

Wadsleyit — „potencjalne” oceany wody w strefie przejściowej płaszczu Ziemi?

Krystyna Klimas*, Jan Koziar*

Bilans wody zestawiony na podstawie chondrytów węglistych — świadków Wielkiego Wybuchu i zawartości H₂O na Ziemi — wykazuje duży jej niedobór na naszej planecie. Wyliczenia oparto głównie na ilości wody w najstarszych typach meteorytów, chondrytach węglistych typu C₁ uważanych za pierwotną materię Układu Słonecznego, która w postaci prawie niezmiennionej przetrwała od 4,6 x 10⁹ lat.

mineralodzy próbują odtworzyć eksperymentalnie warunki panujące na różnych głębokościach w płaszczu Ziemi i ich działanie na składy minerałów zbliżone do występujących w perydotytach. Zestawienie wyników niektórych eksperymentów przedstawia tab. 1.

Jak wynika z tab. 1 otrzymane w eksperymentach wysokociśnieniowe fazy krystaliczne (niektóre są ekwiwa-

Tab. 1. Zestawienie niektórych wodnych (hydrous) faz krystalicznych HT i HP krzemianów Mg i Fe

Nazwa fazy krystalicznej	Wzór chemiczny	Gęstość w g/cm ³	Temp. w °C	Ciśn. w GPa	Literatura
klinohumit	Mg ₉ Si ₄ O ₁₈ H ₂	3,14	700–1100	2,9–7,7	Yamamoto & Akimoto, 1977
faza A	Mg ₇ Si ₂ O ₁₄ H ₆	2,959	800	7,7	Ringwood & Major, 1967
faza B	Mg ₁₂ Si ₄ O ₂₁ H ₂	3,32	1200	12,0	Ringwood & Major, 1967
super wodna B	Mg ₁₀ Si ₅ O ₁₄ (OH) ₄	3,214	1000	15,0	Gasparik, 1990
faza C	?	?	?	?	Ringwood & Major, 1967
chondrodyt, faza D	Mg ₅ Si ₂ O ₁₀ H ₂	3,06	700–1100	2,9–7,7	Yamamoto & Akimoto, 1977
faza E	Mg _{2,17} Si _{1,01} O ₆ H _{3,62}	2,78	1200	17,5	Kudo et al., 1993
faza E	Mg _{2,08} Si _{1,16} O ₆ H _{3,20}	2,822	1000	13,0–15,5	Kanzaki, 1991
faza F	Mg _{3,35} Si _{5,51} H _{7,26} O ₁₈	2,826	1000	17,0	Kanzaki, 1991
faza 10 A	Mg ₅ Si ₄ O ₁₄ H ₆	2,65	650	4,8–9,0	Yamamoto & Akimoto, 1977
wadsleyit	β-Mg ₂ SiO ₄	3,50	1500	17,5	Ringwood & Major, 1966
wadsleyit	β-(Mg, Fe) ₂ SiO ₄	3,50	1500	19,5	Smyth, 1994; Smyth i in., 1997
wadsleyit II	w tekście	3,513	1400	17,5	Smyth & Kawamoto, 1997

Z bilansu tego wynika, że Ziemia powinna zawierać 3% wody, lecz gdy zsumujemy jej zawartość w hydrosferze (atmosfera + skorupa ziemiska) otrzymamy zaledwie mały ułamek procenta (Ahrens, 1989). Nawet hipotezy przyjmujące powstanie Księżyca kosztem Ziemi nie tłumaczą tak dużej jej utraty. Wielu uczonych przypuszcza, że duże ilości wody mogą być uwiecznione głęboko wewnątrz Ziemi. Pośredniego dowodu na to dostarczyły badania izotopów helu wydobywających się podczas erupcji wulkanicznych, zwłaszcza z tzw. pióropuszy płaszczu. Stwierdzono w nich He⁴, który powstaje przez rozpad radioaktywny, ale też He³ pochodzący z czasów narodzin Wszechświata (Ahrens, 1989). Jeśli tak głębokie wnętrze Ziemi kryje w sobie pozostałość Wielkiego Wybuchu w postaci bardzo lotnego przecież He³, dlaczego nie mogłoby zawierać wody? Podobnie badania uwodnionych minerałów występujących w kimberlitach, skłaniają do uznania ich za dekompresyjne produkty wysokociśnieniowych minerałów bogatych w wodę, z głębokości poniżej 180 km. W niektórych kimberlitach stwierdzono pozostałości majorytu, wysokociśnieniowego minerału, wskazującego na możliwość powstawania na głębokości 300–670 km w płaszczu Ziemi (Jeanloz, 1991). Nie jest więc zaskoczeniem, że od dawna

lentami syntetycznymi minerałów o takich samych nazwach, np. chondrodyt, klinohumit, wadsleyit) mogły powstawać w płaszczu Ziemi na różnych głębokościach. Niestety niektóre z nich nie są stabilne już w warunkach powyżej T = 800°C i P = 8 GPa, a większość powyżej T = 1350°C i P = 15 GPa. Jedynie bezwodny i wodny wadsleyit β-(Mg, Fe)₂SiO₄ i wadsleyit II mogą być stabilne nawet przy PT panujących w strefie przejściowej płaszczu Ziemi (Smyth & Kawamoto, 1997).

Synteze fazy krystalicznej, nazwanej potem wadsleyitem otrzymali Ringwood i Major (1966), którzy badali rozpuszczanie w stanie stałym spinelu Mg₂SiO₄ — Fe₂SiO₄ przy HT i HP (tab.1). Końcowym produktem ich eksperymentu była nowa struktura, o symetrii rombowej. Początkowo znana była pod różnymi nazwami: „zmodyfikowanego spinelu, fazy beta, beta spinelu i rzadziej β — Mg₂SiO₄ (tab.1). Po znalezieniu tej fazy w meteorycie Peace River (Price i in., 1983), zgodnie z sugestiami Ringwooda, nowy minerał nazwano wadsleyitem, na cześć znanego australijskiego mineraloga i krystalografa — Davida Wadsleya (Prewit & Downs, 1998). Wadsleyit ma sieć krystaliczną zbudowaną z 2 rodzajów warstw, jednej zbudowanej z oktaedrów MgO₆ i miejsc wakansowych i drugiej zbudowanej z oktaedrów MgO₆, tetraedrów SiO₄ i miejsc wakansowych. Ta niezwykłość struktury zainspirowała badaczy do eksperymentowania w obecności wody, które dały w efekcie wodny wadsleyit i wadsleyit II (tab.1).

*Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, Pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; e-mail: klim@ing.uni.wroc.pl

Wodny wadsleyit o wzorze $Mg_{1,730}Fe_{0,098}Al_{0,008}Si_{0,991}H_{0,355}O_4$ ma strukturę krystaliczną, przejściową między α — oliwinem i γ — spinelem, krystalizującą jednak w układzie jednoskośnym, zaliczany do krzemianów grupowych, zbudowany jest raczej z grup $[Si_2O_7]$, niż z oddzielnych tetraedrów $[SiO_4]$. Wakanse kationowe w położeniach Si, jak również w M3 są głównymi miejscami kompensacji ładunku, które pozwalają wadsleyitowi na włączanie zmiennych ilości H jako OH, maksymalnie do 3,3% H_2O (Smyth, 1994).

Przy eksperymentach z wyższą zawartością Fe, otrzymano inną, nową, ale podobną strukturę — wadsleyit II (Smyth & Kawamoto, 1997) o wzorze chemicznym $Mg_{1,71}Fe_{0,177}Al_{0,01}Si_{0,965}H_{0,322}O_4$. Jego struktura jest bardzo podobna do wodnego wadsleyitu opisanego wcześniej, też krystalizuje w układzie jednoskośnym, ma takie same osi a i c , oś b jest natomiast 2,5 razy większa niż w wodnym wadsleyicie. Ta modyfikacja jego struktury może wynikać z uporządkowania kationowego. Może on zawierać od 2,0–2,7% wagowych wody.

Obliczono, że zawartość 0,1 % wag. wody konstytucyjnej w minerałach strefy przejściowej płaszczki Ziemi (400–670 km głębokości), dałaby powłokę wodną o głębokości 800 m na jej powierzchni, zaś 0,5% wag. wody „potencjalnej”, to więcej wody niż we wszystkich współczesnych oceanach (Smyth & Kawamoto, 1997). Obecność tak dużej ilości wody w płaszczku Ziemi miałyby zatem znaczący wpływ na powstanie i ewolucję hydrosfery. Odpowiednio regulowałyby też sztywność i elastyczność skał w zależności od głębokości ich występowania. Zdecydowanie też ułatwiałaby generowanie dużych ilości stopów magmowych, obniżając znacznie temperatury topienia skał. Może też przyspieszać wszelkie inne przeobrażenia skał wymagające dużej ilości roztworów. Niekoniecznie więc źródeł wody biorącej udział w różnych procesach geologicznych musimy upatrywać na jej

powierzchni, czy w przesyconych wodą osadach subdukcujących płytach oceanicznych litosfery.

Literatura

- AHRENS T. J. 1989 — Water storage in the mantle. *Nature*, 342: 122–123.
- GASPARIK T. 1990 — Phase relation in the transition zone. *J. Geoph. Res.*, 95: 15751–15769.
- KANZAKI M. 1991 — Stability of hydrous magnesium silicates in the mantle transition zone. *Phys. Earth Planet Int.*, 66: 307–312.
- KUDOH Y., FINGER L.W., HAZEN R.M., PREWITT C.T., KANZAKI M. & VERBLEEN D.R. 1993 — Phase E: A high pressure hydrous silicate with unique crystal chemistry. *Phys. Chem. Miner.*, 19: 357–360.
- JEANLOZ R. 1991 — Effects of phase transitions and possible compositional changes on the seismological structure near 650 km depth. *Geoph. Res. Letters*, 18: 1743–1746.
- PREWITT T.C. & DOWNS R.T. 1998 — High pressure crystal chemistry. [In:] *Miner. Soc. Amer., Rev. Miner.*, 37: 231–274.
- PRICE G.D., PUTNIS A. & AGREEL S.O. 1983 — Wadsleyite, natural β -(Mg, Fe) $_2$ SiO $_4$ from the Peace River meteorite. *Canad. Miner.*, 21: 29–35.
- RINGWOOD A. E. & MAJOR A. 1966 — Synthesis of Mg $_2$ SiO $_4$ -Fe $_2$ SiO $_4$ spinel solid solution. *Earth and Planetary Sci. Letters*, 1: 241–245.
- RINGWOOD A. E. & MAJOR A. 1967 — High-pressure reconnaissance investigations in the system Mg $_2$ SiO $_4$ -MgO-H $_2$ O. *Earth and Planetary Sci. Letters*, 2: 130–133.
- SMYTH J.R. 1994 — A crystallographic model for hydrous wadsleyite (β -Mg $_2$ SiO $_4$): An ocean in the Earth's interior? *Amer. Miner.*, 79: 1021–1024.
- SMYTH J.R. & KAWAMOTO T. 1997 — Wadsleyite II: A new high pressure hydrous phase in the peridotite — H $_2$ O system. *Earth and Planetary Sci. Letters*, 146: 9–16.
- SMYTH J.R., KAWAMOTO T., JACOBSEN D.S., SWOPE R.J., HERVIG R.L. & HOLLOWAY J.R. 1997 — Crystal structure of monoclinic wadsleyite [β -(Mg, Fe) $_2$ SiO $_4$]. *Amer. Miner.*, 82: 270–275.
- YAMAMOTO K. & AKIMOTO S. 1977 — The system MgO-SiO $_2$ -H $_2$ O at high pressures and temperatures—stability field for hydroxyl-chondrodite, hydroxyl-clinohumite and 10 2 -phase. *Amer. J. Sci.*, 277: 288–312.