

# ĐẶC ĐIỂM ĐỊA CHẤN CỦA PERIDOTIT NGÂM NƯỚC TRONG NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC SÂU CỦA TRÁI ĐẤT

PHAN THIÊN HƯƠNG

Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Đông Ngạc, Từ Liêm, Hà nội

**Tóm tắt:** Bài báo giới thiệu mô hình địa chấn của một số tổ hợp đá (peridotit, eclogit) ở cấu trúc sâu được xây dựng trên cơ sở tổng hợp các kết quả thực nghiệm về tính chất đàn hồi của các pha khoáng vật ngậm nước do tác giả thực hiện tại Phòng thí nghiệm của trường Công nghệ Liên bang Thụy Sĩ (ETHZ) và các pha khô từ những nghiên cứu khác. Mô hình cho thấy, mặc dù trong điều kiện thường, các pha ngậm nước có vận tốc truyền sóng thấp hơn so với các pha không ngậm nước, nhưng với tổ hợp thạch học mà tác giả lựa chọn và trong điều kiện nhiệt độ, áp suất cao của đới hút chìm thì sự có mặt của các pha ngậm nước lại dẫn tới sự tăng vận tốc cho cả tổ hợp. Điều này mở ra khả năng sử dụng tài liệu địa chấn để dự đoán sự có mặt của các pha ngậm nước cũng như khoanh định vùng thạch học cấu trúc ở độ sâu 200-400 km.

## ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự tồn tại của các khoáng vật ngậm nước trong đới hút chìm tới manti có ý nghĩa quan trọng trong nghiên cứu cấu trúc sâu của Trái đất. Nó không chỉ cung cấp các thông tin về sự dịch chuyển của nước mà còn đóng góp những thông số quan trọng cho việc xây dựng mô hình địa động lực dẫn đến xác định nguyên nhân động đất. Vì thế, cho đến nay đã có nhiều công trình nghiên cứu về dạng tồn tại và ảnh hưởng của khoáng vật ngậm nước tới tính chất các lớp đá dưới sâu, đặc biệt tới tính chất đàn hồi của lớp thạch quyển đại dương. Dựa vào thành công trong việc xác định trực tiếp vận tốc truyền sóng của một số khoáng vật ngậm nước ở điều kiện áp suất cao (đến 11 GPa) được tác giả tiến hành tại Phòng thí nghiệm của trường Công nghệ Liên bang Thụy Sĩ (ETHZ) [6-8], kết hợp với kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học khác [1, 3, 5, 10-14] về tính chất đàn hồi của khoáng vật không ngậm nước, trong công trình này tác giả giới thiệu việc xây dựng mô hình địa chấn cho các tổ hợp khoáng vật có thể tồn tại trong đới hút chìm xuống tận manti để góp phần giải đáp bài toán dùng tài liệu địa chấn cắt lớp (tomography). Đó chính là một phần của mô phỏng địa chấn (seismic imaging) nghiên cứu cấu trúc sâu của Trái đất.

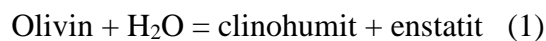
Dựa vào những công trình đã được công bố của các nhà thạch học, tác giả xây dựng mô hình tổ hợp các khoáng vật không ngậm nước và ngậm nước có thể tồn tại đến độ sâu của lớp manti. Tiếp theo, trên cơ sở những thông số đặc tính đàn hồi của các khoáng vật không ngậm nước đã được công bố và kết quả nghiên cứu bản thân tác giả đối với khoáng vật ngậm nước clinohumit ( $Mg_9Si_4O_{16}(OH)_2$ ) và pha A ( $Mg_7Si_2O_8(OH)_6$ ), xác định giá trị vận tốc truyền sóng và modul đàn hồi của khoáng vật này và các tổ hợp của chúng ở nhiệt độ và áp suất cao. Cuối cùng, tổng hợp và luận giải các kết quả thu được nhằm làm sáng tỏ khả năng sử dụng tài liệu địa chấn để phát hiện các pha khoáng vật ngậm nước cũng như các tổ hợp khoáng vật chứa chúng.

## I. MÔ HÌNH TỔ HỢP CÁC KHOÁNG VẬT CÓ THỂ TỒN TẠI TRONG ĐỚI HÚT CHÌM LẠNH

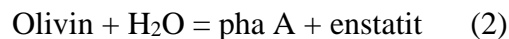
Nghiên cứu này giới hạn ở tổ hợp khoáng vật không ngậm nước (hay khô) eclogit thuộc vỏ mafic đại dương trước đây (former mafic oceanic crust) và peridotit chứa nước hoặc không chứa nước thuộc thạch quyển manti đại dương (oceanic mantle lithosphere) của đới hút chìm.

Tổ hợp khoáng vật của eclogit bao gồm 48% clinopyroxen (60 mol.% jadeit và 40 mol.% diopsid) và 52% granat (35 mol.% pyrop, 35 mol.% almandin và 30 mol.% grossular) được lựa chọn dựa trên nghiên cứu của Kessel và nnk [4] (Bảng 1). Peridotit khô được chọn có thành phần ban đầu tương ứng với harzburgit đại dương không chứa nước theo tài liệu của Schmidt [11], bao gồm 69% olivin (Fo<sub>90</sub>), 26% pyroxen enstatit (thấp Ca - En<sub>90</sub>), and 5% granat (68% pyrop, 16% almandin and 16% grossular, x<sub>Mg</sub> = 0,81).

Tác giả thiết lập mô hình tổ hợp các khoáng vật ngậm nước (Bảng 1) với các peridotit ngậm nước (harzburgit) chỉ chứa tối đa 1- 2% trọng lượng nước nếu trong thành phần có clinohumit do hàm lượng olivin ban đầu chỉ đủ để cho phản ứng với 2% nước:



Cũng như vậy, các peridotit ngậm nước (harzburgit) sẽ chỉ chứa tối đa 5% trọng lượng nước khi trong thành phần có pha A do khối lượng olivin ban đầu chỉ đủ để phản ứng với 5% nước:



Bảng 1. Thành phần khoáng vật (% thể tích) của peridotit không ngậm nước và ngậm nước ở các tổ hợp khoáng vật chứa clinohumit và pha A

Thành phần	Peridotit khô	Eclogit <sup>a</sup>	Harzburgit			
Pha/H <sub>2</sub> O			1% H <sub>2</sub> O (c)	2% H <sub>2</sub> O (c)	2% H <sub>2</sub> O (d)	5% H <sub>2</sub> O (d)
Olivin	68,8	0	27,7	0	39,9	0
Cen <sup>b</sup>	26,1	0	31,6	35,3	36,9	51,7
Cpx	0	48	0	0	0	0
Granat	5,1	52	5	4,8	4,9	4,7
Cln	0	0	35,7	59,9	0	0
Pha A	0	0	0	0	18,3	43,6

**Chú thích:**

<sup>a</sup> Thành phần của eclogit theo Kessel [4]

<sup>b</sup> Thành phần của pyroxen enstatit thấp Ca [1]

<sup>c</sup> Thành phần của harzburgit được tính theo định luật bảo toàn nguyên tố chứa Cln

<sup>d</sup> Thành phần của harzburgit được tính theo định luật bảo toàn nguyên tố chứa pha A

Ký hiệu của khoáng vật: Cen- clinoenstatit; Cpx- clinopyroxen; Cln- clinohumit.

## II. TÍNH VẬN TỐC TRUYỀN SÓNG CỦA CÁC TỔ HỢP KHOÁNG VẬT TỒN TẠI Ở ĐỚI HÚT CHÌM LẠNH

Vận tốc truyền sóng của tổ hợp khoáng vật ở peridotit và eclogit tại áp suất cao (từ 5 đến 11 GPa) và nhiệt độ 1073 K (được chọn là đại diện cho khả năng có thể xảy ra trong điều kiện nhiệt

độ và áp suất của đới hút chìm ở độ sâu 200-400 km) được tính dựa trên tham số đàn hồi: modul đàn hồi khối  $K_s$  (bulk moduli), modul cắt trượt  $G$  (shear moduli) và mật độ  $\rho$  của các khoáng vật tại nhiệt độ và áp suất thường – điều kiện phòng (298K và 0 GPa) (Bảng 4) theo trình tự các bước sau:

a. Tính ảnh hưởng của nhiệt độ lên các modul đàn hồi đoạn nhiệt (adiabatic elastic moduli)  $K_s$  và  $G$  [2]:

$$K_s(T, P_0) = K_s(T_0, P_0) + \left(\frac{dK_s}{dT}\right)_P (T - T_0) + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2K_s}{dT^2}\right)_P (T - T_0)^2 + \dots$$

$$G(T, P_0) = G(T_0, P_0) + \left(\frac{dG}{dT}\right)_P (T - T_0) + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2G}{dT^2}\right)_P (T - T_0)^2 + \dots \quad (3)$$

với  $T$  là nhiệt độ nghiên cứu,  $T_0$  và  $P_0$  là nhiệt độ ban đầu. Trong trường hợp này  $T_0 = 298$  K và  $P_0 \approx 0$  GPa. Thông thường, những số hạng bậc cao không đáng tin cậy [12] nên trong nghiên cứu này chỉ lấy số hạng đầu tiên.

b. Tính đạo hàm  $K_s'$  và  $G'$  theo nhiệt độ;

$$K_s'(T, P_0) = K_s'(T_0, P_0) \exp \int_{T_0}^T \alpha(T') d(T') = K_s'(298, 0) \exp \int_{298}^T \alpha(T') d(T')$$

$$G'(T, P_0) = G'(T_0, P_0) \exp \int_{T_0}^T \alpha(T') d(T') = G'(298, 0) \exp \int_{298}^T \alpha(T') d(T') \quad (4)$$

với tham số giãn nở nhiệt (thermal expansivity)

$$\alpha(T) = \alpha_0 + \alpha_1 * T + \alpha_2 * T^{-1} + \alpha_3 / T^2 \quad (5)$$

c. Tính mật độ riêng tại áp suất chuẩn và nhiệt độ cao:

$$\rho_{T,0} = \rho_0 \exp - \int_{298}^T \alpha(T') d(T') \quad (6)$$

d. Sử dụng phương trình bậc 3 EoS tính hằng số biến dạng ( $\varepsilon$ ) tại nhiệt độ và áp suất cao:

$$P = -3\varepsilon K_0(T) ((1 - 2\varepsilon)^{5/2} (1 + (3/2)\varepsilon(4 - K'(T)))) \quad (7)$$

với  $K_0(T)$  là modul khối đẳng nhiệt và  $K'(T)$  đạo hàm theo áp suất tại áp suất chuẩn và nhiệt độ nghiên cứu  $T$ .

$$K_0(T) = K_s (1 + \alpha \gamma T)^{-1} \quad (8)$$

$$K'(T) = \left(\frac{dK_T}{dP}\right)_T \cong (1 + \alpha \gamma T)^{-1} \left[ \left(\frac{dK_s}{dP}\right)_T - \frac{\gamma T}{K_T} \left(\frac{dK_T}{dT}\right)_P \right]$$

và (9)

Trong trường hợp này chúng ta giả sử:  $K'_T(T, 0) \approx K'_s(T, 0)$

e. Tính mật độ tại điều kiện nhiệt độ và áp suất cao:

$$\rho = \rho_0(1-2\varepsilon)^{3/2} \quad (10)$$

f. Từ phương trình bậc 3 EoS tính vận tốc tại áp suất đạt tới 11 GPa và nhiệt độ 1073 K theo công thức:

$$\rho V_p^2 = (1-2\varepsilon)^{5/2} \left[ K_s(T,0) + \frac{4}{3}G(T,0) + \varepsilon(5K_s(T,0) + \frac{20}{3}) * G(T,0) - 3K_s(T,0)K_s'(T,0) - 4K_s(T,0)G'(T,0) \right] \quad (11)$$

$$\rho V_s^2 = (1-2\varepsilon)^{5/2} \left[ G(T,0) + \varepsilon(5G(T,0) - 3K_s(T,0)G'(T,0)) \right] \quad (12)$$

g. Từ giá trị  $\rho V_p^2$ ,  $\rho V_s^2$  và mật độ  $\rho$  xác định được vận tốc sóng dọc và vận tốc sóng ngang của từng khoáng vật tại áp suất thay đổi từ 0 đến 11 GPa và nhiệt độ 1073 K.

h. Từ kết quả xác định sự phụ thuộc  $V_p$ ,  $V_s$  vào áp suất thay đổi từ 0 tới 11 GPa tại nhiệt độ 1073 K, sử dụng phương trình bậc 3 EoS để tính các modul đàn hồi đoạn nhiệt tại cùng một điều kiện nhiệt độ và áp suất cho từng loại khoáng vật.

i. Biết được modul đàn hồi và mật độ của từng khoáng vật tại nhiệt độ và áp suất nghiên cứu, với giả thiết là môi trường quan tâm biệt lập, đẳng hướng thì modul đàn hồi đoạn nhiệt ( $K_s$  and  $G$ ) của các tổ hợp các khoáng vật khác nhau có thể tính được dựa trên phương pháp trung bình Voigt-Reuss-Hill, mật độ của tổ hợp các khoáng vật được tính theo phương pháp trung bình Voigt [9,15]:

$$M = \sum_{i=1}^n a_i M_i \quad (13)$$

$M$  là modul đàn hồi đoạn nhiệt ( $K$ ,  $G$ ) hoặc mật độ của tổ hợp các khoáng vật,  $M_i$  là modul đàn hồi đoạn nhiệt hoặc mật độ tương ứng của từng khoáng vật tham gia tổ hợp,  $a_i$  là tỷ lệ (theo thể tích) tương ứng của khoáng vật thứ  $i$  tham gia tổ hợp khoáng vật.

k. Từ các modul đàn hồi đoạn nhiệt tại nhiệt độ 1073 K có thể tính vận tốc của tổ hợp các khoáng vật phụ thuộc vào áp suất tới 11 GPa theo phương trình:

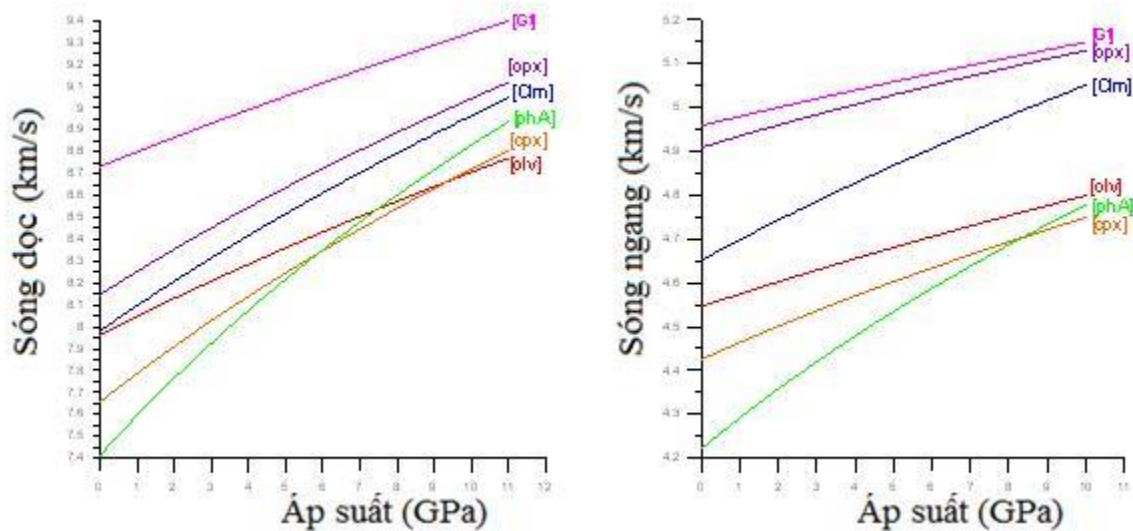
$$V_p = \sqrt{\frac{(K_s + \frac{4}{3}G)}{\rho}} \quad \text{and} \quad V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (14)$$

### III. PHÂN TÍCH KHẢ NĂNG SỬ DỤNG TÀI LIỆU ĐỊA CHẤN ĐỂ XÁC ĐỊNH SỰ CÓ MẶT CỦA CÁC ĐÁ NGẬM NƯỚC Ở CẤU TRÚC SÂU CỦA TRÁI ĐẤT.

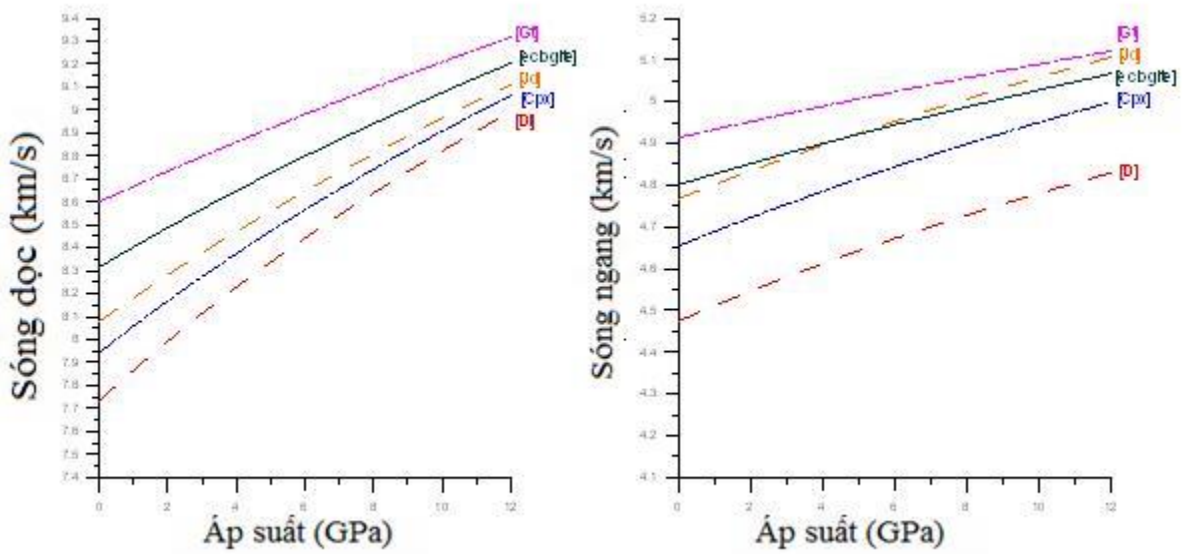
Hình 1 và 2 chỉ ra sự phụ thuộc  $V_p$  và  $V_s$  vào áp suất của các khoáng vật trong harzburgit không ngậm nước và ngậm nước (peridotit, Hình 1) và eclogit (Hình 2). Trong cả 2 trường hợp (peridotit và eclogit), granat đều có vận tốc cao nhất. Tại áp suất thấp, pha A thể hiện vận tốc  $V_p$  và  $V_s$  thấp, tuy nhiên các giá trị này tăng nhanh khi áp suất tăng; nói cách khác, pha A có gradient  $dV/dP$  lớn nên khi áp suất tăng lên (trên 6 GPa cho  $V_p$  và 8,4 GPa cho  $V_s$ ) thì vận tốc của pha A có giá trị đạt tới vận tốc của Cpx và olivin. Vận tốc  $V_p$ ,  $V_s$  của clinohumit khá cao, có giá trị trung bình trong khoảng vận tốc của các khoáng vật không ngậm nước thuộc peridotit và eclogit, giữa granat/Cen và olivin/Cpx/pha A.

Hình 3 là biểu đồ thể hiện mối tương quan về sự biến đổi vận tốc truyền sóng khi thay đổi áp suất từ 0 đến 11 GPa (ở độ sâu khoảng 300 km) và nhiệt độ cố định 1073 K của các pha ngậm nước (harzburgit) chứa clinohumit và pha A với peridotit không ngậm nước và eclogit. Do eclogit

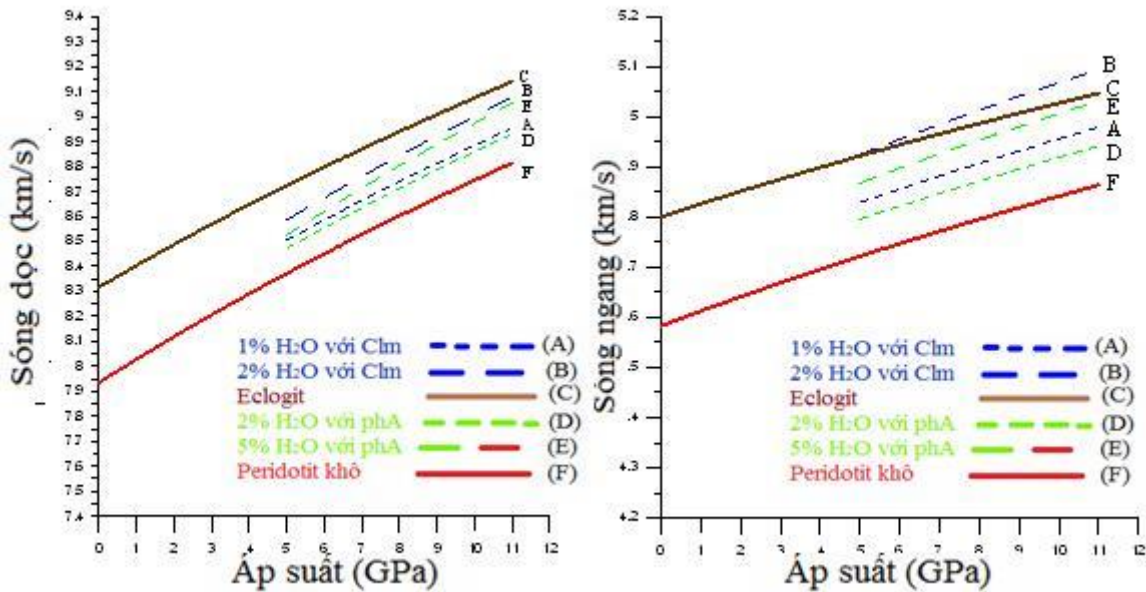
chứa một tỷ lệ lớn granat, khoáng vật có vận tốc truyền sóng lớn hơn so với các khoáng vật còn lại nên nó có vận tốc lớn nhất. Ngược lại, peridotit không ngậm nước lại có vận tốc thấp nhất do nó chứa một lượng lớn olivin là khoáng vật có vận tốc truyền sóng thấp. Đối với các tổ hợp khoáng vật ngậm nước (harzburgit) thì loại chứa clinohumit có vận tốc lớn hơn loại chứa pha A, do vận tốc của clinohumit lớn hơn. Pha A chỉ có vận tốc thấp so với olivin khi áp suất thấp. Bên cạnh đó, trong tổ hợp khoáng vật (harzburgit) khi hàm lượng pha A tăng đồng nghĩa với số lượng cen tăng, dẫn đến tổng thể thì vận tốc của đá (tổ hợp khoáng vật) cũng tăng lên với sự có mặt của nước. Một điều đáng chú ý là hàm lượng nước trong đá càng cao thì vận tốc truyền sóng càng lớn và tốc độ tăng càng nhanh theo chiều tăng của áp suất, dẫn đến hiện tượng đá chứa clinohumit với 2% nước có vận tốc sóng ngang Vs cao hơn eclogit khi áp suất đạt tới giá trị 5 GPa.



Hình 1. Sự phụ thuộc vào áp suất của vận tốc  $V_p$  (a) và  $V_s$  (b) của pha A và clinohumit và các khoáng vật không ngậm nước trong peridotit tại nhiệt độ 1073 K.



Hình 2. Sự phụ thuộc vào áp suất của vận tốc  $V_p$  (a) và  $V_s$  (b) của granat và các pyroxen trong eclogit tại nhiệt độ 1073 K.



Hình 3. Biến đổi của vận tốc  $V_p$  (a) và  $V_s$  (b) của các khoáng vật ngậm nước và không ngậm nước khi áp suất thay đổi từ 0 đến 11 GPa và nhiệt độ cố định 1073 K.

Bảng 2. Sự thay đổi  $V_p$ ,  $V_s$  theo phần trăm ( $x_p$ ) của các loại peridotit ngậm nước theo áp suất (tính theo công thức 15)

Điều kiện	$V_p$ thay đổi (%)	$V_s$ thay đổi (%)
-----------	--------------------	--------------------



Tổ hợp	6 GPa	11 GPa	6 GPa	11 GPa
1% H <sub>2</sub> O bởi Clm	1,26	1,36	2,33	2,47
2% H <sub>2</sub> O bởi Clm	2,33	2,81	4,43	4,87
2% H <sub>2</sub> O bởi pha A	0,84	0,94	1,58	1,59
5% H <sub>2</sub> O bởi pha A	1,61	2,33	3,17	3,44

$$x_p = \left[ \frac{(V_{\text{tổ hợp không chứa nước}} - V_{\text{peridotit khô}}) \times 100}{V_{\text{peridotit khô}}} \right]_P \quad (15)$$

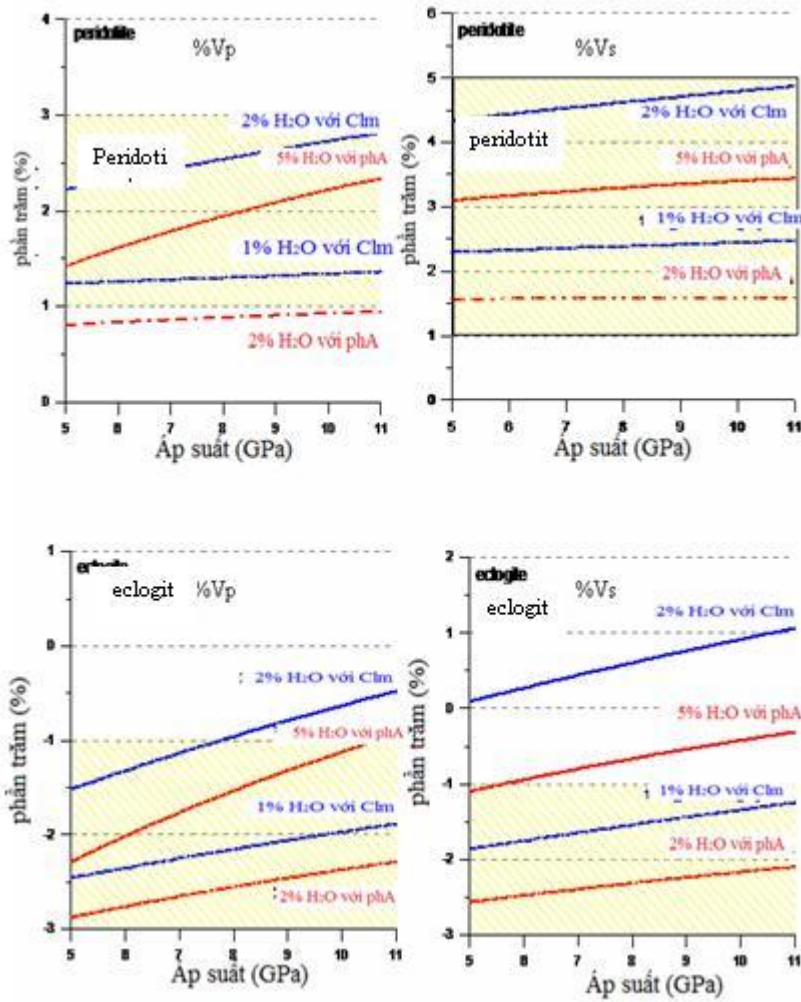
**Bảng 3. Sự thay đổi phần trăm ( $x_p$ ) vận tốc sóng  $V_p$ ,  $V_s$  của các peridotit ngậm nước so với eclogit (tính theo công thức 16).**

Điều kiện Tổ hợp	$V_p$ thay đổi (%)		$V_s$ thay đổi (%)	
	6 GPa	11 GPa	6 GPa	11 GPa
1%kl H <sub>2</sub> O bởi Clm	-2,35	-1,88	-1,75	-1,24
2%kl H <sub>2</sub> O bởi Clm	-1,32	-0,48	0,27	1,06
2%kl H <sub>2</sub> O bởi pha A	-2,76	-2,29	-2,47	-2,1
5%kl H <sub>2</sub> O bởi pha A	-2,05	-0,94	-0,94	-0,31

**Bảng 4: Đặc trưng đàn hồi của các khoáng vật trong điều kiện chuẩn (298 K và 0 GPa) dựa theo các tài liệu đã được công bố**

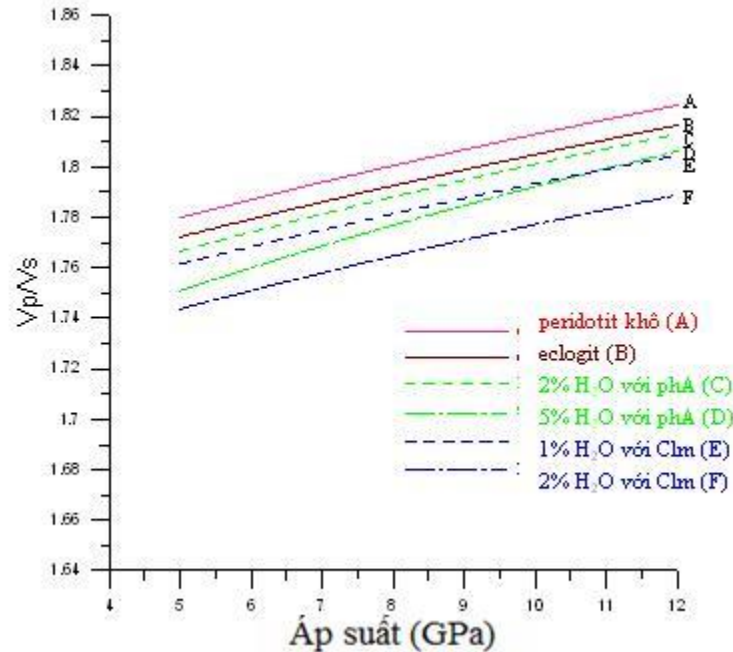
Pha	Ký hiệu	Công thức	Mật độ (g/cm <sup>3</sup> )	$\alpha_0$ (10 <sup>-5</sup> □K <sup>-1</sup> )	$\alpha_1$ (10 <sup>-8</sup> □K <sup>-2</sup> )	$\alpha_2$	$\alpha_3$ (K)	$\gamma$	$K_{\sigma\sigma}$ (GPa)	$(\partial K_{\sigma} / \partial P)$	$(\partial K_{\sigma} / \partial T)$ GPa.K <sup>-1</sup>	$\mu$ (GPa)	$(\partial \mu / \partial P)$ GPa.K <sup>-1</sup>	$(\partial \mu / \partial T)$ GPa.K <sup>-1</sup>
peridotite														
dry-peridotite	dry-per	Olv75Cpx25Gt5	3,5193	2,861	1,09195	0	-0,4117	1,28	134,89	4,785	-0,01683	81,235	1,54	-0,01
Phase A	phA	Mg7Si2O8(OH)6	2,92	6,84	-0,1742	-0,013	0,962	1,16	100(1)	6,3(1)	-0,017	61(1)	2,2(1)	-0,01
clinohumite	Clm	Mg9Si4O16(OH)2	3,12	5,21	-1,19	-0,011	1,042	1,13	119(2)	4,8(3)	-0,016	77(1)	1,9(2)	-0,01
Sanctus Olivine	Fo90	(Mg0,9Fe0,1)2SiO4	3,343(1)	2,804	1,024	0	-0,351	1,28	130(2)	4,1(2)	-0,017	78,2(1,0)	1,4(2)	-0,01
ortho-pyroxen	opx	(Mg0,9Fe0,1)2Si2O6	3,295(9)	2,01	2,1	0	0	0,9	124(2)	5,5(3)	-0,017	89(2)	1,5(1)	-0,01
Ca-rich orthopyroxene	Cpx	Ca(Mg0,9Fe0,1)Si2O6	3,310(7)	2,6	1,15	0	-0,5	1,06	115(3)	6,0(3)	-0,0123	71(1)	1,7(2)	-0,01
Garnet-Majorite	Gt	Py68Alm16Gr16	3,691(5)	2,16	0,729	0	-0,469	1,1	172,8(2,0)	4,2(1)	-0,02	96,7(1,0)	1,3(1)	-0,01
Eclogite														
Jadeite	Jd	NaAlSi2O6	3,32	2,56	0,26	0	0	1,22	126	5,0(5)	-0,016	84	1,7	-0,01
Diopside	Di	CaMgSi2O6	3,270(5)	2,6	1,15	0	-0,5	1,06	114(2)	6,1(3)	-0,0123	72,1(8)	1,7(2)	-0,01

pyroxene	Cpx	Jd60Di40	3,3	2,576	0,616	0	-0,2	1,15	114	6,1	-0,0145	79,24	1,7	-0,
Garnet	Gt	Py35Alm35Gr30	3,836	2,013	0,883	-0,485	-	1,03	172,2	4,32	-0,02	99,2	1,2(1)	-0



Hình 4. Sự thay đổi phần trăm vận tốc sóng  $V_p$ ,  $V_s$  của peridotit ngậm nước so với peridotit không ngậm nước và eclogit khi áp suất thay đổi từ 5 tới 11 GPa tại nhiệt độ 1073 K. Màu vàng chỉ ranh giới vùng có sự thay đổi đạt tới + hoặc - 1%.





Hình 5. Sự phụ thuộc của tỷ số  $V_p/V_s$  vào áp suất của tổ hợp các khoáng vật ngậm nước, eclogit, peridotit không ngậm nước trong điều kiện bị hút chìm với áp suất đạt tới 11 GPa và nhiệt độ 1073 K.

$$X_p = \left[ \frac{(V_{\text{tổ hợp khoáng vật ngậm nước}} - V_{\text{eclogite}}) \times 100}{V_{\text{eclogite}}} \right]_p \quad (16)$$

Bảng 2 và 3 chỉ ra phần trăm chênh lệch về vận tốc của các đá ngậm nước và không ngậm nước tính cho khoảng áp suất từ 6 đến 11 GPa, nhiệt độ 1073 K. Hình 4 biểu thị chênh lệch trên dưới dạng biểu đồ; hình này cho thấy, sự có mặt của các pha ngậm nước có thể làm giá trị chênh lệch vận tốc lớn hơn 1 % (vùng màu vàng), đó là một sự khác biệt mà địa chấn có thể phát hiện ra. Điều đáng chú ý là giá trị chênh lệch về vận tốc của pha ngậm nước so với pha không ngậm nước đã đổi dấu từ âm sang dương khi áp suất tăng, trái với nhiều suy nghĩ ban đầu là các pha ngậm nước sẽ làm cho vận tốc của các đá chứa nó có vận tốc thấp đi.

Tỷ số  $V_p/V_s$  (Hình 5) cho thấy thay đổi không đáng kể, nằm trong giới hạn của peridotit không ngậm nước (1,79) đến peridotit ngậm 2% H<sub>2</sub>O bởi clinohumit (1,74). Điều khác biệt này khó được dùng để chỉ ra sự có mặt của các pha peridotit ngậm nước.

### KẾT LUẬN

Các kết quả xác định vận tốc truyền sóng  $V_p$ ,  $V_s$  của các khoáng vật ở điều kiện nhiệt độ, áp suất của đới hút chìm cho thấy vận tốc của cả khoáng vật không ngậm nước (olivine, granat, pyroxen cao và thấp Ca, clinopyroxen jadeit) khoáng vật ngậm nước (clinohumit, pha A) đều tăng theo chiều tăng của áp suất, nhưng với các gradient khác nhau. Gradient vận tốc của clinohumit tương tự các khoáng vật không ngậm nước, tuy nhiên gradient vận tốc của pha A thì lại lớn hơn hẳn, kết quả là từ giá trị thấp nhất, pha A đã có vận tốc vượt lên Cpx và Olv tại áp suất lớn hơn 11 GPa. Điều cần nhấn mạnh là nghiên cứu này đã chứng minh vận tốc truyền sóng của peridotit ngậm

nước cao hơn peridotit không ngậm nước, bằng và thậm chí cao hơn của eclogit. Điều này trái với dự đoán ban đầu là sự có mặt của các pha ngậm nước sẽ làm giảm vận tốc truyền sóng của các đá chứa chúng tạo nên các dị thường vận tốc âm trong địa chấn mô phỏng.

Sự khác biệt về vận tốc giữa các đá ngậm nước và không ngậm nước có thể đạt đến trên 1%, là giá trị có thể nhận biết theo tài liệu địa chấn. Điều này cho phép khoanh vùng thạch học ở đới hút chìm dựa trên những dị thường của vận tốc truyền sóng. Kết quả của công trình này cho thấy nghiên cứu đặc tính lan truyền sóng địa chấn trong các thành tạo peridotit chứa nước là một phương pháp khả dĩ để nghiên cứu cấu trúc và vận động của đới hút chìm, qua đó đánh giá các đặc điểm địa động lực và tiềm năng động đất. Những kết quả này có thể ứng dụng khi nghiên cứu cấu trúc địa chất Việt Nam và các vùng kế cận (Đông Nam Á), nơi được bao bọc bởi các đới hút chìm và va chạm, trong đó, đặc biệt là sự phát triển của các đới hút chìm Philippines, Manila, Indonesia cùng với các thành tạo peridotit đa dạng và phức tạp và cũng là nơi những có vận động kiến tạo mạnh mẽ, động đất, tai biến xảy ra với tần suất cao.

*Lời cảm ơn:* Nhân dịp công bố bài báo tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành tới GS.TS. Peter Ulmer, TS. Reusser Eric, PGS.TS. Sanchez-Valle đã giúp đỡ tận tình để công trình được hoàn thành.

## REFERENCES

1. Angel R.J., Chopelas A., Ross N.L., 1992. Stability of high-density clinoenstatite at upper-mantle pressures. *Nature*, 358 : 322-358.
2. Duffy S.T. and Anderson L.D. 1989. Seismic velocities in mantle minerals and the mineralogy of the upper mantle. *J. of Geophysical Res., B, Solid Earth and Planets*, 94/B2 : 1895-1912.
3. Hemingway B.S., S.R. Bohlen, W.B. Hankins, Westrum Jr.E.F., and Kuskov O.L., 1998. Heat capacity and thermodynamic properties for coesite and jadeite, reexamination of the quartz-coesite equilibrium boundary. *American Mineralogist*, 83 : 409-418.
4. Kessel R., Ulmer P., Pettke T., Schmidt M.W., Thompson A.B., 2005. The water-basalt system at 4 to 6 GPa: Phase relations and second critical endpoint in a K-free eclogite at 700 to 1400 °C. *Earth and Planetary Sci. Lett.*, 237/3-4 : 873-892.
5. Komabayashi T., Omori S., Maruyama S., 2005. Experimental and theoretical study of stability of dense hydrous magnesium silicates in the deep upper mantle. *Phys. Earth Planet. Int.*, 153 : 191-209.
6. Phan H.T., Reusser E., Ulmer P., 2006. Ultrasonic wave propagation measurements of polycrystalline samples of olivine, clinohumite and phase A at high pressures of 2 to 8 GPa. *4<sup>th</sup> Swiss Geosci. Meeting, Abstr.*, 166. Bern.
7. Phan H.T., Ulmer P., Reusser E., Burlini L. (in preparation). Elastic wave velocity measurements for clinohumite in a multi-anvil apparatus up to 11 GPa pressure. *Chapter 4 of this thesis*.
8. Phan H.T., Ulmer P., Reusser E., Burlini L. (in preparation). Elastic wave velocity measurements of polycrystalline phase A ( $Mg_7Si_2O_8(OH)_6$ ) at high pressures in a multi-anvil apparatus. *Chapter 5 of this thesis*.

- 9. Sanchez-Valle C., Sinogeikin S.V., Smyth J.R., and Bass J.D., 2008.** Sound velocities and elasticity of DHMS phase A to high pressure and implication for seismic velocities and anisotropy in subducted slabs. *Physics of the Earth and Planetary interiors: s0031-9201(08)00173-8*.
- 10. Schmidt M.W. and Poli S., 1998.** Experimentally based water budgets for dehydrating slabs and consequences for arc magma generation. *Earth and Planetary Sci. Lett.* 163 : 361-379.
- 11. Smith D., Griffin W.L., Ryan C.G., 1993.** Compositional evolution of high-temperature sheared lherzolite PHN1611. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 57 : 605-613.
- 12. Suzuki I.,O. Anderson L., Sumino Y., 1983.** Elastic properties of a single crystal forsterite  $Mg_2SiO_4$  up to 1,200 K. *Physics and Chemistry of Minerals*, 10 : 38-46.
- 13. Ulmer P. and Trommsdorff V., 1995.** Serpentine stability to mantle depth and subduction related magmatism. *Science*, 268 : 858-861.
- 14. Vacher P., Mocquet A., Sotin C., 1998.** Computation of seismic profiles from mineral physics: the importance of the non-olivine components for explaining the 660 km depth discontinuity. *Phys. of the Earth and Planetary interiors*, 106 : 275-298.
- 15. Watt P.J., Davies G.F., Connell R.J., 1976.** The elastic properties of composite materials. *Rev. Geophys. Space Phys*, 14 : 541-563.
- 16. Zha C.S., Duffy T.S., Downs R.T., Mao H.K., Hemley R.J., 1996.** Sound velocity and elasticity of single-crystal forsterite to 16 GPa. *J. Geophys. Res.* 101/8 : 17535.