

ÁP DỤNG QUY LUẬT PHÂN BỐ CÁC GIÁ TRỊ CỰC TRỊ ĐỂ NGHIÊN CỨU TÍNH ĐỊA CHẤN KHU VỰC ĐÔNG NAM Á

VŨ THỊ HOÃN¹, NGÔ THỊ LƯ¹, M.V. RODKIN², TRẦN VIỆT PHƯƠNG¹

¹Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

²Viện Lý thuyết dự báo và Toán địa vật lý, Viện Hàn lâm Khoa học Nga

Tóm tắt: Phân bố giá trị cực trị tổng quát (GEV) được sử dụng rộng rãi trong việc mô hình hóa và xác định các giá trị cực trị. Trong bài báo này chúng tôi xác định các tham số của hàm GEV cho các trận động đất khu vực Đông Nam Á. Giá trị ngẫu nhiên của $M_{max}(\tau)$ được mô tả bởi hàm quantile $Q_q(\tau)$ của nó. Hàm này được sử dụng để đánh giá magnitude cực đại (M_{max}) cho khu vực ĐNA giai đoạn 1278-2014.

Tính địa chấn khu vực ĐNA giai đoạn này được đặc trưng bởi mức đại diện động đất $M = 4,0$. Hoạt động động đất tích cực thể hiện qua số lượng động đất tăng mạnh trong hai giai đoạn, 2001-2004 và 2008-2013. Magnitude động đất cực đại biến đổi rõ nét qua các giai đoạn khác nhau thể hiện tính chu kỳ của chế độ hoạt động động đất khu vực này. Giai đoạn hoạt động tích cực nhất của chế độ địa chấn là 2004-2013 ($M_{max} = 8,8$). Giai đoạn tiếp sau (2013-2023) được dự báo là giai đoạn ổn định hơn với $M_{max}^{dự\ báo} = 7,95 \pm 0,1$ với xác suất 98 %.

I. MỞ ĐẦU

Trong thời gian gần đây tại khu vực Đông Nam Á (ĐNA) đã xảy ra khá nhiều động đất mạnh gây thiệt hại nặng nề về người và của, như trận động đất gây sóng thần ngày 26 tháng 12 năm 2004 tại Sumatra, Indonesia với magnitude $M = 9$, tiếp đó là trận động đất ngày 12 tháng 9 năm 2007 với $M=8,5$, và mới đây nhất là trận động đất ngày 06 tháng 4 năm 2013 với $M=7,3$ xảy ra tại Papua, Indonesia. Do đó, nghiên cứu tính địa chấn và những vấn đề liên quan, đặc biệt là nghiên cứu dự báo động đất cực đại (M_{max}) đối với khu vực ĐNA vừa có ý nghĩa khoa học vừa có ý nghĩa thực tiễn.

Tính địa chấn khu vực ĐNA đã được nghiên cứu bởi nhiều tác giả khác nhau theo quy mô và mức độ chi tiết khác nhau. Ở Việt Nam có thể kể đến các kết quả nghiên cứu nhận được trong các công trình [5-7, 12]. Có thể thấy bắt đầu từ những nghiên cứu sơ lược về tần suất xuất hiện động đất khu vực Đông Nam Á trong [5]; tiếp theo là các nghiên cứu tương đối tổng quan trong [6, 12] với tập hợp các số liệu hạn chế có được; rồi đến những kết quả nghiên cứu khá bài bản theo một cách tiếp cận thống nhất với việc sử dụng một tập hợp đầy đủ các số liệu quan trắc bằng máy móc và kết hợp so sánh hoạt động địa chấn với các đặc điểm hoạt động địa động lực hiện đại khu vực ĐNA như trong công trình [7].

Kết quả nhận được trong các công trình nêu trên là những kết quả đáng ghi nhận góp phần làm sáng tỏ các đặc điểm đặc trưng của chế độ hoạt động địa chấn khu vực ĐNA qua từng giai đoạn cụ thể. Tuy nhiên, vấn đề đánh giá magnitude động đất cực đại (M_{max}) cho khu vực ĐNA trong các công trình nói trên cũng chưa được làm sáng tỏ một cách thỏa đáng. Bởi vì như chúng ta đã biết, khi nghiên cứu tính địa chấn của một khu vực bất kỳ, giá trị magnitude động đất cực đại luôn được quan tâm hàng đầu. Có nhiều phương pháp để xác định M_{max} như: phương pháp ngoại suy địa chấn, phương pháp tính theo quy mô vùng phát sinh động đất, phương pháp xác suất... Trong các phương pháp này thì phương pháp xác suất luôn dành được sự quan tâm đặc biệt của các nhà khoa học. Các tác giả Trần Thị Mỹ Thành [11] dùng Gumbel III, Nguyễn Hồng Phương [9] dùng hàm phân bố Beta và hợp lý cực đại, Phạm Văn Thục và Kijko dùng Gumbel I cải tiến để tính M_{max} cho các vùng động đất ở Việt Nam [12]. Nguyễn Kim Lạp và Nguyễn Duy Nuôi đã sử dụng hàm phân bố tiệm cận Gumbel I để tính độ nguy hiểm động đất cho khu vực Đông Nam Á với chu

kì số liệu 6 tháng cho giai đoạn 1904-1952 và 1 năm cho giai đoạn 1903-1965 [6]. Đặng Thanh Hải đã chọn chu kỳ số liệu là 2 năm cho giai đoạn 1900-2000 [6]. Có thể thấy rằng, việc chọn bước nhảy trong các công trình này chênh lệch nhau khá nhiều và chưa có sự lý giải hợp lý cho từng cách chọn. Do vậy trong nghiên cứu này chúng tôi sẽ nghiên cứu tính địa chấn khu vực ĐNA trên cơ sở áp dụng quy luật phân bố các giá trị cực trị cho chu kỳ số liệu giai đoạn 1278-2014 với bước nhảy được chọn phù hợp nhất là 200 ngày. Khu vực nghiên cứu giới hạn bởi các tọa độ $\varphi = -10-30^{\circ}\text{N}$; $\lambda = 90-140^{\circ}\text{E}$.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ SỐ LIỆU SỬ DỤNG

Trong công trình này, quy luật phân bố các giá trị cực trị (M_{\max}) theo khoảng thời gian (ΔT) được áp dụng để xác định M_{\max} cho giai đoạn tiếp theo trong sự phù hợp với [2, 3].

Thu thập và chỉnh lý các số liệu động đất trong danh mục địa chấn quốc tế ISC [1] cho phép xây dựng được danh mục động đất khu vực ĐNA giai đoạn 1278-2014 bao gồm 148.292 trận động đất với magnitude $M \leq 8,8$. Danh mục động đất như vậy có thể coi là cơ sở dữ liệu địa chấn đối với khu vực ĐNA, phục vụ nhiều nghiên cứu khác nhau trong lĩnh vực các khoa học về Trái đất.

Áp dụng thuật toán tách tiền chấn - dư chấn theo [8] đối với danh mục động đất nói trên với việc sử dụng cửa sổ không gian, thời gian như được đề nghị trong [7], cho phép nhận được danh mục các trận động đất độc lập gồm 80.561 trận động đất với $3,0 \leq M_s \leq 8,8$.

III. CÁC ĐẶC ĐIỂM HOẠT ĐỘNG ĐỘNG ĐẤT KHU VỰC ĐNA

1. Đồ thị lặp lại động đất khu vực ĐNA

Trên cơ sở các số liệu trong danh mục động đất độc lập, đã xây dựng đồ thị lặp lại động đất cho khu vực ĐNA giai đoạn nghiên cứu (1278 – 2014) (Hình 1), được biểu diễn bởi phương trình có dạng dưới đây:

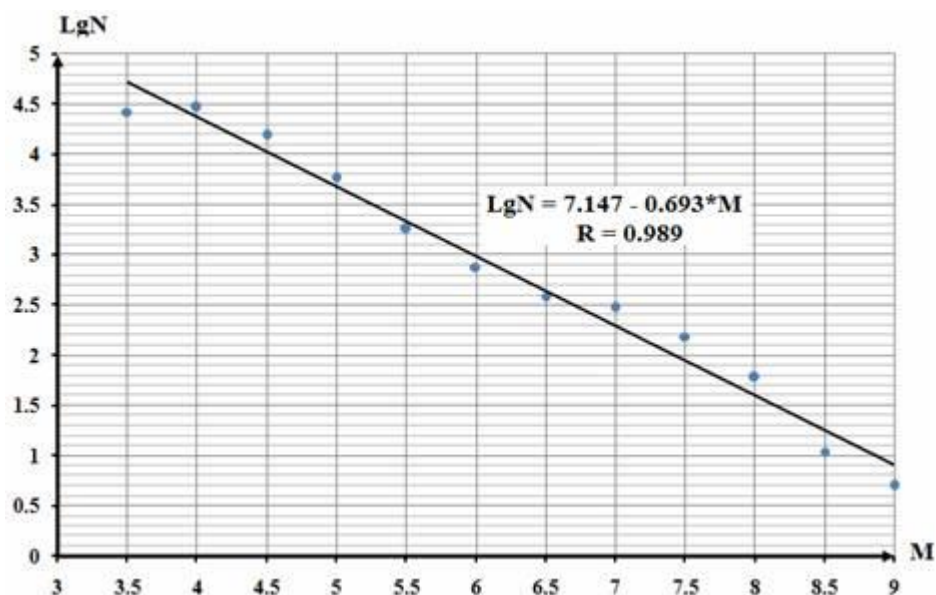
$$\text{Lg}N = 7,147 - 0,693 * M \quad (1)$$

Với hệ số tương quan $R = 0,989$

Trong đó: N là số lượng động đất có magnitude nằm trong khoảng các giá trị M tương ứng (Bảng 1).

Bảng 1. Phân bố động đất theo magnitude

M	N	Log(N)	M	N	Log(N)
3-3,5	4,4218	4,9059	6-6,5	911	2,5877
3,5-4	4,4657	4,7333	6,5-7	524	2,4683
4-4,5	4,194	4,3961	7-7,5	230	2,1875
4,5,5	3,7634	3,9668	7,5-8	76	1,7782
5-5,5	3,2553	3,5396	8-8,5	16	1,0414
5,5-6	2,8768	3,2212	8,5-9	5	0,699



Hình 1. Đồ thị lặp lại động đất khu vực ĐNA (1278-2014).

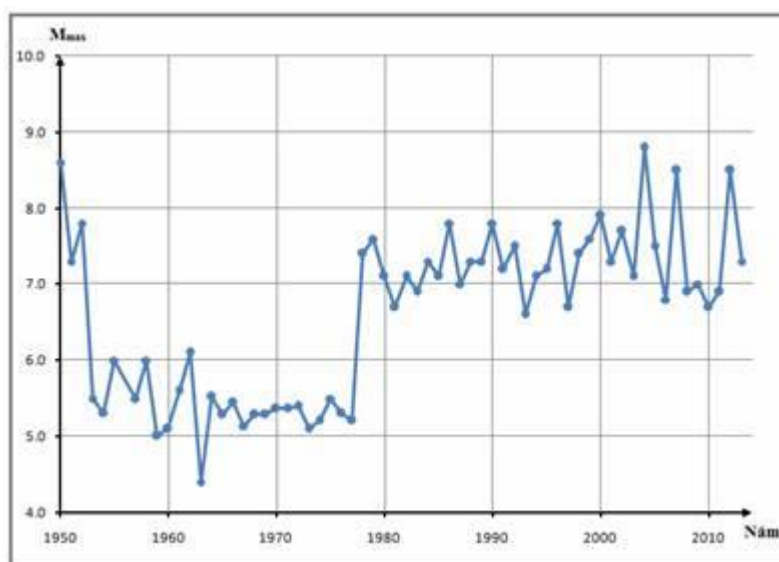
Các kết quả trên Hình 1 cho thấy khu vực ĐNA (với 80.561 trận động đất $M \geq 3$) có mức đại diện động đất giai đoạn 1278 - 2014 là $M = 4,0$. So sánh kết quả này với kết quả tương ứng từ [11] ta thấy sự phù hợp tương đối, cụ thể, trong [11] M đại diện cho tập số liệu gồm 22.542 trận động đất độc lập giai đoạn 1278 - 2008 với $M \geq 4$ là $M = 4,5$.

2. Phân bố động đất cực đại (M_{max}) theo thời gian

Để xem xét quy luật phân bố động đất cực đại theo thời gian, chúng tôi tiến hành xây dựng các đồ thị phân bố giá trị magnitude cực đại theo năm, từ năm 1950 đến năm 2013. Các kết quả được chỉ ra tại Bảng 2 và trên Hình 2. Cần lưu ý rằng, qua phân tích danh mục động đất khu vực ĐNA giai đoạn 1278-2014 cho thấy chỉ từ năm 1950 trở đi số liệu địa chấn mới tỏ ra khá liên tục và tương đối đầy đủ. Vì vậy để đảm bảo tính khách quan và độ liên tục về thời gian, chúng tôi chỉ xem xét phân bố giá trị magnitude động đất cực đại theo năm trên cơ sở số liệu giai đoạn 1950-2013 (Bảng 2).

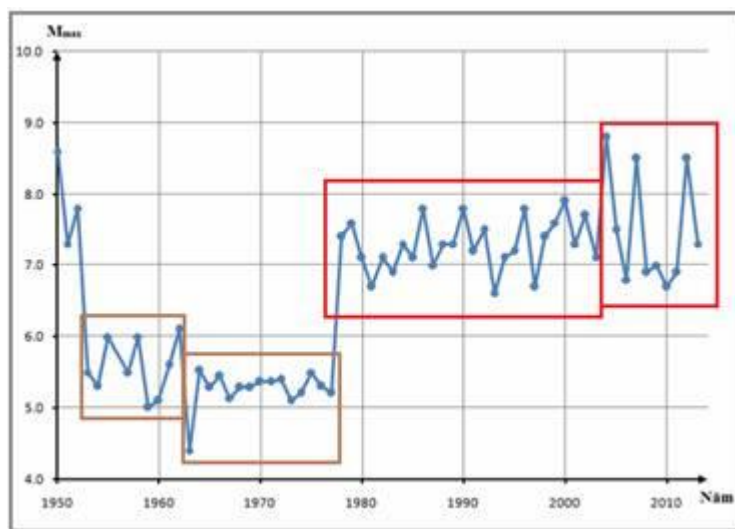
Bảng 2. Phân bố động đất cực đại khu vực ĐNA theo năm (1950-2013)

Năm	M_{max}	Năm	M_{max}	Năm	M_{max}	Năm	M_{max}	Năm	M_{max}
1950	8,6	1964	5,5	1977	5,2	1990	7,8	2003	7,1
1951	7,3	1965	5,3	1978	7,4	1991	7,2	2004	8,8
1952	7,8	1966	5,4	1979	7,6	1992	7,5	2005	7,5
1953	5,5	1967	5,1	1980	7,1	1993	6,6	2006	6,8
1954	5,3	1968	5,3	1981	6,7	1994	7,1	2007	8,5
1955	6	1969	5,3	1982	7,1	1995	7,2	2008	6,9
1957	5,5	1970	5,4	1983	6,9	1996	7,8	2009	7,0
1958	6	1971	5,4	1984	7,3	1997	6,7	2010	6,7
1959	5	1972	5,4	1985	7,1	1998	7,4	2011	6,9
1960	5,1	1973	5,1	1986	7,8	1999	7,6	2012	8,5
1961	5,6	1974	5,2	1987	7,0	2000	7,9	2013	7,3
1962	6,1	1975	5,5	1988	7,3	2001	7,3		
1963	4,4	1976	5,3	1989	7,3	2002	7,7		



Hình 2. Phân bố động đất cực đại khu vực ĐNA theo năm (1950 – 2013).

Các kết quả trên Hình 2 thể hiện khá rõ nét tính chu kỳ của quy luật phân bố giá trị magnitude động đất cực đại theo năm đối với khu vực ĐNA. Giai đoạn 1950-1953, M_{max} ở mức khá cao ($M_{max} = 7,3-7,8$). Giai đoạn 1954-1977, M_{max} tụt xuống dưới mức 6,1. Giai đoạn từ 1978 - 2013 mức M_{max} tăng đột biến so với giai đoạn trước và đạt cực đại tại $M_{max} = 8,8$ vào năm 2004. Trong mỗi giai đoạn lại có thể chia thành những chu kỳ nhỏ hơn với khoảng thời gian lặp lại động đất mạnh M_{max} là từ 3-5 năm như biểu diễn trên Hình 3.



Hình 3. Các chu kì hoạt động động đất.

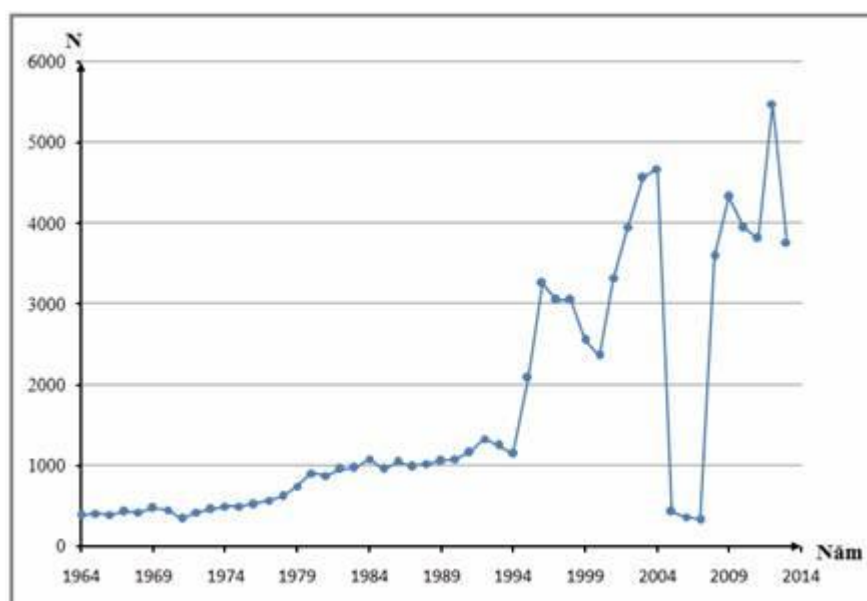
3. Tiến trình thời gian động đất giai đoạn 1278-2014

Xem xét danh mục động đất độc lập khu vực ĐNA giai đoạn 1278-2014 cho thấy, trước năm 1964 số lượng động đất được ghi nhận hàng năm không nhiều, chỉ vài trận trong 1 năm. Vì vậy, trong phần này, chúng tôi chỉ xem xét và xây dựng đồ thị biểu diễn tiến trình thời gian xảy ra động đất đối với khu vực nghiên cứu cho giai đoạn từ 1964 đến 2013. Phân bố số lượng động đất khu vực ĐNA theo thời gian được trình bày tại Bảng 4 và trên Hình 4.

Bảng 4. Phân bố số lượng động đất khu vực ĐNA theo thời gian

Năm	N	Năm	N	Năm	N	Năm	N
1964	384	1976	521	1988	1.025	2001	3.325
1965	407	1977	571	1989	1.059	2002	3.957

1966	395	1978	622	1990	1.082	2003	4.570
1967	426	1979	745	1991	1.167	2004	4.674
1968	423	1980	904	1992	1.333	2005	430
1969	473	1981	875	1993	1.248	2006	362
1970	450	1982	960	1994	1.150	2007	330
1971	339	1983	970	1995	2.084	2008	3.597
1972	420	1984	1.081	1996	3.259	2009	4.332
1973	459	1985	960	1997	3.052	2010	3.951
1974	496	1986	1.046	1998	3.051	2011	3.814
1975	495	1987	991	1999	2.553	2012	5.480
				2000	2.365	2013	3.764



Hình 4. Tiến trình thời gian hoạt động động đất khu vực DNA theo năm.

Phân tích các kết quả trên hình 4 cho thấy, trong giai đoạn từ 1964 - 1994 trên lãnh thổ nghiên cứu hàng năm xảy ra trên dưới một nghìn trận động đất. Nhưng từ năm 1995 đến năm 2000 con số này đã lên đến hàng nghìn với cực đại tại năm 1996 là 3259 trận động đất. Giai đoạn 2001 - 2004, số lượng động đất theo năm tiếp tục tăng mạnh với cực đại là 4674 trận động đất năm 2004. Giai đoạn từ 2005 - 2007 số lượng động đất hàng năm giảm rõ rệt xuống mức dưới 500 trận. Tiếp theo từ năm 2008 đến nay, con số này lại duy trì ở mức cao mà đỉnh điểm là năm 2012 (5480 trận động đất).

4. Quy luật phân bố các giá trị cực trị

Như phân tích ở trên, giai đoạn 1950-2013 được chia thành 3 giai đoạn nhỏ hơn với đặc trưng M_{\max} khác nhau. Mỗi giai đoạn này bị chi phối bởi một quy luật phân bố các giá trị cực trị khác nhau. Trong công trình này, giai đoạn 1978-2014 sẽ được chúng tôi chọn để nghiên cứu chi tiết quy luật phân bố động đất mạnh ($M \geq 4,7$) theo thời gian. Khi đó, chúng tôi áp dụng phương pháp nghiên cứu được đề xuất trong [2, 3].

Theo phương pháp này, tổng số sự kiện thỏa mãn điều kiện trên là $N = 5062$. Thời gian từ 01/01/1978 (t_1) đến 05/5/2014 (t_n) có 13.268 ngày. Chia khoảng thời gian $t_1 - t_n$ thành N_T khoảng bằng nhau với bước nhảy T ngày thỏa mãn 3 điều kiện sau:

a/ Trong phân đoạn thời gian T bất kì luôn có sự kiện động đất.

b/ Giá trị $1/\lambda T \rightarrow 0$.

c/ Giá trị của tham số ζ đủ lớn và ổn định để xác định được hàm phân bố giá trị cực trị tổng quát.

Theo số liệu trong danh mục động đất khu vực nghiên cứu, để thỏa mãn điều kiện (a) thì giá trị của T bắt buộc phải lớn hơn 40 ngày. Từ các số liệu thống kê trong Bảng 5, khi T càng lớn thì giá trị của tỷ số $(1/\lambda T)$ càng nhỏ. Về nguyên tắc giá trị $(1/\lambda T)$ càng gần giá trị “0” thì càng tốt. Tuy nhiên, để thỏa mãn điều kiện (c) thì từ Hình 5 cho thấy giá trị của hàm ζ tương đối ổn định (cỡ - 0,277597) trong khoảng biến thiên của T từ 100 đến 200 ngày. Do đó, nếu lấy các giá trị $(1/\lambda T) \leq 0,013$ thì giá trị T sẽ lớn hơn 200 ngày và khi đó, hàm ζ sẽ thuộc vùng không ổn định. Vì vậy, để thỏa mãn cả 3 điều kiện trên thì giá trị phù hợp nhất của T là 200 ngày.

Bảng 5. Các giá trị của tích λT theo T

T	50	100	150	200	250	300	350	400
λT	19,09	38,17	57,26	76,35	95,44	114,52	133,61	152,7
$1/\lambda T$	0,052	0,026	0,017	0,013	0,010	0,009	0,007	0,007

Tổng thời gian tính theo bước nhảy T là 13.200 ngày. Trong khoảng thời gian này có 5.039 sự kiện thỏa mãn $M \geq 4.7$.

Gọi λ là tần suất xảy ra động đất có magnitude $M \geq m$. Hàm phi tuyến mô tả đặc trưng phân bố động đất mạnh được cho bởi biểu thức (2).

$$\overline{F(m)} \overline{F(m)} = 10^{-b(m-m_0)} \quad (2)$$

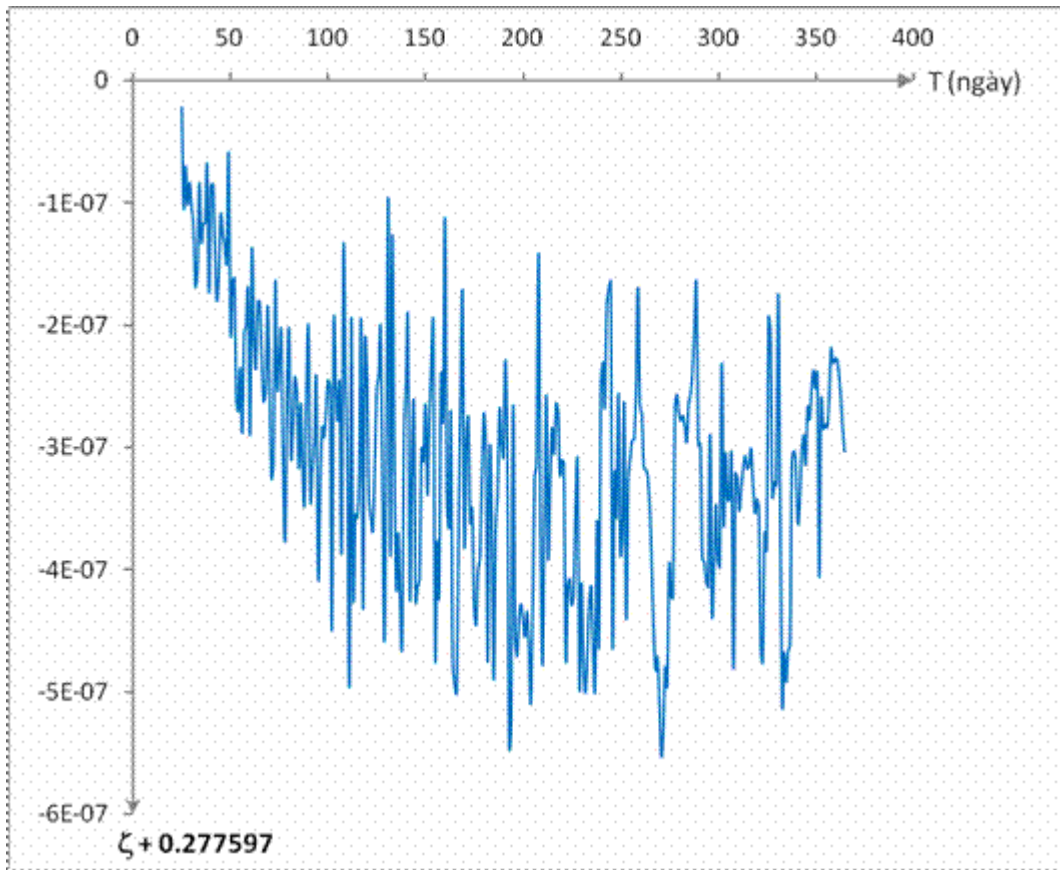
Với b là độ dốc của đồ thị lặp lại Gutenberg – Richter, $m_0 = m_{\min} = 4,7$.

Hàm phân bố tích lũy bổ sung của hàm $\overline{F(m)} \overline{F(m)}$ được định nghĩa là:

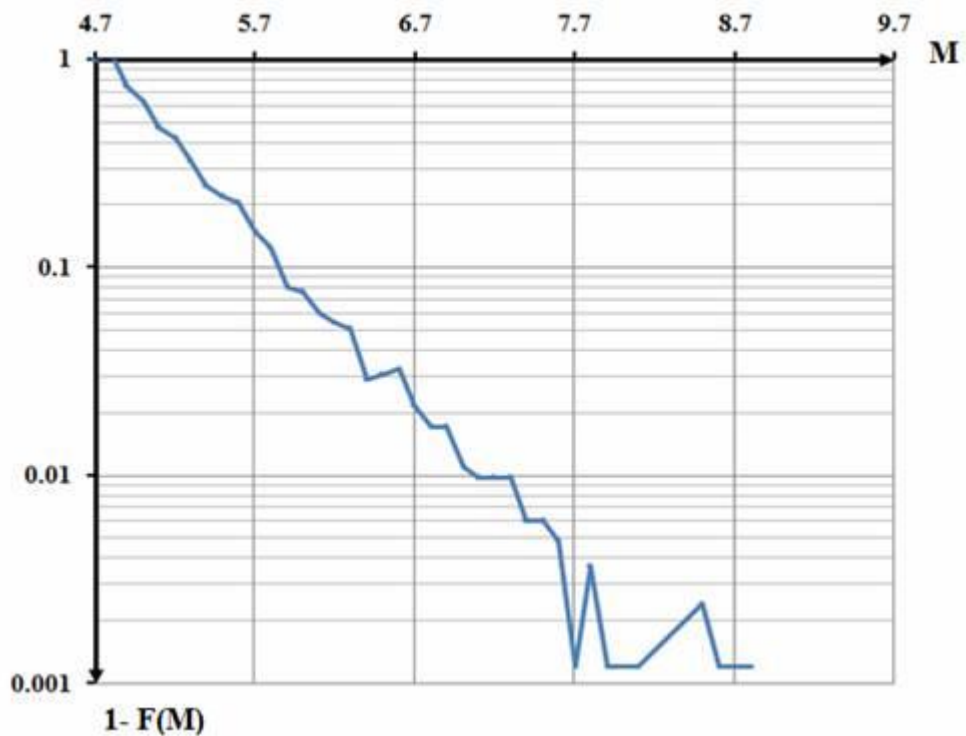
$$F(m) = 1 - \overline{F(m)} \overline{F(m)} \quad (3)$$

Hàm phân bố giá trị cực trị của magnitude trong khoảng thời gian T bất kỳ có dạng:

$$\Phi_T(x) = \frac{e^{-\lambda T(1-F(x))} - e^{-\lambda T}}{1 - e^{-\lambda T}} \frac{e^{-\lambda T(1-F(x))} - e^{-\lambda T}}{1 - e^{-\lambda T}} \quad (4)$$



Hình 5. Đồ thị hàm $\zeta(T)$.



Hình 6. Đồ thị hàm phân bố tích lũy bổ sung các trận động đất độc lập giai đoạn 1978-2014.
Mật độ phân bố Poisson λ được tính như sau:

$$\lambda = \frac{N}{t} = \frac{5039}{13200} = \frac{N}{t} = \frac{5039}{13200} = 0,381742$$

Để xác định giá trị giới hạn của M_{\max} , trong công trình này chúng tôi dùng lý thuyết giá trị cực trị như được đề nghị trong [2, 3]. Gọi τ là khoảng thời gian bất kỳ mà ta cần dự báo M_{\max} trong đó. Giá trị của điểm phân vị trong khoảng thời gian này là:

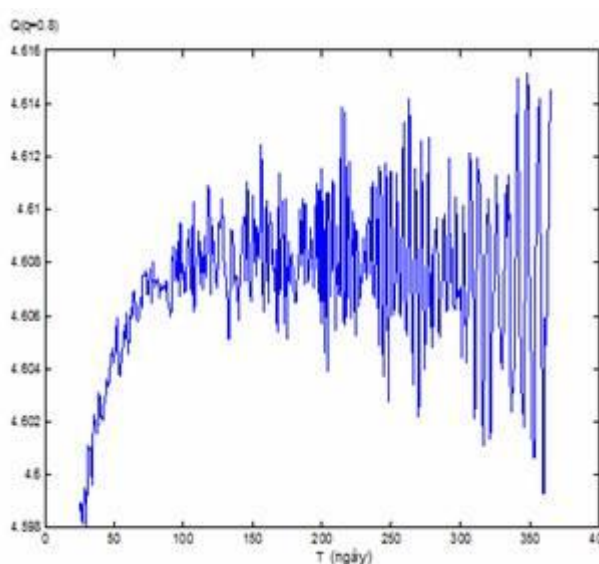
$$Q_q(\tau) = h + (s/\xi) \cdot [a \cdot (\lambda\tau)^\xi - 1], \quad (6)$$

Ở đây $a = [\log(1/q)]^{-\xi}$.

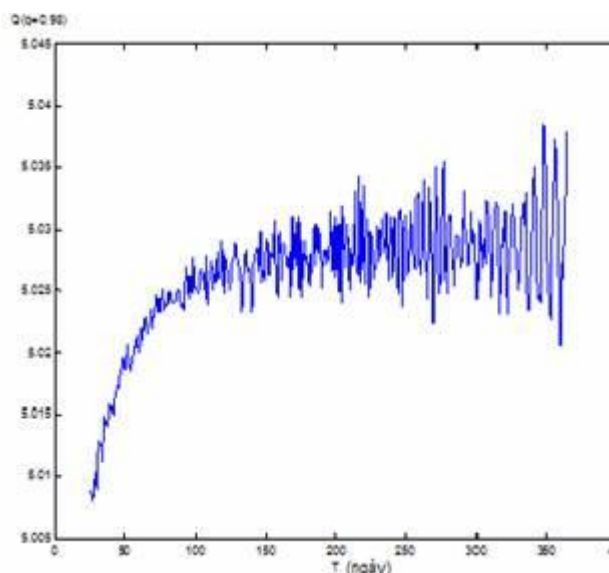
Cần chú ý rằng, độ tán xạ của hàm $Q(T)$ phụ thuộc vào giá trị của xác suất dự báo (q). Trên các Hình 7a, 7b trình bày các đồ thị hàm số $Q(T)$ trong hai trường hợp tương ứng với xác suất dự báo (q) khác nhau. Rõ ràng hàm $Q(T)$ trong trường hợp $q = 0,8$ có độ tán xạ lớn hơn so với trong trường hợp $q = 0,98$ (Hình 7a, 7b). Vì vậy để đảm bảo sự tán xạ nhỏ của $Q(T)$, trong bài báo này, xác suất dự báo được chọn là 98 %.

Hàm phân bố giá trị cực trị tổng quát có dạng:

$$GEV(x | \zeta, \sigma, \mu) = \exp(-[1 + (\zeta/s) \cdot (x - \mu)]^{-1/\zeta}), \quad \zeta < 0; \sigma > 0; \quad x \leq \mu - s/\zeta. \quad (5)$$



Hình 7a. Đồ thị hàm số $Q(T)$ với $q = 0,8$.



Hình 7b. Đồ thị hàm số $Q(T)$ với $q = 0,98$.

Các tham số ζ, σ, μ được xác định từ số liệu thực nghiệm theo các khoảng chia T khác nhau. Khi biểu diễn các tham số này là hàm của khoảng thời gian dự báo τ khi đã có $\zeta(T), \sigma(T), \mu(T)$ như sau:

$$\zeta(\tau) = \zeta(T); \quad (7)$$

$$\sigma(\tau) = \sigma(T) \cdot (\tau/T)^\xi; \quad (8)$$

$$\mu(\tau) = \mu(T) + (\sigma(T)/\xi) \cdot [(\tau/T)^\xi - 1]; \quad (9)$$

Khi $\tau \rightarrow \infty$ thì $M_{\max}(\tau) \rightarrow M_{\max} = 9,074086$.

Với $\tau = 10$ năm, chọn sự kiện ngưỡng là trận động đất với magnitude $M = 7,3$, xảy ra ngày 6/4/2013 tại Papua, Indonesia. $Q_q(10) = 7,95$. Giá trị của các tham số và các hàm số nêu trên được tính theo các công thức (5-9) và được trình bày tại Bảng 6.

Bảng 6. Giá trị của các tham số và hàm số

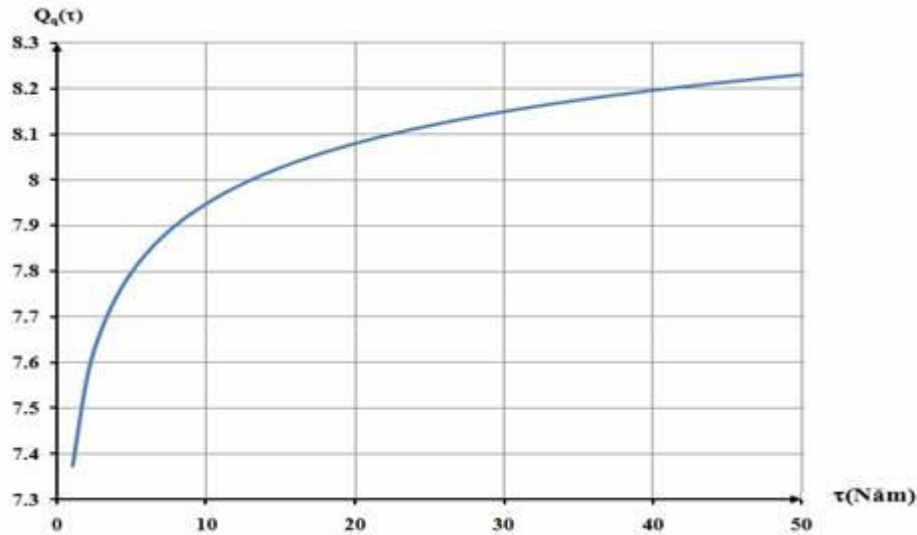
$\zeta(\tau)$	λ	T	h	τ	a	s	$\mu(\tau)$	$\sigma(\tau)$
---------------	-----------	-----	-----	--------	-----	-----	-------------	----------------

-0,27	0,38	200	7,30	10	0,43	0,32	7,36	0,69
-------	------	-----	------	----	------	------	------	------

Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của $Q_q(\tau)$ vào khoảng thời gian dự báo như trên Hình 6.

Từ Hình 6, ta có $Q_{0,98}(10) = 7,95$ tức là M_{\max} dự báo vào khoảng $7,95 \pm 0,1$ với xác suất 98 %.

So sánh kết quả này với đồ thị phân bố động đất cực đại theo năm (Hình 3), ta thấy xu hướng đi xuống của M_{\max} sẽ kết thúc trong năm 2014-2015, và một chu kỳ mới sẽ bắt đầu với M_{\max} dự báo vào khoảng $7,95 \pm 0,1$ với xác suất 98 % tính từ sự kiện ngưỡng năm 2013.



Hình 6. Đồ thị $Q_q(\tau)$ với $q = 0,98$ theo số liệu từ danh mục động đất ĐNA ($M \geq 4,7$).

IV. KẾT LUẬN

Tính địa chấn khu vực ĐNA giai đoạn 1278-2014 được đặc trưng bởi mức đại diện động đất $M = 4,0$. Hoạt động động đất tích cực thể hiện qua số lượng động đất tăng mạnh trong hai giai đoạn từ 2001-2004 và 2008-2013. Magnitude động đất cực đại biến đổi rõ nét qua các giai đoạn khác nhau thể hiện tính chu kỳ của chế độ hoạt động động đất khu vực này. Giai đoạn hoạt động tích cực nhất của chế độ địa chấn là 2004-2013 ($M_{\max} = 8,8$). Giai đoạn tiếp sau (2013-2023) được dự báo là giai đoạn ổn định hơn với $M_{\max}^{\text{dự báo}} = 7,95 \pm 0,1$ với xác suất 98 %.

VĂN LIỆU

1. Earthquake.usgs.gov/earthquakes.

2. Pisarenko V.F., A. Sornette, D.Sornette and M.V.Rodkin, 2008. New approach to the Characterization of M_{\max} and of the Tail of the Distribution of Earthquake Magnitudes. *Pure and Applied Geophysics*, 165 (2008), pp 847-888.

3. Pisarenko V.F., D.Sornette and M.V.Rodkin, 2010. Distribution of maximum Earthquake magnitudes in future time intervals: application to the seismicity of Japan (1923-2007). *EPS (Earth, Planets and Space)*, vol.62, pp 567-578.

4. Đặng Thanh Hải, 2003. Nghiên cứu một số đặc điểm cấu trúc sâu vỏ Trái đất và phân vùng địa chấn kiến tạo miền Bắc Việt Nam. *Luận án Tiến sĩ Vật lý. Viện Vật lý Địa cầu, Hà Nội, 150 tr.*

5. Nguyễn Hải, 1979. Bước đầu khảo sát tần số xuất hiện động đất ở khu vực Đông Nam Á. *TC Các khoa học về Trái đất. Hà Nội, 1979. Số 1.*

6. Nguyễn Kim Lạp, Nguyễn Duy Nuôi, 1986. Độ nguy hiểm động đất trong khu vực Đông Nam Á. *Các công trình khoa học của Trung tâm nghiên cứu Vật lý địa cầu, tập V, Viện Khoa học Việt Nam, Hà Nội, tr. 7-13.*

7. Ngô Thị Lư, 1999. Các đặc điểm của tính địa chấn và các đặc trưng cơ bản của chấn tiêu động đất khu vực Đông Nam Á từ quan điểm làm sáng tỏ các cấu trúc kiến tạo mới. Luận án TSKH toán-lý, chuyên ngành Vật lý địa cầu. *Viện Vật lý Địa cầu, Viện hàn lâm Khoa học Nga. Moscow, 1999. 342 tr. (Tiếng Nga).*

8. Ngô Thị Lư, Trần Việt Phương, 2013. Xây dựng thuật toán mới của chương trình tách các nhóm tiền chấn và dư chấn khỏi danh mục động đất để bảo đảm tính độc lập của các sự kiện. *TC Khoa học và Công nghệ biển. T.13, Số 3A. Hà Nội, 9/2013. Tr. 79-85.*

9. 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, tập III, Nxb Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, tr. 48-65.*

10. Bùi Công Quế (Chủ biên), 2010. Nguy hiểm động đất và sóng thần ở vùng ven biển Việt Nam. *Nxb Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 312 tr. Viện Vật lý Địa cầu.*

11. Trần Thị Mỹ Thành, 2002. Đánh giá độ nguy hiểm địa chấn lãnh thổ Việt Nam và lân cận. *Luận án Tiến sĩ Vật lý, Hà Nội, 161 tr. Viện Vật lý Địa cầu.*

12. Phạm Văn Thục, 1980. Một số đặc trưng của chế độ động đất ở khu vực Đông Nam Á. *Các kết quả nghiên cứu Vật lý Địa cầu năm 1979. Viện KH&CNVN. Hà Nội, 1980.*