BIỂU HIỆN HOẠT ĐỘNG CỦA THẠCH QUYỂN Ở MIỀN TÂY BẮC BỘ

LÊ VĂN DŨNG, CAO ĐÌNH TRIỀU

Viện Vật lý Địa cầu, Viện KH&CN Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

Tóm tắt: *Bài báo này đề cập tới một mô hình cấu trúc và biểu hiện hoạt động của thạch quyển ở miền Tây Bắc Bộ. Kết quả nghiên cứu cho thấy:*

1. Vận tốc trung bình sóng P của thạch quyển ở Tây Bắc Bộ biến động trong giới hạn sau: lớp vỏ trầm tích là 2,1-4,96 km/s; vỏ kết tinh là 5,92-7,60 km/s và phần cứng trên cùng của đỉnh manti là 7,85-8,00 km/s.

2. Vỏ trầm tích ở Tây Bắc Bộ biến đổi trong giới hạn từ 0 tới 7-9 km: trung tâm võng Hà Nội (7-9 km); cấu trúc Sông Đà và Ninh Bình (4-6 km); khối nâng Sông Hồng, Sông Mã và Mường Tè (nhỏ hơn 2 km). Vỏ kết tinh có bề dày từ 18 đến 34 km: võng Hà Nội, nhỏ hơn 24 km; võng Sông Đà - Tú Lệ và đới nâng Sông Mã (26-28 km). Bề dày vỏ Trái đất tại các võng Sông Đà - Tú Lệ, Ninh Bình, Sông Hồng, khối nâng Sông Mã và vùng ven biển Thanh Hóa - Nghệ An nhỏ hơn 26 km. Bề dày của thạch quyển biến đổi trong giới hạn từ 84 tới 100 km, trong đó tại khối nâng Sông Hồng, võng Sông Hồng và dọc theo vùng ven biển Thanh Hóa - Nghệ An nhỏ hơn 94 km.

3. Thạch quyển ở Tây Bắc Bộ có biểu hiện hoạt động nâng phân dị trong tân kiến tạo, nơi chịu tác động dịch chuyển thẳng đứng lớn hơn cả là: đới Tú Lệ (5,0-8,5 mm/năm); đới Phan Si Pan (5,0-8,0 mm/năm) và đới Pu Si Lung (5,0-8,0 mm/năm). Độ sâu trung bình của tầng hoạt động động đất là khoảng 14 km.

4. Sáu đới phát sinh động đất chính được xác định gồm: Mường Tè với động đất lớn nhất đã xảy ra có M = 5,3; Lai Châu - Điện Biên (M = 5,6); Sông Mã (M = 6,8); Sơn La - Sông Đà (M = 6,7); Sông Hồng (M = 5,3) và Sông Cả (M = 5,2).

MỞ ĐẦU

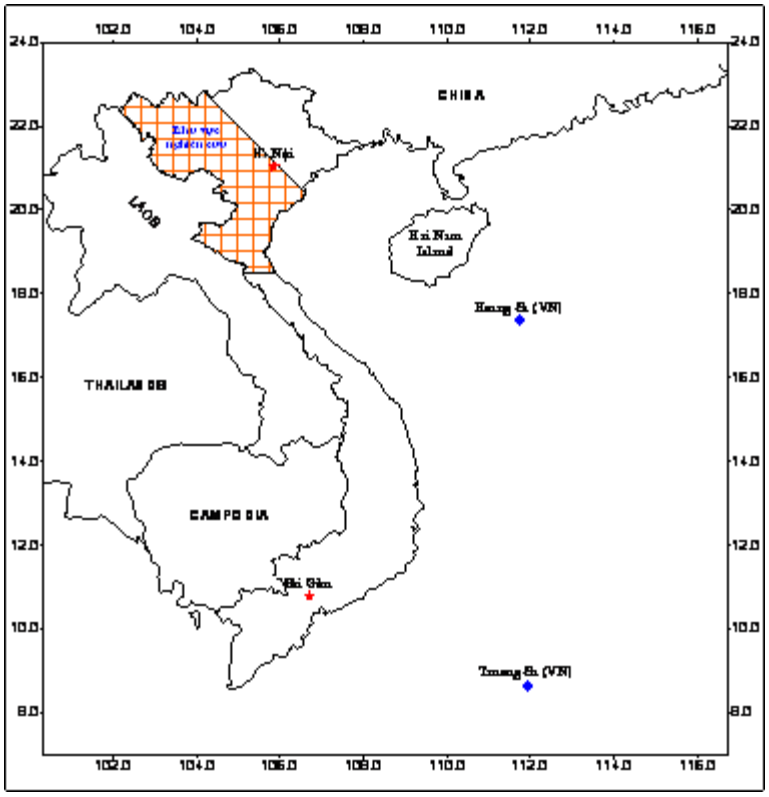
Miền Tây Bắc Bộ được các nhà địa chấn trong nước cho là nơi có biểu hiện hoạt động động đất mạnh nhất ở nước ta. Trong bài báo này, vùng nghiên cứu được giới hạn ở Hình 1. Theo số liệu quan trắc được thì tại nơi đây đã xảy ra 2 trận động đất mạnh nhất ở Việt Nam là: Điện Biên, 1935 (M = 6,8) và Tuần Giáo, 1983 (M = 6,7). Và cũng đã có nhiều công trình công bố về đặc trưng cấu trúc vỏ Trái đất và biểu hiện hoạt động động đất khu vực Tây Bắc Bộ [1, 6, 7, 11, 12]. Tuy vậy, các kết quả nghiên cứu trước đây chủ yếu phân tích đơn lẻ về đặc trưng hoạt động động đất và cấu trúc vỏ Trái đất trên cơ sở tài liệu trọng lực và từ. Trong khi đó đặc trưng cấu trúc thạch quyển, mô hình vận tốc truyền sóng của thạch quyển và manti trong mối quan hệ với hoạt động động đất chưa được đề cập tới. Trong khuôn khổ bài báo này chúng tôi tiến hành:

- Thiết lập mô hình cấu trúc thạch quyển ở Tây Bắc Bộ trên cơ sở phân tích kết hợp cắt lớp vận tốc sóng dọc địa chấn P với dị thường trọng lực Bouguer;

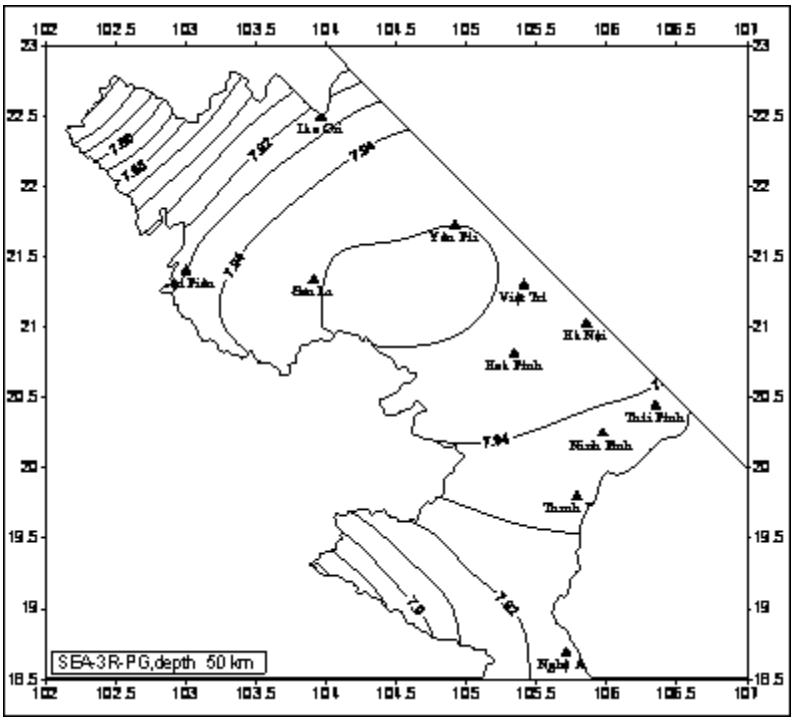
- Đánh giá vận tốc chuyển dịch thẳng đứng của thạch quyển trong tân kiến tạo;

- Đưa ra một số nét biểu hiện hoạt động động đất của thạch quyển.

Theo quan điểm truyền thống thì thạch quyển của Trái đất gồm các lớp chính sau:



Hình 1. *Vị trí khu vực nghiên cứu.*



Hình 2. *Vận tốc sóng (P) ở Tây Bắc Bộ tại độ sâu 50 km.*

- Vỏ trầm tích, ranh giới dưới là mặt móng kết tinh;

- Vỏ kết tinh, gồm hai lớp là: granit (có móng Conrad) và bazan (có mặt móng Moho);

- Phần cứng trên cùng của đỉnh manti.

Độ sâu trung bình của đáy thạch quyển Trái đất biến đổi trong phạm vi từ 80 đến 120 km, dày nhất tại các đới chồng chập và lục địa (từ 100 đến hơn 120 km), mỏng nhất tại đới tách giãn đại dương, có thể nhỏ hơn 80 km.

I. MÔ HÌNH CẤU TRÚC THẠCH QUYỂN TÂY BẮC BỘ

1. Mô hình vận tốc sóng P (sóng dọc địa chấn) của thạch quyển và manti

Mô hình vận tốc sóng P của thạch quyển và manti ở Tây Bắc Bộ được biểu diễn ví dụ trong các Hình 2, 3 và 4. Phương pháp nghiên cứu được đề cập chi tiết trong [4, 9, 10, 12]. Việc thiết lập mặt cắt vận tốc được tiến hành theo quy trình sau:

- Vận tốc truyền sóng được tính toán bắt đầu từ lớp dưới vỏ Trái đất (lấy trung bình là 35 km), lần lượt sau đó là các độ sâu 50, 75, 100, ... (cách nhau 25 km)..., đến 850 km;

- Xây dựng mặt cắt vận tốc sóng P theo độ sâu tới 850 km. Cũng tương tự, các mặt cắt dị thường vận tốc sóng P cho tới độ sâu 850 km cũng được thiết lập.

Các kết quả phân tích cắt lớp sóng địa chấn cho phép chúng ta rút ra một số nhận định sau:

1/ Vận tốc truyền sóng P trung bình của vỏ Trái đất biến động trong giới hạn: vận tốc của lớp vỏ trầm tích là 2,1-4,96 km/s, của lớp vỏ kết tinh là 5,92-7,60 km/s.

2/ Vận tốc trung bình sóng P lớp dưới vỏ (phần cứng trên cùng của đỉnh manti) là 7,85-8,0 km/s.

3/ Lớp quyển mềm có vận tóc sóng P trung bình là 8,0-8,20 km/s.

4/ Vận tốc sóng P đạt giá trị trung bình tại lớp chuyển tiếp (từ độ sâu 450-470 km đến 650 km) là 9,50-10,50 km/s.

5/ Manti dưới có giá trị vận tốc trung bình sóng P biến đổi trong giới hạn 10,80-10,95 km/s.

2. Mô hình mật độ thạch quyển và manti ở Tây Bắc Bộ

Mô hình mật độ thạch quyển Tây Bắc Bộ được thiết lập trên cơ sở:

1/ Mật độ của đất đá lớp trầm tích được xác định dựa theo kết quả nghiên cứu về phân bố mật độ của đất đá và quặng trên lãnh thổ Việt Nam (Nguyễn Khải và nnk., 1984, Lưu trữ Liên đoàn Vật lý Địa chất, Tổng cục Địa chất và Khoáng sản).

2/ Đối với vỏ kết tinh và thượng manti chúng tôi sử dụng công thức tính tương quan giữa giá trị mật độ và vận tốc truyền sóng dọc của Pudiurov [trong 10]: $VP = 6\rho - 11$, trong đó: VP (km/s), ρ (g/cm^3).

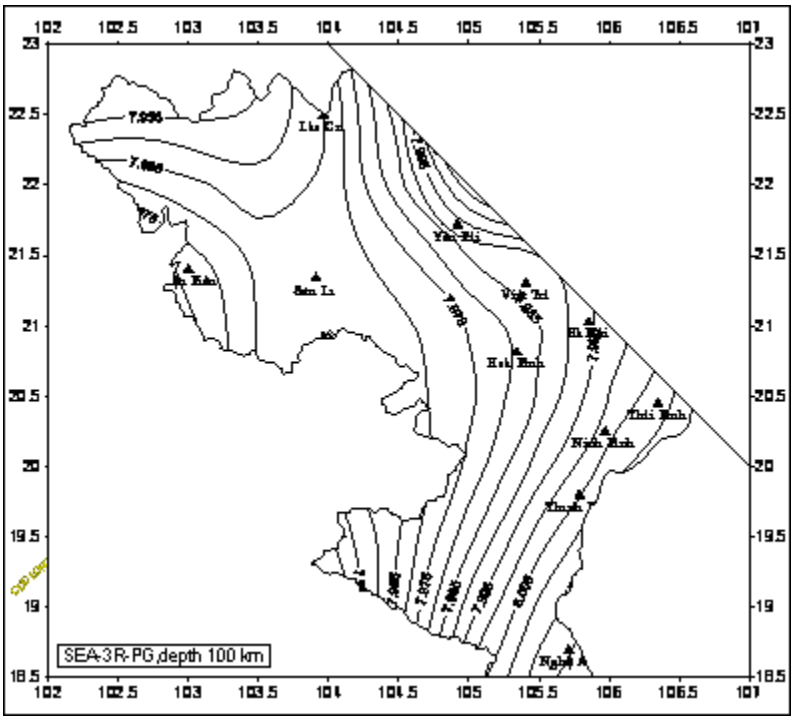
3/ Tổng hợp kết quả cuối cùng nhằm xây dựng mô hình mật độ bằng cách giải bài toán ngược trọng lực 2D và 3D.

3. Phân tích kết hợp tài liệu trọng lực và mô hình vận tốc sóng dọc P nghiên cứu cấu trúc thạch quyển ở Tây Bắc Bộ

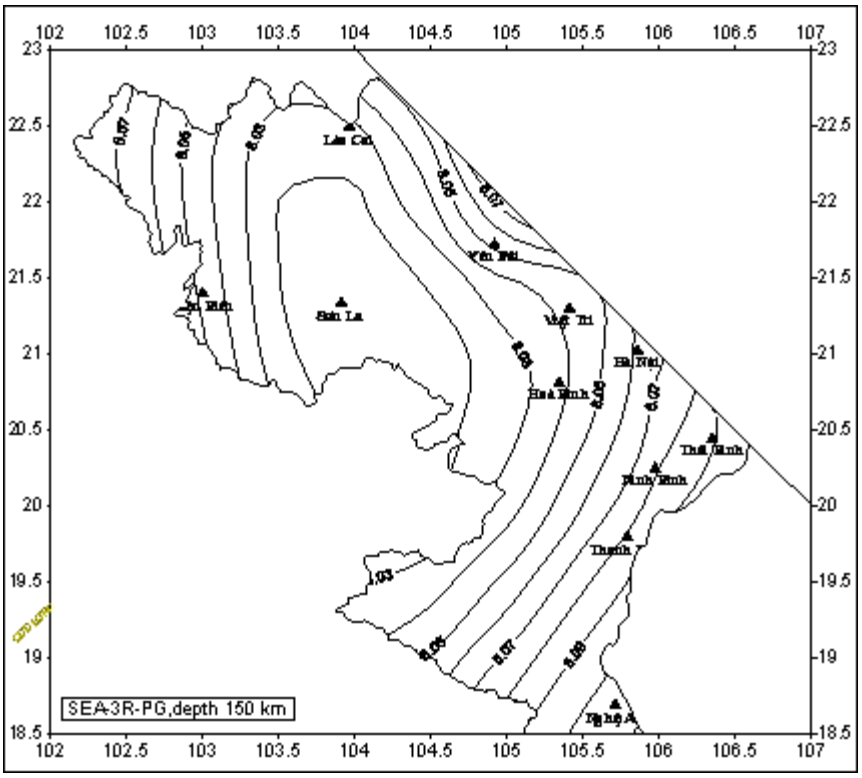
Đặc trưng cấu trúc của thạch quyển ở Tây Bắc Bộ được thiết lập trên cơ sở tài liệu cắt lớp sóng địa chấn và tài liệu trọng lực, có sử dụng các kết quả nghiên cứu trước đây về đặc trưng cấu trúc vỏ Trái đất [5].

Ranh giới dưới của thạch quyển được thiết lập trên cơ sở:

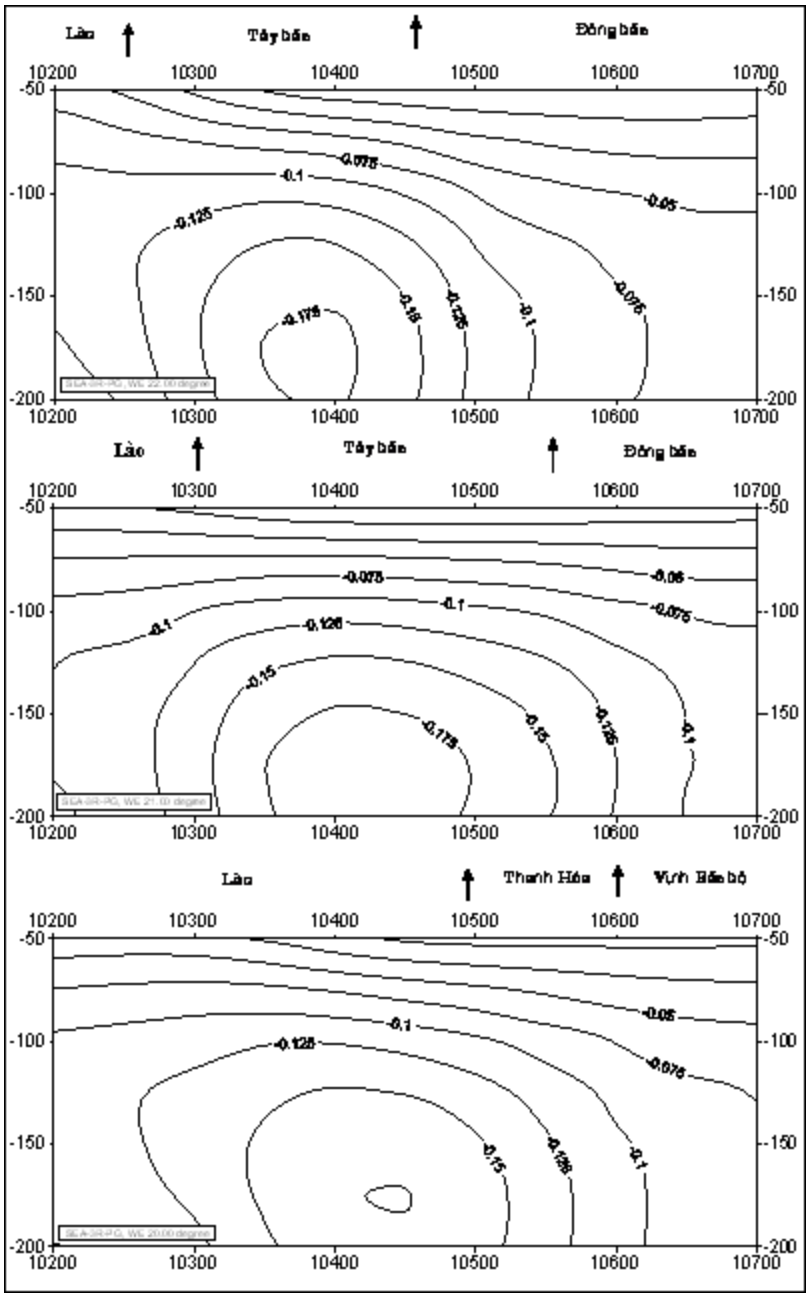
- Mặt cắt dị thường vận tốc sóng P (Hình 5). Đây là ranh giới phản ánh sự thay đổi vận tốc truyền sóng phần dưới của thạch quyển (phần cứng của đỉnh manti) có vận tốc lớn hơn phần phía trên quyển dẻo. Lớp này trùng với đường đẳng trị - 0,05 km/s của dị thường sóng P [8, 9].



Hình 3. *Vận tốc sóng P ở Tây Bắc Bộ tại độ sâu 100 km.*



Hình 4. *Giá trị vận tốc sóng P ở độ sâu 150 km tại khu vực Tây Bắc Bộ.*



Hình 5. *Dị thường vận tốc sóng P dọc theo các tuyến trùng với vĩ độ: 20^0, 21^0, 22^0*

- Giải bài toán mô hình trọng lực 2D và 3D với giá trị mật độ trung bình của lớp đỉnh manti bằng 3,40 g/cm^3, mật độ lớp quyển dẻo (asthenosphere) bằng 3,20 g/cm^3 và mật độ trung bình vỏ Trái đất là 2,90 g/cm^3 [3, 5].

- Độ sâu mặt Moho, mặt móng kết tinh sử dụng trong công trình này là các kết quả được công bố trước đây của tác giả [5].

4. Một số nét đặc trưng cấu trúc thạch quyển ở Tây Bắc Bộ

Trên cơ sở hệ phương pháp phân tích kết hợp như đã trình bày [3-5, 8-10] chúng tôi đã xây dựng được bề dày của các lớp cơ bản của thạch quyển Tây Bắc Bộ (Hình 6-9) và cho thấy một số đặc trưng được trình bày dưới đây:

4.1. Bề dày vỏ trầm tích: Tổng bề dày vỏ trầm tích vùng nghiên cứu biến đổi khá phức tạp, từ 0 tới 7-9 km. Vỏ trầm tích dày nhất tại vùng trung tâm võng Hà Nội có thể đạt tới 7-9 km. Cấu trúc Sông Đà, Ninh Bình có bề dày trầm tích tới 4-6 km. Tại các khối nâng Sông Hồng, Sông Mã và Mường Tè tổng bề dày của trầm tích nhỏ hơn 2 km. Các khu vực còn lại có giá trị bề dày của vỏ này biến đổi trong phạm vi 3-4 km (Hình 6).

4.2. Bề dày vỏ kết tinh: Bề dày vỏ kết tinh khu vực nghiên cứu biến đổi trong giới hạn từ 18 đến 34 km. Vỏ này có giá trị bề dày nhỏ nhất, nhỏ hơn 24 km, tại các trũng Hà Nội, Sông Đà và Tú Lệ. Đới nâng Sông Mã cũng là nơi có bề dày của vỏ kết tinh khá mỏng, chỉ nằm ở mức 26-28 km. Các khu vực còn lại giá trị tổng bề dày của vỏ này nằm trong giới hạn 28-34 km (Hình 7).

4.3. Bề dày vỏ Trái đất: Bề dày vỏ Trái đất ở Tây Bắc Bộ có giá trị biến đổi trong giới hạn từ nhỏ hơn 22 km tới trên 38 km (Hình 8). Các trũng Sông Đà, Tú Lệ, Ninh Bình, Hà Nội, khối nâng Sông Hồng, Sông Mã và dải ven biển Thanh Hóa - Nghệ An có bề dày vỏ Trái đất nhỏ hơn 26 km. Trong khi các khu vực còn lại giá trị bề dày vỏ nằm trong giới hạn từ 27 đến hơn 38 km.

4.4. Bề dày thạch quyển: Bề dày thạch quyển ở Tây Bắc Bộ được trình bày trong Hình 9 với giá trị biến đổi trong giới hạn từ 84 tới 100 km. Khối nâng Sông Hồng, trũng Hà Nội và dải ven biển Thanh Hóa - Nghệ An có bề dày thạch quyển nhỏ hơn 94 km. Vùng Mường Tè - Lai Châu có giá trị bề dày đạt trên 97 km. Trong khi tại các khu vực còn lại giá trị này nằm trong khoảng từ 95 đến 97 km.

II. BIỂU HIỆN HOẠT ĐỘNG CỦA THẠCH QUYỂN Ở TÂY BẮC BỘ

1. Mô hình dịch chuyển thẳng đứng của thạch quyển trong tân kiến tạo

Cơ sở chính để thiết lập vận tốc dịch chuyển thẳng đứng thạch quyển ở Tây Bắc Bộ trong tân kiến tạo dựa trên việc chấp nhận sự tồn tại của bề mặt san bằng vào thời kỳ tách giãn trũng nước sâu đại dương (tách giãn Biển Đông), khoảng 32 Tr.n. [2]. Tuổi của các bậc độ cao địa hình tương ứng được chấp nhận theo kết quả nghiên cứu của Lê Đức An [10].

Kết quả nghiên cứu áp dụng cho khu vực Tây Bắc Bộ cho thấy:

- Nhìn chung, vận tốc dịch chuyển thẳng đứng thạch quyển ở Tây Bắc Bộ trong tân kiến tạo đạt giá trị trung bình nhỏ hơn 8,5 mm/năm. Các vùng chịu tác động dịch chuyển thẳng đứng lớn hơn cả là: đới Tú Lệ (5,0-8,5 mm/năm); đới Phan Si Pan (5,0-8,0 mm/năm; đới Pu Si Lung (5,0-8,0 mm/năm).

- Các đới Mường Tè, Mường Nhé, Nậm Cô, Sông Mã, Sầm Nưa - Hoành Sơn, Phu Hoạt có vận tốc dịch chuyển thẳng đứng thạch quyển trong tân kiến tạo đạt giá trị trung bình là 2,0-5,0 mm/năm.

- Đới nâng Sông Hồng, các trũng Hà Nội, Ninh Bình, Sông Mã, Kim Cương và Hoành Sơn có giá trị vận tốc dịch chuyển thẳng đứng trong tân kiến tạo nhỏ hơn 2 mm/năm.

2. Các đới đứt gãy có biểu hiện hoạt động

Các đới đứt gãy hoạt động ở Tây Bắc Bộ đã được các tác giả đề cập khá nhiều lần trong các công bố của mình [1, 5-7]. Trong bài báo này chúng tôi chỉ điểm qua một số nét chính về biểu hiện hoạt động động đất của một số đới đứt gãy chính (Hình 11).

Các đới đứt gãy được phân cấp theo thứ tự cấp I, cấp II, cấp III (Việt Nam) [1, 5-7]. Việc phân định dựa trên mức độ ảnh hưởng tới các ranh giới cấu trúc của thạch quyển. Nổi bật nhất trong khu vực nghiên cứu là các đứt gãy: Sông Hồng, Sông Chảy, Mường Tè, Nậm Khum, Lai Châu - Điện Biên, Điện Biên - Sầm Nưa, Sông Mã, Sơn La, Sông Đà, Phong Thổ - Mù Cang Chải và Sông Cả. Các đới đứt gãy này đều có biểu hiện hoạt động động đất với chấn cấp trung bình và lớn (M lớn hơn 5,0), hoạt động nước khoáng và nước nóng mạnh mẽ (Hình 11). Các đới đứt gãy chính này đều là ranh giới phân đới cấu trúc, được phản ánh mạnh mẽ trong việc thay đổi bề dày các lớp cấu trúc chủ yếu của thạch quyển ở Tây Bắc Bộ (Hình từ 6 đến 9). Đặc biệt hơn nữa chúng đóng vai trò là ranh giới cấu trúc có vận tốc dịch chuyển thẳng đứng thạch quyển khác biệt trong tân kiến tạo.

3. Biểu hiện hoạt động động đất

Theo thống kê của chúng tôi (trên cơ sở Danh mục động đất của Viện Vật lý Địa cầu và quốc tế) thì trong phạm vi khu vực nghiên cứu đã quan sát được 200 trận động đất có chấn cấp từ 4,0 trở lên (thời kỳ 1900-2009), trong đó 2 trận mạnh nhất là Điện Biên, 1935 với M = 6,8 và Tuần Giáo, 1983 với M = 6,7. Theo tư liệu lịch sử và điều tra trong nhân dân thì trận động đất mạnh nhất trong khu vực nghiên cứu đã xảy ra vào năm 1635 với M = 6,7 (Nho Quan, Ninh Bình).

Chúng tôi đã tiến hành phân tích thống kê động đất trong khu vực nghiên cứu theo diện và theo độ sâu. Cách xử lý được tiến hành như sau:

1/ Trước hết, danh mục động đất được thành lập bằng chương trình CATAL với các số liệu động đất có được từ tài liệu lịch sử, tài liệu điều tra trong nhân dân và tài liệu quan trắc bằng máy. Các danh mục động đất quốc tế như của NOA, ISC, NEIC cũng được tham khảo nhằm tăng tính đầy đủ của số liệu động đất.

2/ Thành lập các sơ đồ phân bố mật độ động đất (theo năng lượng giải tỏa) theo diện và theo độ sâu, lần lượt từ 4 đến 24 km với khoảng cách đều giá trị độ sâu là 2 km. Hình 12 là ví dụ phân bố mật độ động đất ở độ sâu 14 km. Đây cũng là độ sâu trung bình của tầng phát sinh động đất.

Kết quả phân tích mật độ động đất cho thấy các vùng Điện Biên - Tuần Giáo, Yên Bái, Ninh Bình - Mộc Châu, Đô Lương - Vinh là những nơi có biểu hiện hoạt động động đất mạnh nhất. Độ sâu trung bình của tầng hoạt động động đất khu vực nghiên cứu là khoảng 14 km (Hình 12).

4. Các đới phát sinh động đất chủ yếu

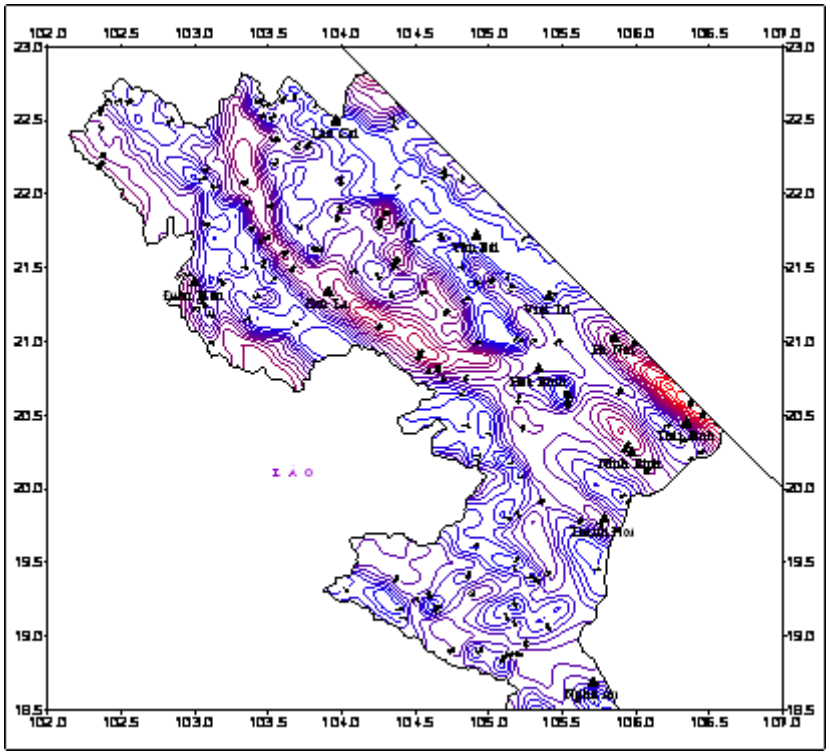
Việc xác định các đới phát sinh động đất ở Tây Bắc Bộ được tiến hành tuần tự theo các bước sau [6, 7]:

- Thiết lập các hệ thống đứt gãy ở khu vực nghiên cứu trên cơ sở tổng hợp tài liệu địa chất, địa vật lý và các kết quả nghiên cứu về đặc trưng cấu trúc thạch quyển, trong đó có đề cập đến sự bất đồng nhất của vận tốc truyền sóng.

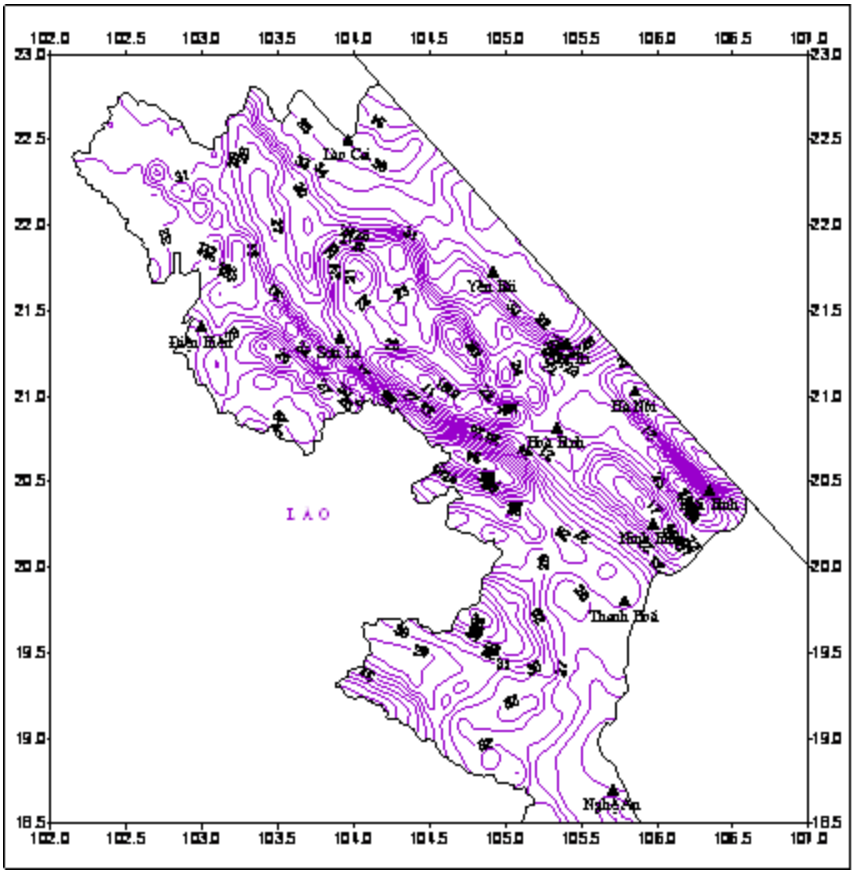
- Xác lập các đới đứt gãy hoạt động trên cơ sở các dấu hiệu biểu hiện hoạt động theo tài liệu địa chất, địa vật lý và các tai biến địa chất đã xảy ra.

- Xác định nguồn phát sinh động đất trên cơ sở biểu hiện hoạt động động đất gắn liền với các đứt gãy hoạt động.

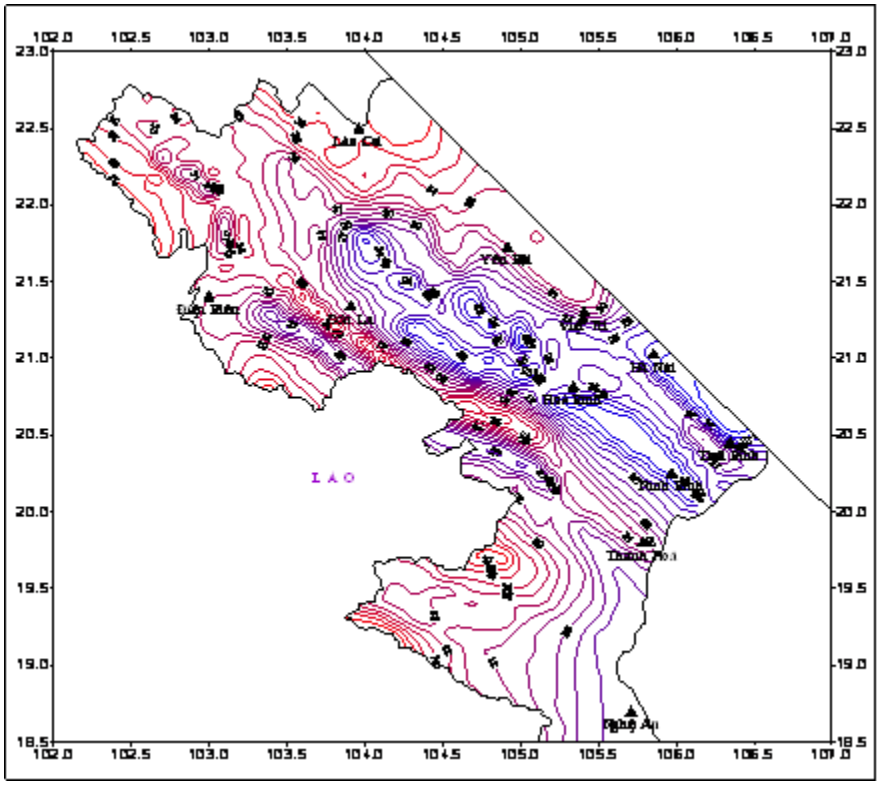
- Liên kết nguồn có đặc trưng cấu trúc - địa động lực tương đồng thành một đới phát sinh động đất. Đới phát sinh động đất có phạm vi bao phủ toàn bộ diện tích một hệ thống đứt gãy (hay nhiều hệ thống đứt gãy), trong đó đã xác định được sự tồn tại một hay nhiều vùng nguồn và có biểu hiện đặc trưng kiến trúc - địa động lực tương đồng.



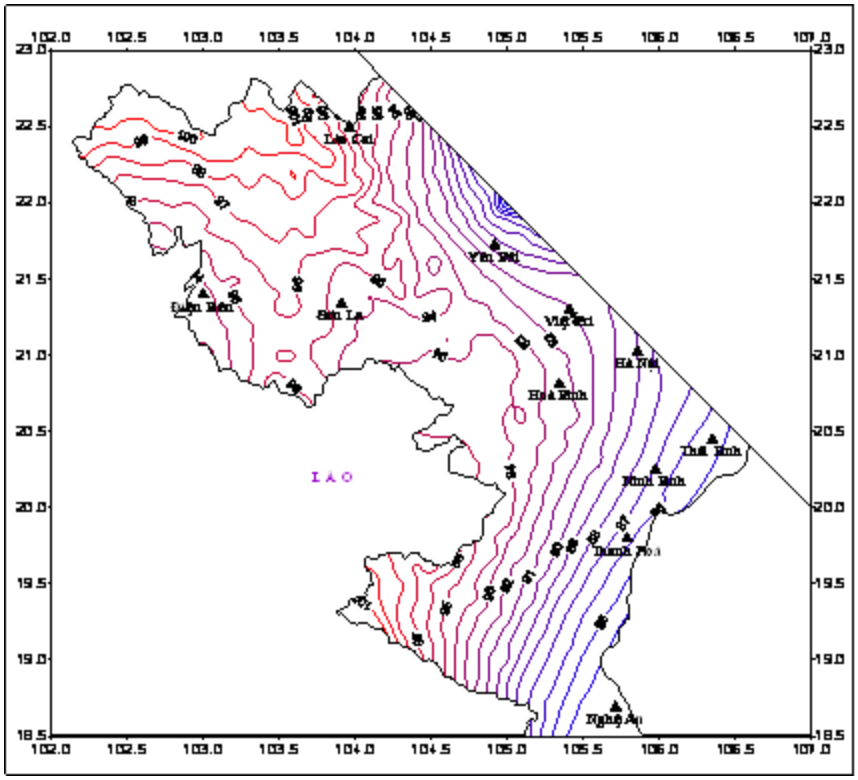
Hình 6. *Bề dày lớp trầm tích ở Tây Bắc Bộ.*



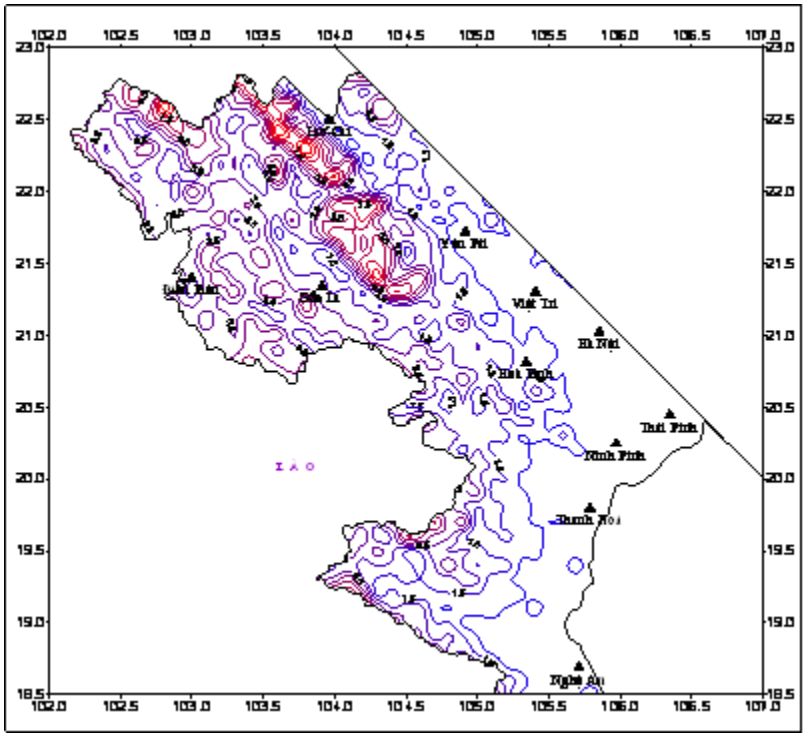
Hình 7. *Bề dày vỏ kết tinh ở Tây Bắc Bộ.*



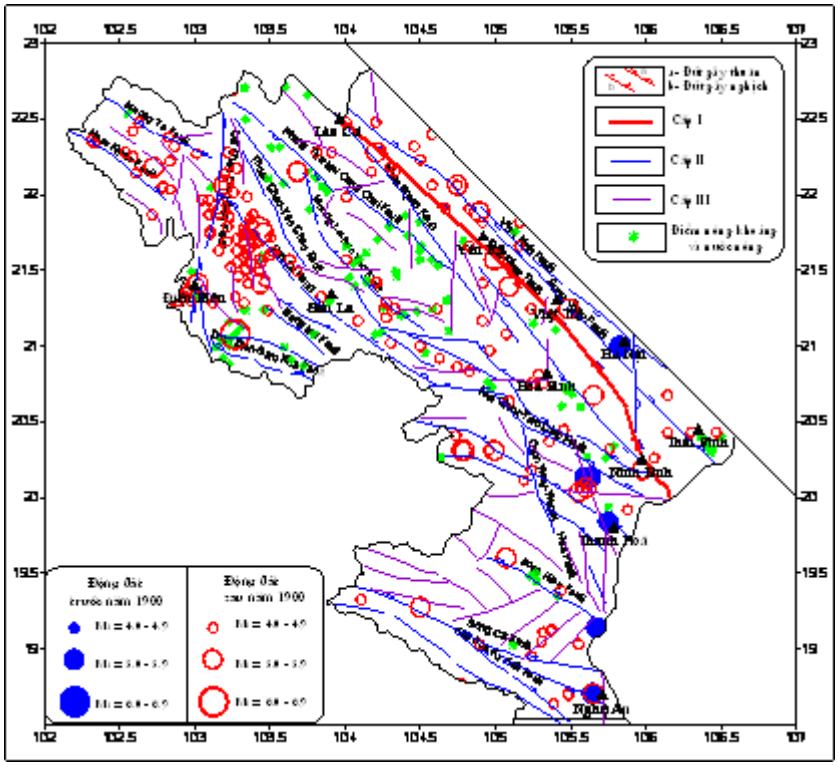
Hình 8. *Bề dày vỏ Trái đất ở Tây Bắc Bộ.*



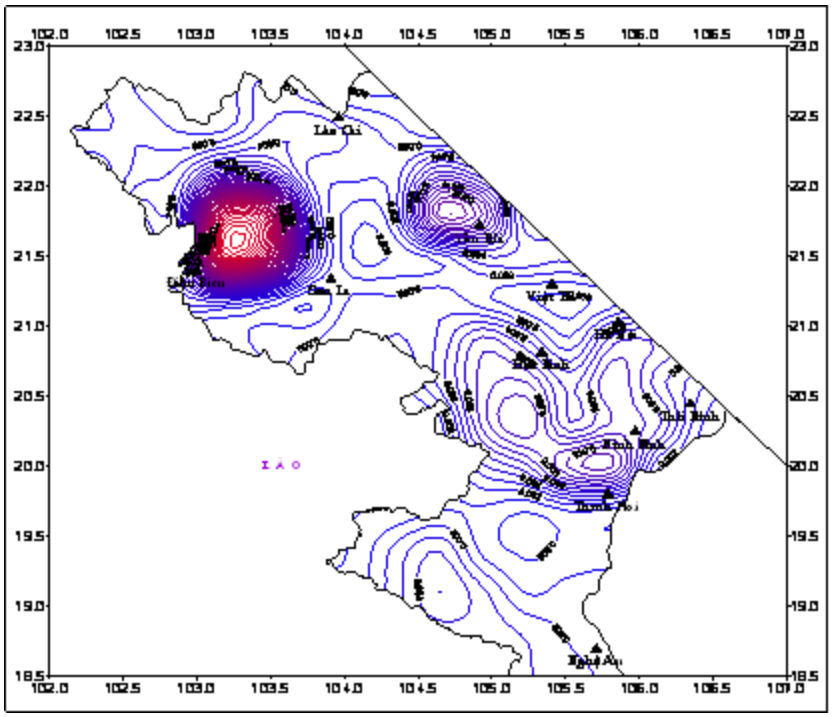
Hình 9. *Bề dày thạch quyển ở Tây Bắc Bộ.*



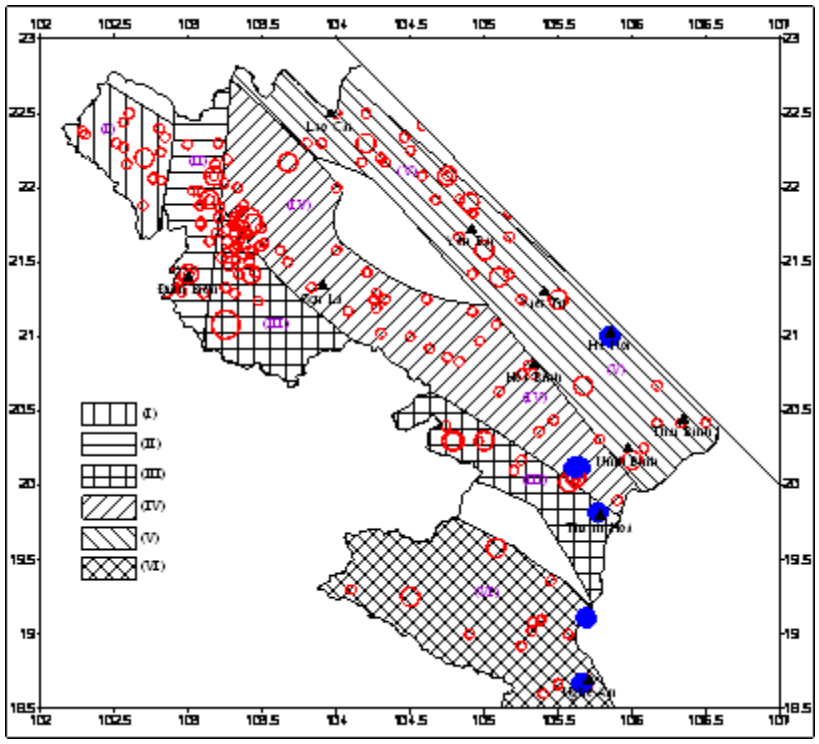
Hình 10. *Giá trị trung bình vận tốc dịch chuyển thẳng đứng của thạch quyển ở Tây Bắc Bộ trong tân kiến tạo.*



Hình 11. *Đứt gãy sinh chấn ở Tây Bắc Bộ.*



Hình 12. *Mật độ động đất ở Tây Bắc Bộ tại độ sâu 14 km.*



Hình 13. *Đới phát sinh động đất ở Tây Bắc Bộ*
I- Đới Mường Tè; II- Đới Lai Châu - Điện Biên; III- Đới Sông Mã; IV- Đới Sơn La - Sông Đà; V- Đới Sông Hồng; VI- Đới Sông Cả).

Theo các nguyên lý trên, 6 đới phát sinh động đất chính ở khu vực nghiên cứu được xác định gồm (Hình 13):

1. Đới Mường Tè: Động đất có chấn cấp lớn nhất đã xảy ra là M = 5,3. Tài liệu lịch sử không ghi nhận gì về động đất đã xảy ra trong đới này.

2. Đới Lai Châu - Điện Biên: Động đất có chấn cấp lớn nhất đã xảy ra là M = 5,6. Tương tự đới Mường Tè, trong phạm vi đới này cũng không phát hiện được các ghi chép lịch sử về động đất đã xảy ra.

3. Đới Sông Mã: Động đất có chấn cấp lớn nhất đã xảy ra là M = 6,8. Đây là trận động đất năm 1935 xảy ra tại huyện Điện Biên Đông hiện nay.

4. Đới Sơn La - Sông Đà: Động đất có chấn cấp lớn nhất đã xảy ra là M = 6,7 (động đất Tuần Giáo năm 1983, có M = 6,7). Theo tư liệu lịch sử thì năm 1635 tại Nho Quan, Ninh Bình đã xảy ra động đất có cường độ chấn động cấp VIII.

5. Đới Sông Hồng: Động đất có chấn cấp lớn nhất đã xảy ra là M = 5,3. Đây là 2 trận động đất Lục Yên năm 1953 và 1954 có cùng đường đẳng chấn. Theo tư liệu lịch sử thì năm 1278 và năm 1285 đã xảy ra động đất có cường độ chấn động được đánh giá là cấp VIII đã xảy ra tại Hà Nội.

6. Đới Sông Cả: Động đất có chấn cấp lớn nhất đã quan sát được là M = 5,2. Trong khi đó, theo tư liệu lịch sử thì năm 1137 và 1767 tại Nghệ An đã xảy ra động đất có cường độ chấn động cấp VII và động đất năm 1821 có cường độ chấn động cấp VIII.

KẾT LUẬN

Trên cơ sở một số kết quả nghiên cứu của chúng tôi về đặc trưng cấu trúc và biểu hiện hoạt động của thạch quyển ở Tây Bắc Bộ có thể rút ra một số nhận định sau:

1. Vận tốc trung bình sóng P của lớp thạch quyển ở Tây Bắc Bộ biến động trong giới hạn sau: lớp vỏ trầm tích là 2,1-4,96 km/s; vỏ kết tinh là 5,92-7,60 km/s và phần cứng trên cùng của đỉnh manti là 7,85-8,00 km/s.

2. Vỏ trầm tích ở Tây Bắc Bộ biến đổi trong giới hạn từ 0 tới 7-9 km: trung tâm võng Hà Nội (7-9 km); cấu trúc Sông Đà và Ninh Bình (4-6 km); khối nâng Sông Hồng, Sông Mã và Mường Tè (nhỏ hơn 2 km). Vỏ kết tinh có bề dày từ 18 đến 34 km: võng Hà Nội nhỏ hơn 24 km; các trũng Sông Đà, Tú Lệ và đới nâng Sông Mã: 26-28 km. Bề dày vỏ Trái đất tại các trũng Sông Đà, Tú Lệ, Ninh Bình, Sông Hồng, khối nâng Sông Mã và dải ven biển Thanh Hóa - Nghệ An nhỏ hơn 26 km. Bề dày của thạch quyển biến đổi trong giới hạn từ 84 tới 100 km, trong đó tại khối nâng Sông Hồng, võng Sông Hồng và dải ven biển Thanh Hóa - Nghệ An nhỏ hơn 94 km.

3. Thạch quyển ở Tây Bắc Bộ có biểu hiện hoạt động nâng phân dị trong tân kiến tạo, nơi chịu tác động dịch chuyển thẳng đứng lớn hơn cả là: đới Tú Lệ (5,0-8,5 mm/năm); đới Phan Si Pan (5,0-8,0 mm/năm và đới Pu Si Lung (5,0-8,0 mm/năm). Độ sâu trung bình của tầng hoạt động động đất là khoảng 14 km.

4. Sáu đới phát sinh động đất chính được xác định gồm: Mường Tè với động đất lớn nhất đã xảy ra có M = 5,3; Lai Châu - Điện Biên (M = 5,6); Sông Mã (M = 6,8); Sơn La - Sông Đà (M = 6,7); Sông Hồng (M = 5,3) và Sông Cả (M = 5,2).

VĂN LIỆU

1. Cao Đình Triều, 1997. Đứt gãy sinh chấn Tây Bắc Bộ. *TC Các khoa học về TĐ, 19/3 : 214-219. Hà Nội.*

2. Cao Đình Triều, 1997. Một số kết quả bước đầu đánh giá vận tốc dịch chuyển và trạng thái ứng suất vỏ Trái đất lãnh thổ Việt Nam. *TC Địa chất, A/240 : 33-39. Hà Nội.*

3. Cao Đình Triều, 2002. Về mô hình mật độ thạch quyển lãnh thổ Việt Nam và kế cận dọc một số tuyến đặc trưng. *TC Địa chất, A/270 : 23-31. Hà Nội.*

4. Cao Đình Triều, Mai Xuân Bách, V.S. Geyko, 2004. Đặc trưng phân đới cấu trúc thạch quyển Việt Nam theo tài liệu địa vật lý. *TC Địa chất, A/285: 177 - 187. Hà Nội.*

5. Cao Đình Triều, 2005. Trường địa vật lý và cấu trúc thạch quyển lãnh thổ Việt Nam. *Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 332 trang.*

6. Cao Đình Triều, Nguyễn Đình Xuyên, Nguyễn Hồng Phương, Nguyễn Thanh Tùng, 2006. Tai biến động đất các tỉnh Tây Bắc Bộ. *Nxb KH&KT, Hà Nội, 216 trang.*

7. Cao Đình Triều, 2010. Tai biến động đất ở Việt Nam. *Nxb KH&KT, Hà Nội, 304 trang.*

8. Geyko V.S., 1998. Taylor's approximation of wave and eikonal equation in inverse seismic problems. *Geophys. J., 17: 465-493.*

9. Geyko V.S., 2004. A general theory of the seismic travel-time tomography. *Geophysical J., 26/1: 3-32.*

10. Lê Đức An, 1990. Vài đặc điểm tân kiến tạo bán đảo Đông Dương. *TC Các khoa học về TĐ, 12/3: 74-78. Hà Nội.*

11. Nguyễn Ngọc Thủy *(Chủ biên),* 2005. Phân vùng dự báo chi tiết động đất ở vùng Tây Bắc (giai đoạn 2001-2005). *Báo cáo tổng kết Đề tài KH&CN cấp Nhà nước, MS: KC.08.10. Lưu trữ Viện VLĐC, Hà Nội.*

12. Peresan A., Cao Đình Triều, Mai Xuân Bách, Nguyễn Thế Hùng, Bùi Anh Nam, Nguyễn Xuân Bình, 2009. Hoạt động động đất ở Việt Nam. *TC Địa chất, A/314: 27 - 37. Hà Nội.*