

# КИБЕРНЕТИКА И МЕХАТРОНИКА

## ПРОГНОЗ ВОЗМОЖНО МАКСИМАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РАЙОНЕ ВЬЕТНАМА

**К.А. Пупков, Као Динь Чонг**

Кафедра кибернетики и мехатроники  
Российский университет дружбы народов  
*ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419*

**Као Динь Чьеу, Фам Нам Хунг**

Институт геофизики  
*ул. Хоанг Гуок Вьет, г. Ханой, Вьетнам*

Исследована возможность применения нейронных сетей для определения вероятности землетрясений в северо-западном районе Вьетнама.

**Ключевые слова:** прогноз землетрясений, магнитуды землетрясений, нейронная сеть.

В 1924 г. во Вьетнаме была построена первая станция мониторинга землетрясений в районе Фу Лиен (города Хайфон). В настоящее время имеется сеть мониторинга, состоящая из 24 станций. Получены результаты о характеристиках сейсмологии Вьетнама [1—7; 9]. Самым активным районом является северо-западный район. Землетрясения Тхань Хоа (1635 г. с М. 6,7), Дьен Бьен (1935 г. с М. 6,8), и Туан Зао (1983 г. с М. 6,7) подтверждают данное утверждение. По северо-западному региону Вьетнама проведено было мало исследований, исследование этого района является актуальной задачей.

Прогнозирование максимальной силы (магнитуды) землетрясений на основе нейронных сетей (neural network) известно в мировой практике [8; 10—13] и дает хорошие результаты для многих регионов мира. По этому направлению во Вьетнаме исследования не проводились.

В рамках работы проведены эксперименты по применению нейронных сетей для прогноза максимальной силы землетрясений северо-западного района Вьетнама. Исследованная область представлена на рис. 1. Для прогноза были использованы следующие данные: 1) значение плотности линеаментов; 2) значение градиента Бугера гравитационного поля; 3) градиент аномалий магнитного поля; 4) градиент вертикального сдвига в современной коре тектоники; 5) градиент толщины осадочного чехла; 6) градиент глубины в кристаллическом фундаменте; 7) градиент толщины коры. Эти параметры связаны с возникновением землетрясений

и частично использовались в исследованиях [1—3; 5; 6; 9]. В работе использован каталог землетрясений Вьетнама, который составлен Институтом геофизики до 2009 г. и обновлен международными и историческими данными [1].

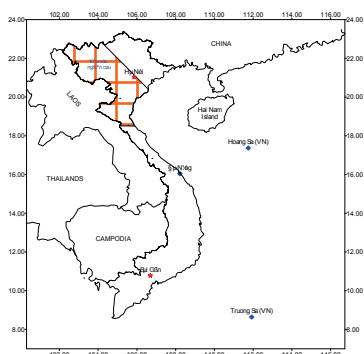


Рис. 1. Исследованная область и прилегающие к ней регионы

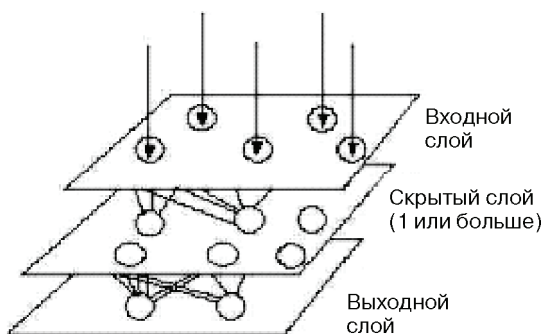


Рис. 2. Архитектура нейронной сети

**Возможность применения нейросетевых технологий для прогноза землетрясений.** Искусственные нейронные сети служат для вычисления и анализа данных. На рисунке 2 показана модель искусственной нейронной сети. В этой модели есть три слоя: входной, скрытый и выходной. Каждый слой имеет некоторое количество нейронов, и каждый нейрон связан с другими, такие связи определяются структурой сети. У каждого нейрона есть свой вес, который определяет межнейронные связи. Входные данные проходят входной слой, умножаются на вес соответствующего нейрона и проходят через активационную функцию. Эти данные являются входными для следующего слоя. Тип функций и связей между нейронами зависит от типов модели и конкретной задачи [11].

Во Вьетнаме нейронные сети для прогноза землетрясений не применялись. Для подтверждения эффективности этого метода создана нейронная сеть FeedForward с алгоритмом обучения обратного распределения с целью прогноза максимального землетрясения по входным данным и сравнения значений, полученных по нейронной сети с реальным данным по каталогу землетрясений северо-западного района Вьетнама. В качестве примеров выбрали 24 максимальных землетрясения больше 4,5 М. Входные данные выбрали по семи значениям, результаты показаны в табл. 1.

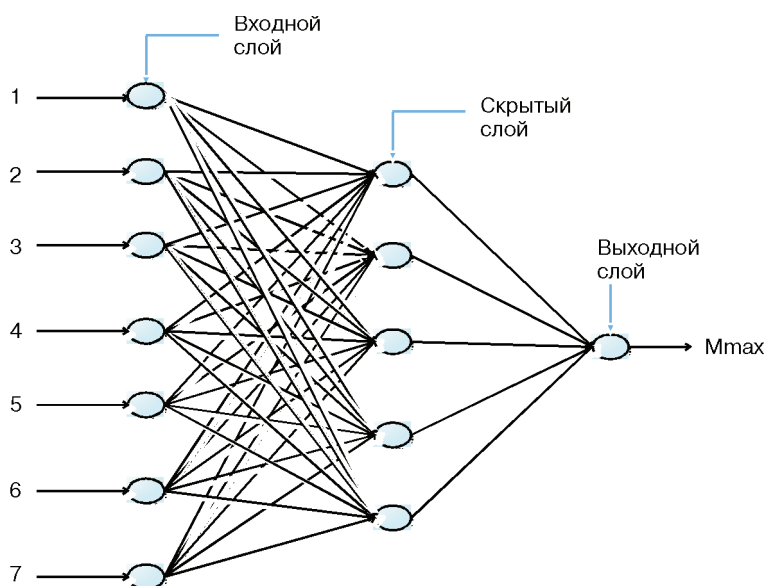
Таблица 1

Пример обучения нейронной сети

Долгота	Широта	M (реальное значение)	M (расчетное значение)
102,4	22,4	4,5	4,5649
102,6	22,2	5,3	5,357
103,2	22	4,6	4,5274
103,2	22,6	4,5	4,5721
103,4	21,2	4,6	4,5772
103,4	21,4	5	5,0548
103,4	21,6	6,7	6,5585
103,8	21,2	4,9	4,8728
104,2	22	4,7	4,6022
104,2	22,2	5	4,9398
104,2	22,4	4,9	4,9275
104,4	22,4	4,7	4,6996

В таблице 1 представлены некоторые результаты, полученные при применении нейронной сети для выборки из 24 примеров. Полученное значение  $R$  равно 0,9006, ошибка нейронной сети не превышала 0,1. Эти результаты подтверждают эффективность применения НС с тремя слоями, семью различными значениями на входе, пятью нейронами у скрытого слоя и одним нейроном на выходе, который дает нам максимальное значение вероятности землетрясения в этом регионе Вьетнама.

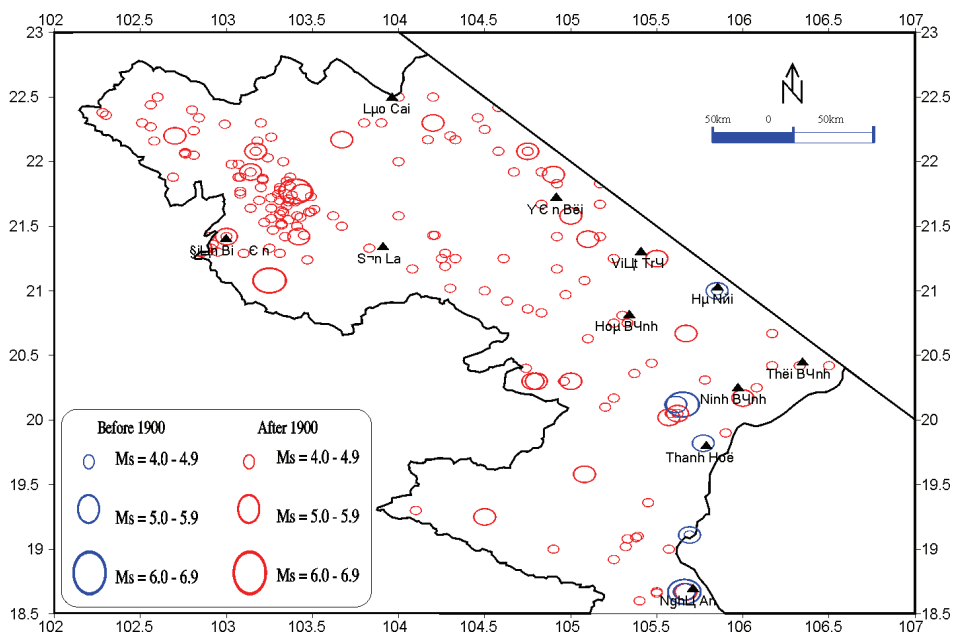
Процесс построения нейронной сети определяется выбором типа и структуры сети по методу проб и ошибок. Полученная сеть представлена на рис. 3. Сеть оценивается по значениям  $R$ , определяющим отношения между реальными и полученными результатами. Чем ближе значение  $R$  к 1, тем точнее результаты. Программа MATLAB с модулем нейронной сети использовалась для создания сети Neural Network Toolbox 6.0.4/nntool.



**Рис. 3.** Нейронная сеть для прогноза землетрясений северо-западного района Вьетнама

**Прогноз сильных землетрясений северо-западного района Вьетнама на основе нейронных сетей.** По каталогу землетрясений северо-западного района Вьетнама, количество землетрясений у северо-западного района Вьетнама равно 521, в том числе 10 землетрясений, происходящих до 1900 г. (с магнитудами больше 4) и 511 после 1900 г. (с магнитудами больше 3).

С помощью нейронной сети проведен прогноз сейсмической активности северо-западного района Вьетнама. Северо-западный район разделен на 225 квадратных одинаковых частей с интервалом 20 км. Для каждого квадрата вычисляются семь значений средних по данным. Выбирается представленное землетрясение для каждого квадрата.



**Рис. 4.** Карта расположения эпицентров землетрясений северо-западного района Вьетнама

Для прогноза сильных землетрясений были использованы каталог землетрясений, произошедших с 1900 г., и полный каталог землетрясений, в том числе землетрясений, произошедших до 1900 г. (рис. 4).

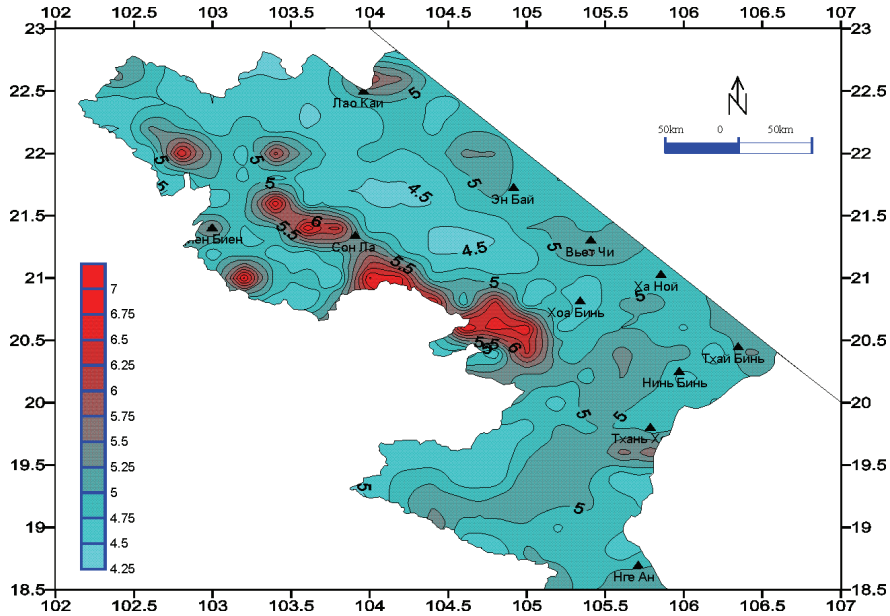
Обучение сети водится на выборке, содержащей 70% данных, 15% данных для проверки состояния сети и последние 15% для проверки работоспособности сети. Для каждого интервала данных вычисляются значения  $R$  и последнее значение, которое покажет точность сети, будет производиться по средним значениям  $R$ . С набором примеров обучения сети, включенных землетрясений больше 4,5, результатами будут подрайоны с возможностью землетрясений с магнитудами больше или равными 5.

На рисунках 5 и 6 представлены результаты прогнозирования, полученные при использовании каталога землетрясений с 1900 г. и при использовании полного каталога землетрясений, выключенные землетрясения с историческими землетрясениями.

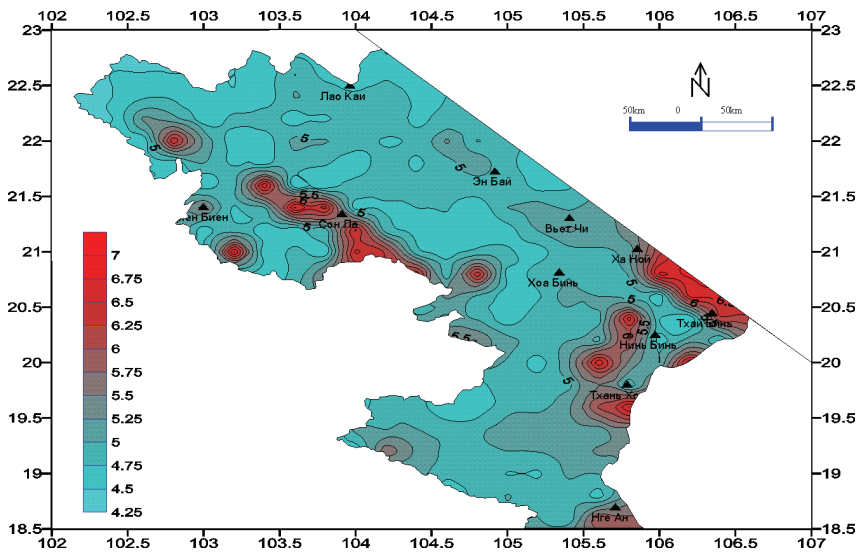
По результатам прогноза землетрясений северо-западного района Вьетнама методом нейронной сети получены следующие выводы:

— прогноз значения максимальных землетрясений методом нейронной сети, используемым в мире, может быть использован для Вьетнама, у страны есть хороший каталог, и возможно сдать хорошие результаты.

— в пяти очагах северо-западного района Вьетнама (Мьонг Те; Лай Чау — Диен биен; Сонг Ма; Сон Ла — Сонг Да; Сонг Хонг и Сонг Ка) возможны землетрясения с магнитудами больше 6,0. Отмечены подрайоны, в которых были сильные землетрясения больше 6,0 (Тхан Хоа (1635 г. М 6,7), Диен Биен (1935 г. М 6,8), Туан Зао (1983 г. М 6,7) в остальных подрайонах как по очагу Сон Ла, подрайон Мьонг Те — Лай Чау-Диен Биен очагов, по Сонг Хонг очагу с Ханой до Хай Фонг, и по Сонг Ма и Сонг Ка очагам возможны землетрясения с магнитудами больше 6,0.



**Рис. 5.** Карта результатов прогноза максимальных значений землетрясений для районов северо-западного района Вьетнама по каталогу с 1900 г.



**Рис. 6.** Карта результатов прогноза значений землетрясений с максимальной магнитудой для районов северо-западного района Вьетнама по каталогу с историческими землетрясениями

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Cao Đình Triều, 2010. Tai biến Động đất ở Việt Nam / Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 304 trang.
- [2] Cao Đình Triều, Lê Văn Dũng, Thái Anh Tuấn, 2010. Độ nguy hiểm động đất khu vực Tây Bắc bộ và các vùng kề cận // Tạp chí Địa chất, loạt A, Số 320 (9—10), Hà Nội, trang 253—262.
- [3] Cao Đình Triều, Ngô Thị Lư, Mai Xuân Bách, Nguyễn Hữu Tuyên, Phạm Nam Hưng, Thái Anh Tuấn, 2007. Dự báo cực đại động đất phần đất liền lãnh thổ Việt Nam trên cơ sở phân loại

- dạng vỏ Trái đất // Tuyển tập báo cáo Hội nghị KHKT ĐVL Việt nam lần thứ 5, Tp. Hồ Chí Minh, trang 159—171.
- [4] *Cao Đình Triều, Nguyễn Đình Xuyên, Nguyễn Hồng Phương, Nguyễn Thanh Tùng*, 2006. Tai biến động đất các tỉnh Tây Bắc Việt Nam // Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 216 trang.
- [5] *Cao Đình Triều, Nguyễn Thanh Xuân*, 1999. Đánh giá nguy hiểm động đất vùng Tây Bắc (Việt Nam) trên cơ sở tư liệu viễn thám và kỹ thuật hệ thống tin địa lý GIS // Tuyển tập các báo cáo khoa học tại Hội thảo quản lý môi trường Việt Nam, 1999, Hà nội, 192—204.
- [6] *Cao Đình Triều (chủ biên) và nnk.*, 2006. Thiết lập những tiếp cận thích hợp để nghiên cứu dự báo động đất lãnh thổ Việt Nam. Báo cáo tổng kết nhiệm vụ HTQT về KH&CN theo nghị định thư Việt Nam — Italy (2004—2006) // lưu trữ Viện VLĐC, 169 trang.
- [7] *Nguyễn Ngọc Thủy (chủ biên) và nnk.*, 2005. Phân vùng dự báo chi tiết động đất ở vùng Tây Bắc (giai đoạn 2001—2005) // Báo cáo tổng kết Đề tài Khoa học và công nghệ cấp Nhà Nước, MS: KC.08.10.
- [8] *Ashif Panakkat and Hojjat Adeli*, 2007. Neural Network Model for Earthquake Magnitude Prediction using multiple seismicity indicator // International Journal System. Vol. 17, No. 1 (2007), pp 13—33.
- [9] *Cao Dinh Trieu*, 2010. Seismic Hazards in Vietnam / Science and Technics Publishing House, Hanoi, pp 182.
- [10] *Dieter H. Weichert*, 1980. Estimation of earthquake recurrence parameters for unequal observation period for different magnitude // Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 70, No. 4, pp 1337—1346, August 1980.
- [11] *Hagan M.T., Demuth H.B. and Beale M.* 1996. Neural Network Design // PWS Publishing Company, Boston, MA, 1996.
- [12] *Hojjat Adeli, Ashif Panakkat*, 2009. A probabilistic neural network for earthquake magnitude prediction // Neural Network 22 (2009), pp 1018—1024.
- [13] *Wang Ying, Chen Yi, Zhang Jinkui*, 2009. The Application of RBF Neural Network in Earthquake Prediction // 2009 Third International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, pp 465—468.

## **THE APPLICATION OF NEURAL NETWORK FOR EARTHQUAKE MAGNITUDE PREDICTION IN TAYBAC VIET NAM**

**K.A. Pupkov, Cao Dinh Trong**

Department of Cybernetics and Mechatronics  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Ordzhonikidze, 3, Moscow, Russia, 115419*

**Cao Dinh Trieu, Pham Nam Hung**

Institute of Geophysics  
*Hoang Quoc Viet str., Hanoi, Viet Nam*

In this paper the authors presented some primary results of the application of Neural Network for Earthquake Magnitude Prediction in Tay Bac Viet Nam.

**Key words:** Earthquake Prediction, Magnitude, Neural Networks.