{36}Cl). Z grupy izotopów kosmogenicznych bardziej szczegółowo omówiono metodę radiowęgla (^{14}C), która znalazła zastosowanie w datowaniu głównie artefaktów oraz minerałów, osadów, skał i izolacji wód podziemnych wieku holoceniowego i górno-plejstoceniowego.

Zamykające cztery rozdziały dotyczą różnych pułapek metodycznych i interpretacyjnych w datowaniach minerałów i skał. Były one szczególnym wyzwaniem intelektualnym dla autorów książki. Dotyczą one szczególnie różnych założeń, np. istnienia układu zamkniętego (bez ucieczki lub dopływu badanego radioizotopu lub macierzystego izotopu promieniotwórczego) od chwili krystalizacji minerału czy też niezmienności stałych rozpadu – te ostatnie są kwestionowane przez niektórych geologów, astrofizyków i fizyków teoretycznych. Są to jednak istotne zagrożenia, które w razie ich istnienia mogą zakwestionować sens datowań radiometrycznych. Zdaniem autorów książki należy przyjąć, że po uformowaniu skorupy ziemskiej tempo przemian promieniotwórczych nie uległo mierzalnym zmianom. Stwierdzono wpływ temperatury, wielkości i kształtu ziaren czy też ciśnienia zewnętrznego na dyfuzję i jej tempo, czego przykładem jest ucieczka helu lub argonu z układów U-He i K-Ar aż do ich zamknięcia w niskich temperaturach.

Ważna w tym względzie jest wiekowa różnica między krystalizacją minerału a jego zamknięciem. W przeciwieństwie do skał plutonicznych, proces stygnięcia skał wulkanicznych jest tak szybki, że można przyjąć ten sam wiek dla wymienionych procesów.

Autorzy zwracają też uwagę na błędne użycie pojęcia „*oznaczanie wieku bezwzględnego*”, które zawiera trzy nieprawdy (*vide* artykuł Burcharta z *Przeglądu Geologicznego* nr 35(5), 1986) w odniesieniu do datowania różnych wydarzeń czy procesów geologicznych. Często jesteśmy w stanie określić wiek, choć nie wiadomo czego on dotyczy. Jak już wspomniano, wiek powstania skały czy krystalizacji minerału można określić tylko w przypadku układu zamkniętego, który stanowi podstawę do określenia stanu początkowego. Stosowane są różne arbitralne założenia wyznaczenia stosunku początkowego, m.in. na podstawie wartości utrwalonej w minerałach niezawierających radionuklidu. Przykładem jest apatyt pozbawiony Rb, czyli minerał, który jest przydatny do wyznaczenia stosunku $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, przy założeniu, że jest on kogenetyczny z minerałami współwystępującymi. Autorzy słusznie zwracają uwagę, że podany interwał wartości wieku określa jedynie analityczną niepewność pomiaru. Przy ustalaniu granic jednostek chronostratygraficznych należy uwzględnić diachronizm facji i rozprzestrzeniania gatunków.

Bardzo istotny dla analityka jest rozdział opisujący źródła błędów (przedziału w jakim powinna się mieścić zmierzona wartość) w całej procedurze analitycznej – od pobierania przez przygotowanie próbek do analiz izotopowych, kończąc na interpretacji ich wyników, jak również niepewności używanych stałych rozpadu. Na każdym z tych etapów nie może dojść do zanieczyszczenia badanej próbki. Cenne są uwagi autorów dotyczące pobierania próbek w terenie, w trakcie których popełnia się największy błąd. Niezbędne jest więc wcześniejsze określenie celu i metody badań, które stanowią podstawę do opracowania strategii i planu pobierania próbek. Osoba pobierająca próbki powinna uwzględnić ich usytuowanie w profilu geologicznym w kontekście składu petrograficzno-litologicznego i pozycji strukturalno-tektonicznej. Dotyczy to szczególnie jednorodności genetycznej materiału, w tym braku inkluzji faz innych minerałów.

Dość istotnym mankamentem opracowania jest brak skorowidzu terminów, który utrudnia nieco korzystanie z książki. Drobne nieścisłości terminologiczne i niekiedy występujące powtórzenia nie przekreślają bardzo wysokich wartości merytorycznych książki. W każdym rozdziale przebija profesjonalizm autorów i wyważone podejście do interpretacji geologicznej. Zdaniem recenzenta, książka ta powinna stanowić cenną pozycję bibliograficzną w zbiorze każdego specjalisty zajmującego się problematyką datowania radiometrycznego minerałów, skał i osadów i tym samym różnych wydarzeń i procesów geologicznych. Może się ona stać wartościowym materiałem wykorzystywanym w celach dydaktycznych dla studentów kierunków studiów przyrodniczych i ścisłych.

*Prof. dr hab. Zdzisław M. Migaszewski
Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Kielce*

EDITORIAL BOARD

Andrzej Gózdź (UMCS, Lublin)
Davide Fiscalletti (San Lorenzo, Italy)
Ana Voica Bojar (Graz, Austria)
Agnieszka Gałuszka (UJK, Kielce)

REVIEWERS

Jerzy Matyjasek, UMCS
Andrzej Gózdź, UMCS
Stanisław Hałas, UMCS
Tomasz Durakiewicz, LANL, USA
Ana Voica Bojar, US , Austria
Agnieszka Gałuszka, UJK
Zdzisław Migaszewski, UJK
Michał Kowal, UW
Andrzej Krankowski, UW-M
Davide Fiscoletti, SpaceLife Inst., Italy

