Tạp chí ĐỊA CHẤT, loạt A, số 357, 5-6/2016, tr. 97-106

BẢN ĐỒ NGUY HIỂM SÓNG THẦN VÙNG VEN BIỂN VIỆT NAM

TRẦN THỊ MỸ THÀNH[1], WILLIAM POWER[2], MARK W. STERLING[2], NGUYỄN LÊ MINH[1], NGUYỄN ÁNH DƯƠNG[1], NGUYỄN VĂN DƯƠNG[1], WARWICK SMITH[2], BÙI CÔNG QUẾ[1]

[1] *Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;*

[2]*Viện Khoa học Địa chất và hạt nhân Niu Di Lân, FairWay Drive, Avalon, Lower Hutt 5010, New Zealand*

Tóm tắt: *Sóng thần là một trong những thiên tai xảy ra không thường xuyên nhưng đặc biệt nghiêm trọng, thường sinh ra do những trận động đất gây nâng hoặc hạ đột ngột đáy biển, hay những vụ phun trào núi lửa, những vụ trượt lở đất ở ven bờ biển hoặc đáy biển, và một số tác động khác như thiên thạch,... Trong khuôn khổ bài báo này, tập thể tác giả nghiên cứu sóng thần do hoạt động của động đất mạnh gây ra có khả năng ảnh hưởng tới vùng ven biển Việt Nam. Bài báo giới thiệu chuỗi bản đồ nguy hiểm sóng thần đầu tiên ở Việt Nam (tỷ lệ 1:1.000.000), thể hiện giá trị độ cao cực đại sóng thần tại bờ biển ứng với các chu kỳ thời gian khác nhau trên cơ sở tính toán khả năng lan truyền sóng thần của các động đất sóng thần xảy ra trên đới hút chìm Manila. Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần được xây dựng theo lý thuyết Cornel tương tự như bản đồ độ nguy hiểm động đất tuân theo 3 bước sau: 1) Xác định tham số của vùng động đất và khoảng sai số; 2) Xác định phương trình (ở đây là độ cao sóng thần tại bờ biển phụ thuộc vào nguồn); 3) Tính xác suất. Kết quả nghiên cứu nguy hiểm sóng thần giúp chúng ta xây dựng hệ thống cảnh báo sớm sóng thần nhằm giảm thiểu thiệt hại thiên tai. Đây cũng là những tài liệu có giá trị phục vụ công tác quy hoạch phát triển kinh tế, du lịch đối với các vùng ven biển Việt Nam.*

I. MỞ ĐẦU

Trong những năm qua, có nhiều kết quả về xây dựng bản đồ độ nguy hiểm động đất lãnh thổ Việt Nam và những vùng công nghiệp, các công trình trọng điểm, các thành phố lớn như Hà Nội, Tp. Hồ Chí Minh... của các tác giả Nguyễn Hồng Phương [8, 9], Nguyễn Đình Xuyên [6, 7], Trần Thị Mỹ Thành [11, 12],... Tuy nhiên việc nghiên cứu sóng thần chỉ dừng lại ở nghiên cứu tổng quan về tình hình sóng thần trên thế giới và trong khu vực, chủ yếu tập trung vào phân tích khả năng có thể có của sóng thần trên Biển Đông và ảnh hưởng đến vùng ven biển Việt Nam. Trên thế giới việc nghiên cứu thành lập bản đồ nguy hiểm sóng thần rất ít. Nhật Bản là một trong những quốc gia đi đầu trong lĩnh vực này. Từ năm 1951, Takahashi lần đầu tiên đã đưa ra bản đồ nguy hiểm sóng thần vùng bờ biển Thái Bình Dương của Nhật Bản. Bản đồ thành lập dựa trên độ cao sóng tổng cộng trên một diện tích xung quanh một vị trí quan sát trên bờ biển trong khoảng thời gian 01 năm. Sau này bản đồ nguy hiểm sóng thần theo xác suất được tính từ bản đồ độ nguy hiểm động đất và cộng thêm phần tác động của các nguồn ở xa. Tương tự phương trình dao động tắt dần trong động đất, các công thức đánh giá độ cao sóng thần phụ thuộc vào cấp độ và khoảng cách của động đất được xây dựng theo 02 cách: số liệu thực tế và lý thuyết. Trong bài báo này, các tác giả xin giới thiệu chuỗi bản đồ nguy hiểm sóng thần đầu tiên ở Việt Nam.

II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT XÂY DỰNG BẢN ĐỒ NGUY HIỂM SÓNG THẦN

Trên thế giới nhiều quốc gia nghiên cứu về bản đồ độ nguy hiểm động đất hay bản đồ phân vùng động đất, tuy

nhiên việc nghiên cứu thành lập bản đồ nguy hiểm sóng thần là rất ít. Để xây dựng bản đồ sóng thần phải có số liệu độ cao sóng thần của các trận động đất sóng thần đã xảy ra, điều này là không thể có được đối với phần lớn các quốc gia do động đất sóng thần ít xảy ra và khả năng ghi chép lại số liệu độ cao cột nước còn nhiều hạn chế. Năm 2001 và 2002 để tạo ra sóng thần, lần đầu tiên Ward [14] đã đánh giá độ cao độ dịch chuyển cực đại tại vị trí nguồn. Đối với nguồn động đất ngoài khơi, độ dịch chuyển sinh ra sóng thần chính là dịch chuyển thẳng đứng của nguồn động đất. Trong thời gian lan truyền biên độ của sóng thần được thay đổi theo phương trình và hệ số bờ biển (gần bờ). Khi vào gần bờ độ cao của biên độ sóng lại bị ảnh hưởng nhiều do sự thay đổi nhỏ độ sâu đáy biển, dẫn đến có sự khuyếch đại địa phương, ngoài ra còn có sự cộng hưởng trong vịnh, đầm,... Điều này cũng giống như hiệu ứng khuyếch đại nền địa phương trong đánh giá độ nguy hiểm động đất. Khi tính nguy hiểm sóng thần thì sự di chuyển cột nước được tính ngay từ nguồn sau đó mới di chuyển đến bờ biển còn nguy hiểm động đất giá trị dịch chuyển nền cực đại tại vị trí được tính bằng phương trình liên hệ giữa độ lớn và khoảng cách tới nguồn. Tương tự phương trình dao động tắt dần trong động đất các công thức đánh giá nguy hiểm sóng thần được xây dựng theo hai cách: số liệu thực tế và lý thuyết. Bản đồ nguy hiểm sóng thần theo xác suất được tính từ bản đồ độ nguy hiểm động đất nhưng cần cộng thêm cả phần tác động của các nguồn xa.

Nhật Bản là một trong những quốc gia đi đầu trong lĩnh vực này. Từ năm 1951, Takahashi [10] lần đầu tiên đã đưa ra bản đồ nguy hiểm sóng thần vùng bờ biển Thái Bình Dương của Nhật Bản. Bản đồ thành lập dựa trên độ cao sóng tổng cộng trên một diện tích xung quanh một vị trí quan sát trên bờ biển trong khoảng thời gian 01 năm. Wesnousky (1984) [15] đã tính được bản đồ xác suất độ nguy hiểm sóng thần, tuy nhiên ông chưa tính đến ảnh hưởng của các nguồn xa.

Một cách khác đơn giản hiện đang được nhiều nước áp dụng là phương pháp Aida (1988) [2]. Ông tính nguy hiểm động đất cho bờ biển Nhật Bản do 08 nguồn động đất gây ra và độ cao sóng của mỗi nguồn được xác định:

$$h_{max}(r, r_{zone}) zone = 1, 2, ...8$$

Đối với mỗi nguồn, xác suất để từ đó biên độ sóng thần lớn hơn giá trị cho trước h_0 trong khoảng thời gian T năm được tính bởi:

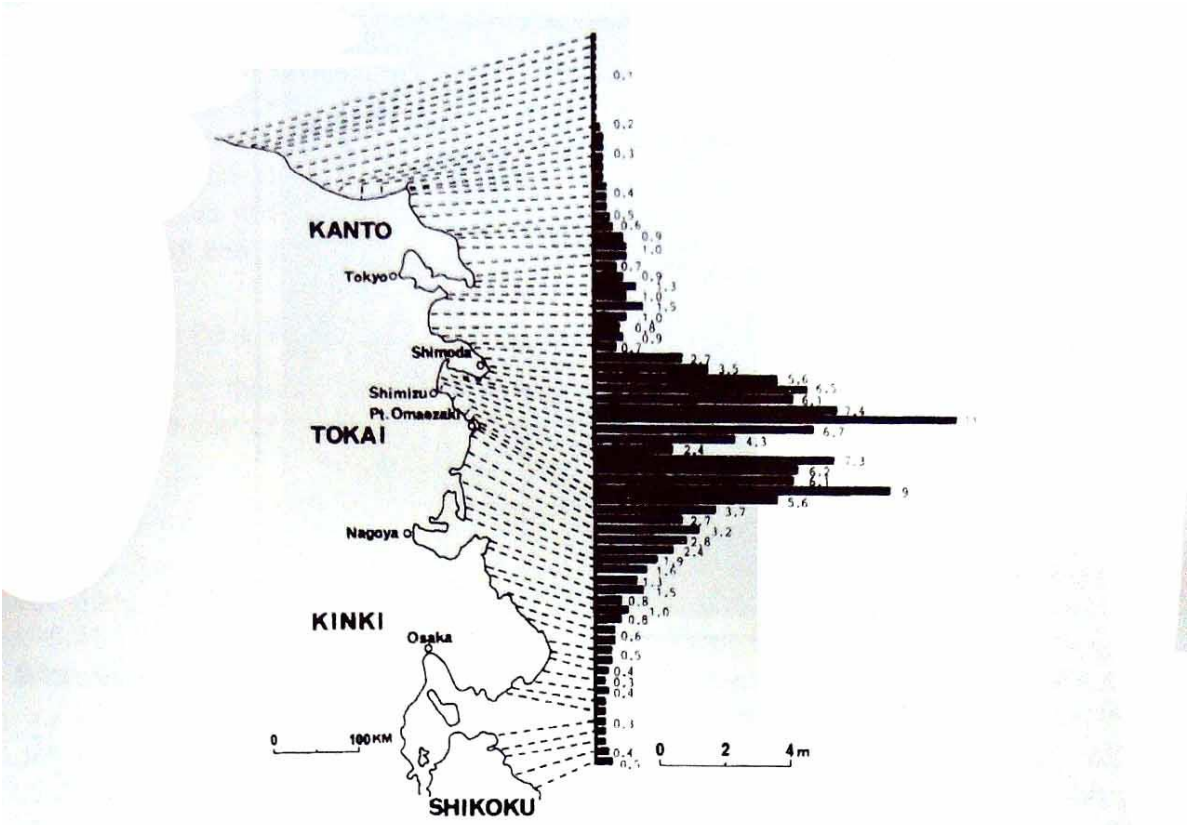
$$p(r, r_{zone}, h_0, T = \begin{cases} p(r_{zone}, T), h_{max}(r) \geq h_0 \\ 0, h_{max} \prec h_0 \end{cases} \quad (1)$$

Với n nguồn, xác suất để từ đó biên độ sóng thần lớn hơn giá trị cho trước h_0 trong khoảng thời gian T năm được tính bởi:

$$p(r, h_0, T) = 1 - \prod_{zone=1}^{n} [1 - p(r, r_{zone}, h_0, T)] \quad (2)$$

Một trong 8 vùng nguồn ông tính cho vùng bờ biển Shikoku Nhật Bản là trận động đất giả thiết có M= 8,1 xảy ra trên đứt gãy có chiều dài 130 km, rộng 60 km và góc dốc 34°. Độ cao sóng tới 5 m hoặc lớn hơn quan sát thấy ở nhiều vị trí (Hình 1).

Năm 2006, Geist E.L. và Tom Parsons [5] đã đưa ra phương pháp tính độ nguy hiểm động đất như Aida (1988) [3] và có tính thêm phần tần suất lặp lại đối với các trận động đất gây sóng thần dựa trên quan hệ Gutenberg-Richte. Phương pháp mới này được áp dụng rộng rãi khi tính bản đồ nguy hiểm động đất ứng với các chu kỳ quan sát khác nhau.



Hình 1. *Phân bố độ cao sóng tại một số điểm trên bờ biển do động đất có M = 8,1 gây ra [2].*

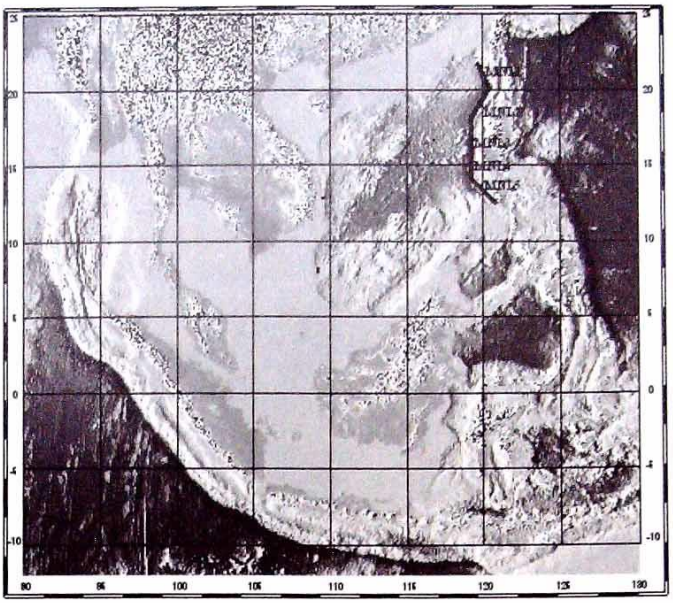
III. CÁC THAM SỐ DÙNG TÍNH BẢN ĐỒ NGUY HIỂM SÓNG THẦN VÙNG VEN BIỂN VIỆT NAM

Trong nghiên cứu này, các tác giả xây dựng bản đồ nguy hiểm động đất vùng ven biển Việt Nam theo ba bước cơ bản sau đây.

1. Xác định các kịch bản động đất gây sóng thần

Các nghiên cứu trước [7, 12, 13] đã kết luận về khả năng lan truyền sóng thần trong vùng Biển Đông của các động đất sóng thần xảy ra trên đới hút chìm Manila có ảnh hưởng lớn nhất tới lãnh thổ Việt Nam. Còn các động đất sóng thần xảy ra trên đới đứt gãy khác như Bắc Biển Đông, Palawan,... có ảnh hưởng yếu, không đáng kể. Từ kết luận quan trọng này, các tác giả chọn các kịch bản động đất xảy ra trên đới hút chìm Manila là cơ sở số liệu tính bản đồ nguy hiểm động đất.

Đới hút chìm Manila có biểu hiện khác biệt rõ rệt về đường phương khi chuyển từ đoạn này sang đoạn khác (Hình 2) được chia làm 05 phân đoạn chính [12]. Các kịch bản động đất được xây dựng dựa trên 05 phân đoạn đứt gãy đó là các kịch bản ML1, ML2, ML3, ML4, ML5 với các tham số dùng tính lan truyền sóng thần như: vị trí xảy ra động đất, góc phương vị, góc dốc, góc trượt, chiều dài đứt gãy [12]. Độ lớn cực đại được xác định theo các công thức thực nghiệm liên quan tới kích thước đứt gãy, 05 kịch bản động đất sóng thần chính với magnitude động đất M = 8,3-8,6. Ngoài ra theo các nhà nghiên cứu sóng thần cũng có thể tạo ra do tổ hợp của 2 hay nhiều hơn các trận động đất có chấn tâm nằm gần kề nhau và xảy ra trong khoảng thời gian như nhau. Ở đây, các tác giả chọn thêm hai mô hình là tổ hợp của mô hình MNL3 với MNL4 và tổ hợp của cả 5 mô hình: MNL1, MNL2, MNL3, MNL4 và MNL5. Đây là hai mô hình mang tính chất mô phỏng, ít có khả năng xảy ra, đặc biệt kịch bản là tổ hợp của cả 05 mô hình.



Hình 2. *Các nguồn động đất của đới Manila dùng tính bản đồ độ nguy hiểm sóng thần (Đường màu đỏ là đứt gãy Manila được chia thành 05 phân đoạn MNL1, MNL2, MNL3, MNL4, MNL5 [12]).*

Các thông số động đất dùng để tính sóng thần bao gồm tọa độ chấn tâm, chiều dài đới đứt gãy (*L*), chiều rộng đới đứt gãy (*W*), độ sâu chấn tiêu động đất (*h*), góc cắm (δ), góc trượt (λ), góc phương vị (θ) và độ lớn động đất (độ lớn cực đại), được xác định cho từng kịch bản. Các tham số như vị trí xảy ra động đất, góc phương vị, góc cắm, góc trượt, chiều dài đứt gãy được xác định trên bản đồ. Độ lớn cực đại, chiều rộng được xác định theo các công thức thực nghiệm biểu diễn mối tương quan giữa các đặc trưng của nguồn (Bảng 1).

Bảng 1. **Các kịch bản động đất gây sóng thần vùng Biển Đông dùng xây dựng bản đồ nguy hiểm sóng thần Việt Nam**

KB	Mô hình	Tọa độ		Độ sâu	Chiều dài	Chiều rộng	Đường phương (độ)	Góc dốc (độ)	Góc trượt (độ)	Magnitude Mw
1	MNL1	120.00	20.88	40	201,3	154,5	334,46	15	90	8,5
2	MNL2	119.79	19.12	40	243,9	154,5	33,29	15	90	8,6
3	MNL3	119.18	17.13	40	234	116,9	359,81	20	90	8,5
4	MNL4	119.18	15.08	40	223,5	80,0	360,02	30	90	8,3
5	MNL5	120.01	13.33	40	242,3	94,6	311,69	25	90	8,4
6	MNL3+4									
7	MNL1+2+3+4+5									

Công thức của Wells-Coppersmith (1994) [4], được xây dựng trên cơ sở các số liệu thực nghiệm và hiện đang được sử dụng rộng rãi trên thế giới. Theo các công thức này, đối với động đất theo cơ chế trượt bằng, giữa độ lớn mômen M_w của động đất và chiều dài L (km), chiều rộng W (km) của đới đứt gãy có mối tương quan sau:

$$M_w = 4{,}38 + 1{,}49\log(L) \quad (3)$$

$$M_w = 4{,}06 + 2{,}25\log(W) \quad (4)$$

Giữa độ lớn động đất và diện tích mặt đứt đoạn A (km^2) có mối tương quan sau:

$M_W = 4{,}07 + 0{,}98\log(A)$ (5)

Với những trận động đất xảy ra ở đới hút chìm Abe (1975) [1] đưa ra cách tính độ lớn cực đại từ năng lượng của trận động đất, mômen địa chấn M_o. Theo Aki [3], mômen địa chấn M_o được tính từ độ suy giảm ứng suất s và diện tích phá hủy của đứt gãy:

$$M_0 = \xi \sigma A^{3/2} \quad (6)$$

Trong đó: x: tham số liên quan tới hình dạng của đứt gãy và được tính:

$$\xi = \frac{3\pi}{16}\sqrt{\frac{W}{L}} \quad (7)$$

Theo Abe [1] x và s là các hằng số đối với động đất Thái Bình Dương cụ thể x=0,41 và s= 30 bar. Khi đó công thức (6) được viết:

$$M_o(dyne.cm) = 1.23x10^{22} A^{3/2} \quad (8)$$

Magnitude của động đất được tính dựa trên mômen địa chấn của trận động đất:

$$M = (Log10(M_0) - 16.05)/1.5 \quad (9)$$

Bảng là các động đất kịch bản và các tham số được xác định từ 02 phương pháp Wells-Coppersmith và Abe.

Trên Bảng 1 các tham số của 02 mô hình tổ hợp MNL3+4 và MNL1+2+3+4+5 còn để trống là do chương trình tự động tính các giá trị tham số từ các tham số đã có của các mô hình đơn.

2. Xác định công thức liên hệ độ cao sóng thần theo magnitude động đất cho Việt Nam

Theo Aide (1988) [2] độ cao sóng thần tại vị trí nào đó trên bờ biển do trận động đất có magnitude M gây nên được xác định theo công thức:

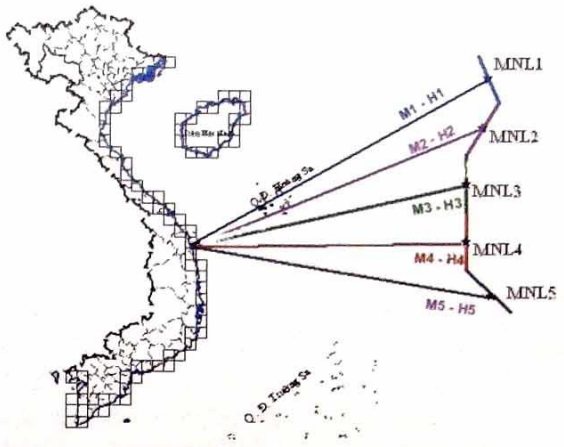
$$M = LogH_{n,\max} + b \quad (10)$$

Trong đó: b: hằng số tại vị trí quan sát. Điều đó có nghĩa là tại một vị trí bất kỳ trên bờ biển nếu ta biết hệ số b và độ lớn của trận động đất thì dùng công thức (10) ta có thể tính được độ cao sóng thần tại đó. Thông thường hệ số b được xác định bằng số liệu quan trắc. Sau mỗi trận động đất sóng thần người ta đo mực nước tại các điểm quan trắc trên bờ biển rồi dựa vào độ lớn trận động đất xác định hệ số b. Giá trị của b phụ thuộc vào vị trí quan sát và cấp độ mạnh của trận động đất. Trên thực tế xác định b rất khó khăn vì thiếu số liệu quan sát. Đặc biệt với bờ biển Việt Nam chưa có ghi nhận chính xác về sóng thần đã xảy ra trong quá khứ. Trong điều kiện ấy, tập thể tác giả áp dụng phương pháp tính độ cao sóng lý thuyết từ các trận động đất sóng thần kịch bản rồi từ đó xác định hệ số b. Từ giá trị độ lớn của động đất kịch bản và độ cao sóng thần tại vị trí nghiên cứu ứng với mỗi kịch bản động đất, bằng phương pháp bình phương tối thiểu tính b. Giá trị b thu được ở một vài vị trí như Hải Phòng 8,74; Đông Hà 8,22; Đà Nẵng 8,28;... Đường bờ biển Việt Nam được chia đều theo các ô lưới dọc theo đường bờ biển ở vĩ độ 8-22° bao gồm cả một số đảo xung quanh.

Các kết quả khảo sát ảnh hưởng sóng thần theo các kịch bản trên cho thấy độ cao sóng cực đại tại vùng biển miền Trung từ Đông Hà, Huế tới Nha Trang, Phan Rang,.. là khu vực sóng thần có giá trị cao đối với các mô hình. Giống như miền Bắc, khu vực bờ biển phía Nam sóng thần rất yếu. Hai kịch bản MNL03 và MNL04 là hai mô hình nguồn có đường phương gần giống nhau, gần với phương kinh tuyến và được cho là vị trí có khả năng tạo sóng thần nguy hiểm cho bờ biển Việt Nam. So sánh độ cao sóng thần ở cả 02 mô hình này thấy các vị trí gần Đông Hà, Huế, Hội An và Quảng Ngãi có độ cao sóng thần lớn nhất, nhiều chỗ cao tới 5 m như ở Hội An và Huế,... đặc biệt ở vùng Quảng Ngãi cao tới hơn 6 m. Hai kịch bản 06 và 07 là hai trường hợp tổ hợp của 02 và 05 mô hình. Đây là hai mô hình mang tính chất mô phỏng, ít có khả năng xảy ra đặc biệt là kịch bản 07, sóng thần trong cả hai trường hợp này rất cao có chỗ cao tới 7 m và 11 m.

Dựa vào kết quả tính lan truyền sóng thần của mỗi kịch bản, các tác giả đã

"nhặt" ra độ cao sóng cực đại tại các vị trí dọc theo bờ biển. Bờ biển Việt Nam được chia thành các ô lưới (Hình 3), tọa độ tâm của các ô lưới là vị trí tính độ cao sóng đạt tới bờ biển. Như vậy với 07 kịch bản động đất có độ lớn khác nhau tại mỗi vị trí thu được 07 độ cao sóng thần khác nhau. Theo phương trình (10), tập thể tác giả thành lập được 07 lập phương trình liên hệ giữa độ cao cột nước và độ lớn động đất ứng với 07 nguồn phát sinh động đất cho từng ô lưới.



Hình 3. *Cách chia lưới để tính hệ số B.*

Phương trình liên hệ giữa khoảng cách nguồn và độ lớn động đất của đới hút chìm Manila đối với một vị trí là phương trình trung bình của 7 phương trình vừa dựng được. Ví dụ phương trình tại một số vị trí như sau:

Hải Phòng: M = logH + 9,1 ± 0,24

Thanh Hóa: M = logH + 9,0 ± 0,24

Huế: M = logH + 8,5 ± 0,27

Tuy Hòa: M = logH + 8,43 ± 0,28

Sau khi đã xác định được hệ số b thay vào phương trình trên chúng ta có thể xác định được độ cao sóng thần tại các điểm trên bờ biển khi biết độ lớn của động đất.

3. Tần suất lặp lại động đất

Giá trị tần suất lặp lại của động đất ảnh hưởng tới bản đồ độ nguy hiểm sóng thần. Tần suất lặp lại động đất biểu diễn bằng quan hệ độ lớn - tần suất, còn gọi là đồ thị lặp lại động đất.

$$\lg N^*(M \geq Mo) = a - b\,M$$

Trong đó: N*: số lượng trung bình năm động đất magnitude lớn hơn và bằng Mo; a, b là các hệ số, xác định theo phương pháp bình phương tối thiểu, a chính là logarit số lượng động đất magnitude M≥0.

Ở đây chu kỳ lặp lại động đất với magnitude ≥ M sẽ là:

$$T(M) = 10^{b(M-Mng)}/v \qquad (11)$$

Trong đó: Mng: ngưỡng magnitude quan sát trong vùng; Mng =5,5; v: tần suất động đất ngưỡng.

Từ giá trị đã tính ở trên các tác giả đã tính tần suất lặp lại động đất với các magnitude khác nhau xảy ra trên đới hút chìm Manila (Bảng 2).

Bảng 2. **Chu kỳ lặp lại động đất với các magnitude khác nhau**

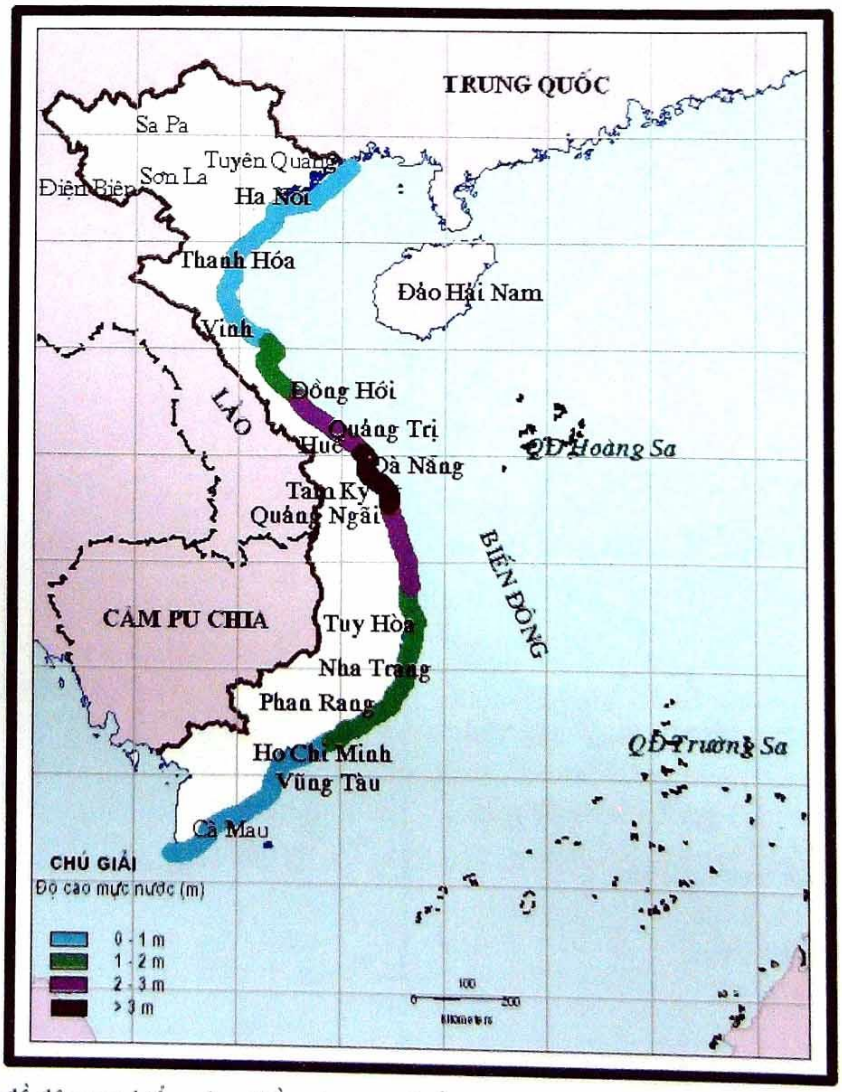
Magnitude	Chu kỳ lặp lại T(M)
Mw	N¨m
7,0	22
7,5	61
8,0	167
8,5	459

IV. BẢN ĐỒ ĐỘ NGUY HIỂM SÓNG THẦN VÙNG VEN BIỂN VIỆT NAM

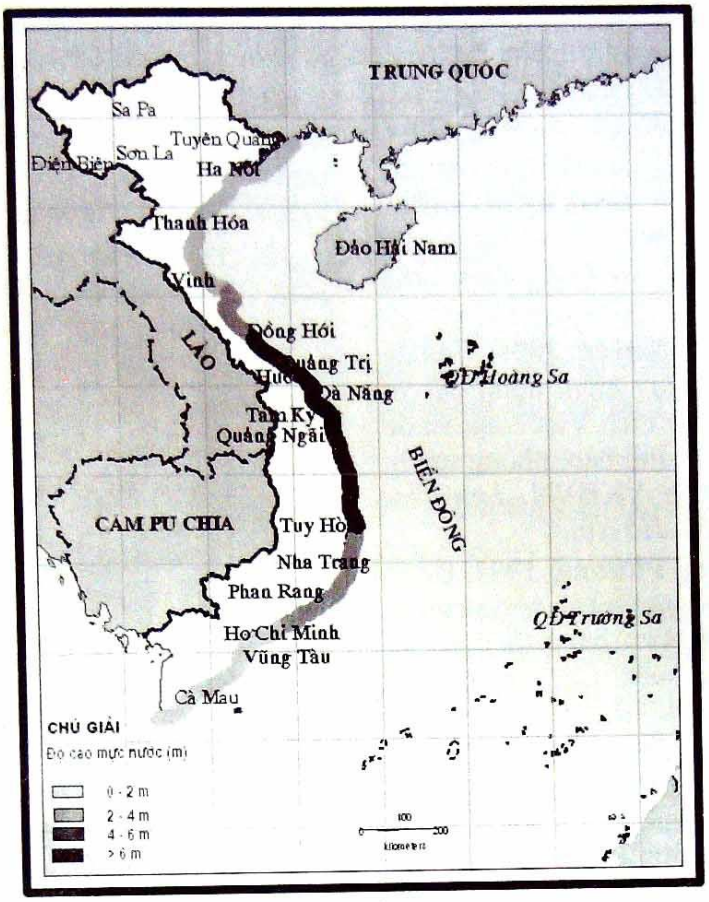
Bản đồ độ nguy hiểm động đất vùng ven biển Việt Nam tỷ lệ 1:1.000.000 được xây dựng từ 07 động đất kịch bản xảy ra trên đới hút chìm Manila theo các bước đã trình bày ở trên. Đường bờ biển Việt Nam được đặt trên lưới chia vuông có kích thước 1' x 1'. Lấy dọc theo đường bờ biển vĩ độ 8-22° bao gồm cả một số đảo xung quanh, có tất cả có hơn 3.000 ô lưới được tính toán. Tọa độ tâm của mỗi ô lưới được coi là vị trí tính toán. Đồ thị đánh giá độ cao sóng thần được gán cho tâm điểm. Dựa vào tần suất lặp lại động đất, tập thể tác giả đã xây dựng 02 bản đồ độ cao sóng thần cực đại xác suất xuất hiện chấn động vượt quá 10% trong thời gian 20 năm, 50 năm và 100 năm hay còn gọi là bản đồ nguy hiểm sóng thần trong các khoảng thời gian 475 năm, 950 năm và 2.500 năm. Đây là những chu kỳ cũng được dùng trong đánh giá độ nguy hiểm động đất.

Hình 4. *Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần vùng ven biển Việt Nam (chu kỳ 475 năm, tỷ lệ 1:1.000.000).*

Chuỗi bản đồ nguy hiểm động đất lãnh thổ Việt Nam cho thấy khả năng sóng thần vào đến bờ biển Việt Nam là không lớn, cụ thể độ cao cực đại 2 m (chu kỳ 475 năm, Hình 4), hơn 5 m (chu kỳ 950 năm, Hình 5) và hơn 10 m (chu kỳ 2.500 năm, Hình 6). Các tỉnh chịu ảnh hưởng sóng thần lớn nhất nước ta là khu vực biển miền Trung từ Đà Nẵng tới Quảng Ngãi. Vùng biển Tam Kỳ, Quảng Ngãi là nơi có khả năng bị ảnh hưởng sóng thần rất lớn. Sóng cao tới hơn 8 m ở chu kỳ 2.500 năm, hơn 6 m ở chu kỳ 950 năm, hơn 5 m ở chu kỳ 475 năm. Thành phố Đà Nẵng độ cao sóng khoảng 5-6 m ở chu kỳ 950 năm, cao 4-5 m ở chu kỳ 475 năm. Vùng biển miền Trung từ Quảng Ngãi tới Tuy Hòa sóng cao khoảng 5-6 m ở chu kỳ 950 năm và cao 3-4 m ở chu kỳ 475 năm. Từ Tuy Hòa tới Phan Rang, Phan Thiết ảnh hưởng sóng thần giảm bớt, độ cao khoảng 2-3 m ở chu kỳ 950 năm, khoảng 2 m với chu kỳ 475 năm. Miền Bắc và miền Nam là hai vùng ít bị ảnh hưởng của sóng thần. Sóng thần rất ít ảnh hưởng tới phần bờ biển từ Vũng Tàu tới mũi Cà Mau, độ cao chỉ còn khoảng 1 m với cả 2 chu kỳ. Vùng biển từ Đà Nẵng tới Vinh còn chịu ảnh hưởng của sóng thần nhưng không nhiều. Độ cao sóng cực đại đạt tới 6-7 m ở chu kỳ 2500 năm, 5 m ở chu kỳ 950 năm, khoảng 2 m với chu kỳ 475 năm. Riêng vùng biển từ miền Bắc tới Vinh ảnh hưởng của sóng thần rất ít.



Hình 5. *Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần vùng ven biển Việt Nam (chu kỳ 950 năm, tỷ lệ 1:1.000.000).*



Hình 6. *Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần vùng ven biển Việt Nam (chu kỳ 2.500 năm, tỷ lệ 1:1.000.000).*

V. KẾT LUẬN

Kết quả của bài báo là các bản đồ nguy hiểm sóng thần đầu tiên ở Việt Nam (tỷ lệ 1:1.000.000). Đây là bộ tài liệu quý giá giúp các tỉnh thành phố ven biển có những chiến lược quy hoạch, đầu tư và phát triển vùng ven biển. Nếu chúng ta có được bản đồ độ sâu đáy biển chi tiết hơn thì chúng ta sẽ có thể tính được các bản đồ nguy hiểm sóng thần ở tỷ lệ chi tiết hơn. Kết quả từ chuỗi bản đồ cho thấy động đất mạnh xảy ra tại đới hút chìm Manila có khả năng gây sóng thần tới vùng ven biển Việt Nam. Vùng biển miền Trung từ Đông Hà tới Phan Rang là khu vực chịu ảnh hưởng sóng thần lớn nhất trên vùng lãnh thổ Việt Nam. Khu vực biển miền Bắc và miền Nam ít có khả năng bị ảnh hưởng của sóng thần.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin gửi lời cảm ơn các nhà khoa học, các bạn đồng nghiệp và lãnh đạo Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Viện Địa chất và Hạt nhân New Zealand đã giúp đỡ trong công tác nghiên cứu sóng thần ở Việt Nam.

VĂN LIỆU

1. Abe K., 1975. Reliable estimation of the seismic moment of large earthquakes. J. *Phys. Earth, 23:381-390.*

2. Aida I., 1988. Tsunami hazard probability in Japan. *Bull. Seism. Soc. Am. 78/3:1268-1278.*

3. Aki K., 1972a. Listhospheric normal faulting beneath the Aleutian trench, Phys. Earth Planet. *Inter., 5:190-198.*

4. Donald L. Wells and Kevin J. Coppersmith, 1994. "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and surface Displacement". *Bull. Seism. Soc. Am., 84/4:974-1002.*

5. Geist E.L., Tom Parsons, 2006. Probabilistic analysis ò Tsunami hazards. *Nutural hazard, 37:277-134.*

6. Nguyễn Đình Xuyên và nnk, 2004. Báo cáo tổng kết đề tài độc lập cấp nhà nước "Nghiên cứu dự báo động đất và dao động nền ở Việt Nam". *Viện Vật lý địa cầu, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Hà Nội.*

7. Nguyễn Đình Xuyên, 2006. Nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần ở vùng bờ biển Việt Nam và đề xuất các giải pháp cảnh báo, phòng tránh. Báo cáo đề tài cấp VKHVN. *Lưu Thư Viện Vật lý Địa cầu. Hà Nội.*

8. Nguyễn Hồng Phương, 1997. Đánh giá động đất cực đại cho các vùng nguồn chấn động ở Việt Nam bằng tổ hợp các phương pháp xác suất. *Các công trình nghiên cứu Địa chất và địa Vật lý biển, T3/48-65. Hà Nội.*

9. Nguyễn Hồng Phương, 2004. Bản đồ độ nguy hiểm động đất Việt Nam và Biển Đông. *TC Các khoa học về Trái Đất, 26/2:97-111. Hà Nội.*

10. Takahashi R., 1951. An estimate of future tsunami damage along the Pacific coast of Japan, *Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ. 29:71-95.*

11. Trần Thị Mỹ Thành, 1997. Bước đầu đánh giá gia tốc nền lãnh thổ Việt nam. *TC Các Khoa học về Trái đất, T19/4:264-269. Hà Nội.*

12. Trần Thị Mỹ Thành và nnk., 2011. Đánh giá nguy cơ sóng thần ở các vùng ven biển Việt Nam. *TC Các Khoa học Về Trái đất, T33/2:209-214. Hà Nội.*

13. Vũ Thanh Ca, 2008. Các kịch bản sóng thần trên Biển Đông. Báo cáo dự án Xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ sóng thần cho các vùng biển Việt Nam. *Thư viện Viện Vật lý Địa cầu. Hà Nội.*

14. Ward S.N., 2002. Tsunamis, In: R. A. Meyers (ed.), The Encyclopedia of Physical Science and Technology. *Academic Press, pp. 175-191.*

15. Wesnousky S.G., Scholz C.H., Shimazaki K. and Matsuda T., 1984. Integration of geological and seismological data for the analysis of seismic hazard: a case study of Japan, *Bull. Seism. Soc. Am. 74:687-708.*