

И. Попова¹, А. Рожной¹, М. Соловьева¹, Б. Левин²

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ К СЕЙСМИЧЕСКИМ СОБЫТИЯМ ПО ДАННЫМ ОНЧ/НЧ МОНИТОРИНГА В КУРИЛО-КАМЧАТСКОМ РЕГИОНЕ*

Аннотация. На примере ряда временных участков в 2004-2007 гг. с использованием комплексной базы ОНЧ/НЧ данных, измеряемых в режиме мониторинга в Курило-Камчатском регионе, показана эффективность нейросетевого подхода для краткосрочного прогноза землетрясений, начиная с магнитуды $M \geq 5.5$. Проведено исследование "ложных тревог" в ситуациях, когда алгоритм обнаруживает изменение в сигнале при отсутствии сейсмического события заданных параметров.

Ключевые слова: электромагнитный мониторинг, нейронные сети.

Об авторах:

¹ – Институт Физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

² – Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

В данной работе развивается методика оценки чувствительности ОНЧ/НЧ сигнала к сейсмическим процессам с использованием комплексной базы данных, содержащей как амплитуды и фазы ОНЧ/НЧ сигнала, измеряемые в режиме мониторинга в Курило-Камчатском регионе, так и соответствующие параметры сейсмичности региона.

Для оценки чувствительности ОНЧ/НЧ сигнала к сейсмическим процессам нами применяется метод обратного распространения ошибки [1] на основе многоуровневого персептрона. Сначала нейронная сеть обучается с помощью подготовленных "учителем" примеров. После того, как определены примеры для обучения, нейронная сеть учится ставить в соответствие известным входным данным - известные выходные данные. Процедура обучения основана на минимизации ошибки методом наискорейшего спуска между заданными "учителем" значениями выходов и теми, которые вырабатывает нейронная сеть в процессе минимизации ошибки. Затем уже обученная сеть применяется для распознавания данных, а в нашем случае для прогноза. При этом используются интерполяционные и экстраполяционные свойства нейросети.

В данном исследовании в процессе обучения нейронной сети (НС) устанавливаются внутренние взаимосвязи между характерными признаками изменения ОНЧ/НЧ сигнала за несколько дней до сейсмического события и соответствующим ему уровнем сейсмичности. Обученная нейронная сеть затем применяется в режиме прогноза для автоматического обнаружения аномального изменения сигнала, связанного с сейсмической активностью выше определенного порога.

После ряда экспериментов с различными обучающими выборками [2] из полной базы данных мониторинга, была найдена выборка, которая обнаружила корреляции между характерными признаками изменения ОНЧ/НЧ сигнала за несколько дней до сейсмического события и соответствующим ему уровнем сейсмичности. Такая обучающая выборка была сформирована из данных по амплитуде и фазе за ночной период времени, измеренных в режиме мониторинга за 2005-2007 год, от японского JJY передатчика, поскольку эпицентры почти всех сильных коровых землетрясений в

* Исследование осуществлено в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) 11-05-00155-а

Дальневосточном регионе попадают в зону чувствительности радиотрассы JJY - Петропавловск-Камчатский.

В результате полная обучающая выборка включала в себя признаки, вычисленные по амплитудам и фазам сигналов, измеренным за 5 дней перед 40 сейсмическими событиями магнитуды $M \geq 5.5$, которые происходили на глубине не более 150 километров. Кроме того для таких сейсмических событий отношение радиуса зоны проявления предвестников к расстоянию от эпицентра землетрясений до оси трассы "приемник-передатчик" имело значения не менее 0.7. Другие сорок примеров формировались по амплитудам и фазам сигналов, измеренным также за 5 дней. Однако в течение этих пяти дней, а также в течение трех дней за ними не должно было наблюдаться крупных сейсмических событий. В качестве входных признаков выбирались средние и дисперсии, вычисленные по амплитудам и фазам сигналов за ночной период времени.

Для того чтобы выделить предвестниковые эффекты, не связанные с глобальными возмущениями в нижней ионосфере, вызванными магнитными бурями и суббурями и высыпаниями релятивистских электронов, был проделан дополнительный анализ. Из обучающей выборки были исключены сейсмические события, происходившие в дни, когда индекс активности магнитного поля Dst и высыпания релятивистских электронов превышали заданные пороги.

Для проверки методики прогноза были выбраны двенадцать временных интервалов в несколько (6-8) дней, включающих день возникновения сейсмических событий магнитуды $M \geq 5.5$, которые были зафиксированы в 2004, 2005, 2006, 2007 годах с использованием данных, полученных для трассы JJY-Петропавловск-Камчатский. При этом не один из прогнозируемых временных участков не использовался при обучении нейронной сети. Кроме того, эти интервалы не включали дни, когда индекс активности магнитного поля Dst и высыпания релятивистских электронов превышали заданные пороги.

В шести случаях из двенадцати случаев нейронная сеть обнаруживает изменения в сигнале, указывающие на землетрясение, за несколько дней до землетрясения подряд, включая и сам день крупного сейсмического события. Кроме того, на трех временных участках нейронная сеть обнаруживает изменения в сигнале, указывающие на землетрясение, на третий и четвертый день до землетрясения, включая сам день землетрясения. Однако на первый и второй день перед землетрясением изменения в сигнале не обнаруживаются. Таким, образом, для девяти из двенадцати рассматриваемых временных участков нейронная сеть обнаруживает изменения в сигнале, связанные с землетрясением. На трех временных участках не было обнаружено корреляций между сейсмическим событием магнитуды $M \geq 5.5$ и изменениями в сигнале.

Кроме того было проведено исследование "ложных тревог" в ситуациях, когда алгоритм обнаруживает изменение в сигнале при отсутствии сейсмического события заданных параметров. Для этого исследования были выбраны временные участки, которые не включали сейсмические события магнитуды $M \geq 5.5$. Эти интервалы не включали также дни, когда индекс активности магнитного поля Dst и высыпания релятивистских электронов превышали заданные пороги. Всего было протестировано сорок два дня в марте, мае и июле 2006 года. В шести случаях из сорока двух были обнаружены "ложные тревоги". При этом такие события были единичными в том смысле, что за несколько дней до и несколько дней после не было других "событий". Такой локальный выброс отличается от обнаружения сейсмических событий, для которых характерно возмущение сигнала в течение нескольких дней до землетрясения, а также в сам день землетрясения.

Результаты проведенных исследований дают возможность сделать вывод об эффективности использования нейросетевого подхода для краткосрочного прогноза землетрясений, начиная с магнитуды $M \geq 5,5$, по изменениям в амплитудах и фазах НЧ сигналов за ночной период времени.

Библиографический список

1. Rumelhart D. and McClelland J. Parallel Distributed Processing: Explorations in the microstructure of cognition // MIT Press, 1986
2. Popova I., Rozhnoi A., Solovieva M., Levin B., Hayakawa M., Yasuhide Hobara Y., Biagi P., Konrad Schwingenschuh K., Neural network approach to the prediction of seismic events based on low-frequency signal monitoring of the Kuril-Kamchatka and Japanese regions // Annals of Geophysics, 56, 3, 2013, P. 1-7

I. Popova, A. Rozhnoi, M. Solovieva, B. Levin

A SENSITIVITY ANALYSIS OF LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC SIGNALS TO SEISMIC EVENTS ACCORDING TO THE VLF/LF MONITORING IN THE KURIL-KAMCHATKA REGION

Abstract. *The efficiency of the neural network approach for short-term prediction of the earthquakes of $M \geq 5.5$ is shown on the set of time intervals from 2004 to 2007, using database of the VLF/LF data measured in the monitoring mode in the Kuril-Kamchatka region. We also studied a "false alarms" in situations when the algorithm detects the changes in the signal in the absence of a seismic event.*

Keywords: *electromagnetic monitoring, neural network.*