

OBWÓDKI PLEOCHROICZNE I NOWY PIERWIASTEK CHEMICZNY

UKD 535.348:539.164:548.799:549.08:552.3/4:001.5

W poprzednim numerze „Przeglądu Geologicznego” ukazał się apel do mineralogów i petrografów (1) zwracający uwagę na doniosłość informacji jakich dostarczyć mogą obwódki pleochroiczne o dużych rozmiarach. Sprawa ma posmak sensacyjny, gdyż właśnie takie halo-giganty doprowadziły do wysoce prawdopodobnego odkrycia nowego pierwiastka chemicznego o liczbie atomowej 126 (!). Pojawiły się na ten temat informacje w prasie (np. 2, 3, 4) i telewizji (magazyn „Eureka”), ukazała się też drukiem praca autorów odkrycia (8), dochodzą wiadomości z różnych ośrodków fizyki jądrowej. Spróbuję Czytelnikom „Przeglądu” zrelacjonować powyższy problem. Zacząć trzeba od nieco bliższego opisu obwódek pleochroicznych w minerałach.

Zwrócono na nie uwagę w latach 80-tych ubiegłego stulecia, a więc jeszcze przed odkryciem promieniotwórczości (1896), ich związek zaś z napromienianiem cząstkami α udowodnili doświadczalnie fizyk E. Rutherford i geolog J. Joly w latach 1910—1913.

Granity i skały im pokrewne zawierają średnio 4 ppm uranu i 13 ppm toru (12), przy czym, jak wiadomo z licznych studiów nad rozmieszczeniem tych pierwiastków, znaczna ich część skupia się w minerałach akcesorycznych, osiągając tam okazałe stężenia. I tak np. — cyrkonony zawierają zwykle 200—3000 ppm uranu, monacyty 22 000—75 000 ppm toru (13). Tak więc, drobne, czasem nawet nierozpoznawalne mikroskopowo kryształki cyrkonu, monacytu, allanitu, ksenotymu, niekiedy także apatyty, są w skałach centrami wysyłającymi promieniowanie α . Ponieważ zaś silnie jonizujące działanie tego promieniowania wywołuje w wielu minerałach zmianę barwy, więc też minerał, w którym wróstek tkwi jest jakby naturalnym dozymetrem rejestrującym pochłoniętą dawkę napromieniania w ciągu całego

czasu ekspozycji, a więc wieku układu źródło (wróstek) — detektor. Stopień zaczernienia jest oczywiście funkcją aktywności wróstka (zawartości emiterów cząstek α) i wieku układu. Kryje się w tym możliwość oznaczania wieku minerałów. Trzeba w tym celu oznaczyć stopień zaczernienia w obwódce, zwykle wyrażony liczbowo jako stosunek przepuszczalności światła w obwódce do przepuszczalności światła w mineralu poza obwódką oraz natężenie promieniowania α wysyłanego przez wróstek. Pierwszą wielkość uzyskać można za pomocą precyzyjnych densytometrów; drugą techniką klisz jądrowych.

Minerałem, w którym najczęściej takie obwódki występują jest biotyt, przy czym zwykle wpływ napromieniania zaznacza się w nim silnym przyciemnieniem barwy dla wektorów γ i β , przy niezmienionej jasnej barwie dla α . W efekcie wzmocnieniu ulega i tak już silny pleochroizm minerału. Podobnie jest w amfibolach. W niektórych minerałach bezbarwnych w płytkach cienkich, np. w kordierycie, zmiana barwy jest także anizotropowa i wtedy mamy do czynienia z pleochroiczną obwódką w niepleochroicznym, bezbarwnym mineralu. Dlatego też utarło się mówić o obwódkach pleochroicznych, choć np. fluoryt jest również bardzo czułym detektorem promieniowania i będąc minerałem izotropowym wykształca obwódkę o zmienionej barwie, lecz oczywiście niepleochroiczną.

Określenie wieku minerałów metodą obwódek pleochroicznych wymaga znajomości kształtu funkcji wiążącej stopień zaczernienia z aktywnością źródła. Badania S. Deutsch i jej współpracowników (7) wykazały jednak, że różne biotyty mają bardzo różną czułość, a poza tym, że funkcja nie jest liniowa, ponadto ma ona pewne maksimum. Do pewnego etapu zaczernienie wzrasta proporcjonalnie

do dawki napromieniowania, później następuje jakby nasycenie i dalsze napromieniowywanie wywołuje już tylko nieznaczne zmiany barwy, by wreszcie zaczął się proces cofania się zaczerwienienia. Jest to zjawisko analogiczne do znanej fotografom solaryzacji powodującej odwrócenie negatywu w pozytyw pod wpływem bardzo silnego prześwietlenia: na pozytywach niektórych zdjęć amatorskich zauważyć można, że silne źródła światła, jak reflektor czy tarcza słońca, są czarne. Efekt odwracania procesu zaczerwienienia w biotycie wskutek przedawkowania napromieniowania udało się uzyskać sztucznie przez naświetlanie kryształów wielkimi dawkami cząstek α (11). Jak z powyższego wynika, zaczerwienienie obwódki jest bardzo niepewną i w najlepszym razie tylko bardzo przybliżoną miarą wieku, zwłaszcza że, jak wynika z przykładów podanych przez Gentry'ego (9), nie wszystkie zagadki związku między zmianą barwy i dawką α zostały wyjaśnione. Dlatego też zainteresowanie obwódkami, bardzo żywe swego czasu, w ostatnim 20-leciu wyraźnie osłabło.

Inną cechą obwódek, i to cechą dostarczającą mnóstwa nieoczekiwanych informacji, jest ich rozmiar. Promieniowanie α ma ściśle określoną energię, charakterystyczną dla wysyłającego je nuklidu i, co za tym idzie, określony zasięg. Jeśli energię (E) wyrazić w MeV, zasięg cząstki α w powietrzu wynosi w przybliżeniu $0,309 \times E^{3/2}$ cm, a więc około 2,64 cm dla cząstek emitowanych przez ^{238}U i około 2,45 cm dla ^{232}Th . O zasięgu w ośrodku materialnym decyduje nie tylko energia cząstek, lecz także cechy ośrodka, co w dużym przybliżeniu opisuje wzór:

$$R_A = 3 \times 10^{-4} \frac{R}{d} \sqrt{A}$$

gdzie: R_A i R — odpowiednio, zasięg w ośrodku i zasięg w powietrzu, A — średnia liczba masowa ośrodka, d — jego gęstość. Ze składu chemicznego przeciętnego biotyty uzyskujemy (obliczenia autora) $A=25,3$, co przy $d=3$ daje zasięg cząstek w biotycie: dla ^{238}U — 13 μ dla ^{232}Th — 12 μ , rezultaty bardzo bliskie podawanym z bezpośrednich pomiarów.

Jeśli źródło promieniowania jest niemal punktowe, zaczerwienienie stanowi jego kulistą powłokę o promieniu równym zasięgowi cząstek. W płytkach cienkich widzianych pod mikroskopem prawdziwy, pełny promień zmierzyć można tylko w przekrojach centrycznych, w których widoczny jest także wrostek-centrum. W przekrojach takich widoczna jest także subtelna budowa aureoli, gdyż składa się ona z serii koncentrycznych powłok. Wynika to z faktu, że zarówno uran-238, jak i tor-232 są macierzystymi nuklidami, od których rozpoczynają się naturalne szeregi promieniotwórcze, kończące się trzema różnymi, niepromieniotwórczymi izotopami ołowiu. W każdym szeregu, na drodze od nuklidu macierzystego do końcowego, powstają określone nuklidy pośrednie, z których większość jest emiterami promieniowania α , o energiach innych niż nuklid macierzysty. Wprawdzie te człony pośrednie są krótkożyłowe, lecz każdy atom nuklidu ulegając przemianom w człon następnym wysyła promieniowanie, którego efekty kumulują się i wywołują w otaczającym mineralu pierścienie zaczerwienienia.

Jak z powyższego wynika, idealne halo wywołane przez uran-238 zawierać powinno nie tylko pierścien o zasięgu 13 μ , lecz także całą serię pierścieni większych. Dzieje się tak, ponieważ energie cząstek α członów pośrednich są większe niż energia cząstek wysyłanych przez macierzysty ^{238}U . Tak więc, komplet dla obwódki spowodowanej rozpadem uranu-238 obejmuje aż 8 powłok (^{238}U , ^{234}Th , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Po i ^{210}Po). Dokoła minerałów zasobnych w tor wykształca się odmienna seria, obejmująca pierścienie dla ^{232}Th , ^{228}Th , ^{224}Ra , ^{220}Rn , ^{216}Po , ^{212}Bi i ^{212}Po . Ostatni z wymienionych nuklidów jest emiterem cząstek α o najwyższej znanej w przyrodzie energii (10,57 MeV), z której wyliczyć można, że ich zasięg w biotycie wyniesie aż 53 μ .

Wielopowłokową budowę halo dostrzec można tylko, gdy wrostek promieniotwórczy jest bardzo mały (ok. 1 μ), ponieważ w wypadku gdy jest on większy, do minerału-detektora dochodzą cząstki po

przejściu różnej drogi w obrębie samego wrostka i pierścienie ulegają rozmyciu.

Blżej zainteresowanych sprawą budowy obwódek, różnymi komplikacjami i wiązaniem rozważań teoretycznych z danymi eksperymentalnymi odsyłam do przeglądowej pracy Gentry'ego (9). W pracy tej autor dyskutuje także kwestie niezmienności energii i stałych rozpadu w przeszłości geologicznej. Główna jednak sprawą intrygującą Gentry'ego w 1973 r. są aureole o budowie nie odpowiadającej ani schematowi uranowemu ani torowemu. Należą tu obwódki ^{210}Po bez śladu pierścieni macierzystego ^{238}U , halo-karki o promieniach zaledwie 1,5–2,5 μ , co najdziwniejsze, halo-giganty. Część z tych ostatnich, o promieniach 50–58 μ można przypisać polonowi-212, ostatniemu członowi pośredniemu w szeregu torowym. Gentry znalazł jednak w biotytach z Madagaskaru obwódki o promieniach sięgających 110 μ , co sugeruje istnienie nieznanego źródła promieniowania o energii 12–14 MeV.

Próby doświadczalnego potwierdzenia hipotezy tłumaczącej halo-giganty obecnością izomerów jądrowych polonu dały wynik negatywny. Udało się jednak potwierdzić przypuszczalny charakter halo pochodzącego od ^{210}Po , niezależnie od łańcucha uranowego. Dokonano tego za pomocą spektrometru masowego, sprzężonego z mikrosomą jonową, co umożliwiło analizę masową nawet najdrobniejszych wrostków. Stwierdzono brak uranu, toru i ołowiu-204 oraz stosunek izotopowy $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ znacznie wyższy niż możliwy z rozpadu uranu. Tak więc, halo polonowe bezuranowe naprawdę istnieją i wprawdzie nie stanowią już zagadki fizycznej, lecz nie przestają być zagadką z geochemicznego punktu widzenia.

Pozostaje jednak grupa gigantów o rozmiarach o wiele większych niż polonowe. W 1973 r. Gentry wprawdzie pisał, że „praktycznie nic nie sugeruje związku z pierwiastkami superciężkimi”, jednak ostatnie miesiące przyniosły wyniki, które zelektryzowały fizyków.

R. V. Gentry, wraz z sześcioma innymi fizykami z uniwersytetów Kalifornii i Florydy, poddał halo-giganty wielu różnorodnym badaniom, które przez dłuższy czas nie przynosiły żadnych nowych danych mogących wytknąć istnienie tych tworów, czy to w kategoriach procesów chemicznych czy fizycznych. Przełomu dokonano badając widmo rentgenowskie wzbudzone bombardowaniem próbki protonami z akceleratora Van de Graaffa (8). Wiązka protonów miała średnicę zaledwie 30 μ , co umożliwiło badanie wrostków zarówno wyodrębnionych, jak i in situ, tkwiących wewnątrz obwódki w biotycie. Badaniom poddano zwykle halo uranowo-torowe, tajemnicze giganty z Madagaskaru oraz wrostki monocyту, dokoła których giganty się rozwinęły. Okazało się, że widma dla wrostków otoczonych aureolami U-Th różniły się systematycznie od widm dla wrostków obwiedzionych gigantami, mimo że ogólny skład chemiczny wrostków był identyczny. Dla pięciu ze zbadanych sześciu wrostków wywołujących halo-giganty stwierdzono w widmie energetycznym maksima w pobliżu 27 250 eV, które według autorów nie odpowiadają żadnemu ze znanych pierwiastków i dla których jedynym możliwym wyłumaczeniem jest obecność pierwiastka o liczbie atomowej 126. Znalezione również słabsze maksima, które można by wstępnie interpretować jako ślady pierwiastków 116 i 124.

Masę pierwiastków superciężkich zawartych w zbadanych kryształkach autorzy szacują na kilkadziesiąt pikogramów. Ponieważ z drugiej strony podają, że owe wrostki miały średnicę 60–150 μ , pokusić się można o wyliczenie procentowej zawartości egzotycznych pierwiastków w badanych monocytach. Przyjmując kulisty kształt wrostka, przy promieniu 50 μ i gęstości 5, jego masa wyniesie $2,6 \times 10^{-8}$ g, przyjmując zaś masę pierwiastków superciężkich za 3×10^{-10} g („kilkaset pikogramów”), uzyskujemy stężenie 0,01%, a więc wielkość przy jakiej na myśl przychodzi możliwość zastosowań praktycznych.

Listę pierwiastków samolstnie istniejących w przyrodzie kończy uran o liczbie atomowej 92 — samolstnie, gdyż dla ścisłości dodać można dwa następne pierwiastki (neptun-93 i pluton-94), które

powstają w wyniku reakcji jądrowych zachodzących w rudach uranu. Samorzutne rozszczepianie jąder uranu i oddziaływanie cząstek α wysyłanych przez uran na jądra niektórych pierwiastków obecnych w rudach (choćby ften), prowadzi do powstawania wolnych neutronów. Te zaś, jeśli natrafiają jądro ^{238}U , wywołują reakcję dającą w efekcie ^{92}Np i ^{94}Pu . Stąd też oba pierwiastki występują wyłącznie w rudach uranowych i to w nikłych ilościach: Np stanowi tam $1,8 \times 10^{-12} \%$, zaś Pu $0,4 - 15 \times 10^{-10} \%$ ilości uranu (10).

Na nich kończy się lista pierwiastków znanych w przyrodzie. Fizycy jądrowi, począwszy od 1944 r., kiedy wyprodukowano ameryk (^{95}Am), stopniowo przesuwają koniec tablicy Mendelejewa. Pierwiastki nazwane einsteinem (99) i fermem (100) wykryto w produktach wybuchu termojądrowego w 1952 r. (10). Następnie otrzymano w laboratoriach fizyki jądrowej. Aktualną listę kończą pierwiastki o liczbach atomowych 104, 105 i 106, choć wytworzenie ich nie przez wszystkich uważane jest za należycie udowodnione. Współzawodnictwo w tej dziedzinie między ośrodkami w Dubnej i w Kalifornii staje się coraz trudniejsze ze względu na coraz krótsze, sekundowe już, okresy życia syntetyzowanych jąder.

Z drugiej strony od lat trwają poszukiwania tzw. pierwiastków superciężkich, które być może istniały w materii układu słonecznego w jej przedgeologicznym okresie rozwoju (5, 6). Teoretyczne dane o trwałości różnego typu jąder wskazują, że największe szanse wiąże się z pierwiastkiem 114, a więc z tym, którego od lat szukano. Tym większą niespodzianką byłoby znalezienie pierwiastka 126 i to nie w postaci śladów jego istnienia w jakichś szczególnych meteorytach, lecz aktualnie istniejącego na Ziemi.

Są i głosy sceptyczne, zwracające uwagę, że maksimum, interpretowane jako pochodzące od pierwiastka 126, mogło być wywołane przejściem jądrowym γ ceru. Dodać jednak wypada, że Gentry zdawał sobie z tego sprawę i wyraźnie pisze (8), że zarówno doświadczalne jak i teoretyczne poszukiwania takiego promieniowania gamma dały wynik negatywny. Jak się zdaje, dowodem rozstrzygającym byłoby stwierdzenie jednoznacznych maksimów w widmie masowym dla mas w pobliżu 310 i 350. Jak dotychczas jednak, wyniki badań za pomocą separatorów mas są bądź negatywne (dla masy 350), bądź dwuznaczne (dla masy 310). Sprawa nie jest łatwa, zwłaszcza wobec rzadkości materiału do badań.

SUMMARY

A review paper discussing the ring structure and provenance of pleochroic halos developed around some accessory minerals due to α radiation. Special attention is paid to the gigantic halos of puzzling origin. Recent discovery of element 126 is presented after Gentry et al.

Jeśli uda się potwierdzić odkrycie Gentry'ego, przyjdzie kolej na rozwiązanie fascynującej zagadki: skąd pierwiastek 126 wziął się na Madagaskarze? Jeśli zaś odkrycie zostanie zdyskredytowane, pozostanie problem: czym wywołane są halo-giganty?

Korzystając z okazji ponawiam apel do polskich mineralogów i petrografów o zwracanie baczonej uwagi na obwódki pleochroiczne, zwłaszcza w skałach bardzo starych, i o natychmiastowe sygnalizowanie obwódek o rozmiarach niemożliwych do wyjaśnienia oddziaływaniem znanych źródeł promieniowania α , a więc przekraczających 60 μ .

LITERATURA

1. Burchart J. — Apel do mineralogów i petrografów. *Prz. geol.* 1976, nr 10.
2. Bicentennium find. *Newsweek*, 1976, June 28.
3. Bicentennium — nowy pierwiastek chemiczny. *Więści (tygodnik ZSL)*, 1976, nr 32 (1024).
4. Dakowski M. — Gdzie się kończy tablica Mendelejewa? *Problemy*, (w druku).
5. Dakowski M. — W poszukiwaniu pierwiastków superciężkich. *Problemy*, 1969, luty.
6. Dakowski M. — The possibility of extinct superheavy elements occurring in meteorites. *Earth and Planetary Sci. Lett.*, 1969, vol. 6.
7. Deutsch S., Hirschberg D., Picciotto E. — Etude quantitative des halos pleochroïques. Application à l'estimation de l'âge des roches granitiques. *Bull. Soc. Belge de Geol., Paleont. et Hydrol.*, 1956, vol. 65, no 2.
8. Gentry R. V., Cahill T. A. i in. — Evidence for primordial superheavy elements. *Phys. Rev. Lett.*, 1976, no 6.
9. Gentry R. V. — Radioactive Halos. *Ann. Rev. Nucl. Sci.*, 1973, vol. 23.
10. Niesmiejawan A. N. — *Radiochemia*. PWN, 1975.
11. Picciotto E., Deutsch S. — *Pleochroic Halos*. Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare. Rome, 1960.
12. Polański A. — *Geochemia izotopów*. Wyd. Geol., 1961.
13. Polański A., Smulikowski K. — *Geochemia*. Wyd. Geol., 1974.

РЕЗЮМЕ

Обзорная статья, в которой анализируется кольцевое строение и происхождение плеохроических ореолов, развитых вокруг некоторых аксессуарных минералов вследствие α -излучения. Особенное внимание обращено на гало-гиганты загадочного происхождения. Согласно данным Гентри и его сотрудников описано недавнее открытие элемента 126.