

**РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПОВЕДЕНИЯ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ НА
РАЗЛИЧНЫХ СТАДИЯХ ПОДГОТОВКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ
СОБЫТИЙ**

**DEVELOPMENT OF NEURONET METHODS OF STUDY OF
GEOACOUSTIC EMISSION BEHAVIOR AT DIFFERENT STAGES
OF PREPARATION OF SEISMIC EVENTS**

М.А.Мищенко, Ю.В.Марапулец, А.В.Шадрин

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

Since 1999 the Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation (IKIR) FEB RAS have been conducted the investigations of geoacoustic emission in small ponds in the frequency range 0.1 Hz...10 KHz by hydroacoustic sensors, oriented to the North, South and East. The study showed that 34 earthquakes out of 74 events with $M > 4$, occurred at epicentral distance up to 250 km, were preceded by anomalous increase of geoacoustic noise level in daily interval. A multi-level neuronet automated system was developed for automation of the process of distinguishing the anomalies and their further detailed analysis. The basis for the system is neural network model which is called Kohonen map. In the course of investigation 11 map models of different dimensions were tested. In the result it was determined that Kohonen map signal with architecture [4 15] and [30 35] was reliably recognized.

Среди особенностей высокочастотной геоакустической эмиссии в период подготовки сильных землетрясений на Камчатке отмечается рост интенсивности излучения в суточном временном интервале до сейсмического события [1]. С учетом сильного затухания высокочастотных акустических колебаний, возникающих в гипоцентре, и невозможности регистрации их на больших расстояниях, природу предвестников удастся объяснить распространением деформаций из очага землетрясения в виде кратковременных толчков перед его началом. В связи с высокой чувствительностью геоакустической эмиссии к состоянию горных пород [4], ее отклики заметны даже при небольших изменениях уровня деформаций, что лучше всего проявляется в килогерцовом диапазоне, где уровень помех относительно ниже [1].

За период с 1999 года по настоящее время Камчатке было зарегистрировано около сотни акустических откликов (аномалий) на большинство сейсмических событий с энергетическим классом $K_s > 11$, расположенных, как правило, в радиусе до 250 км. Эффективность отклика зависела не только от энергии землетрясения, его удаления и глубины, но и от угла места по отношению к направлению на зону субдукции.

Первоначально для регистрации геоакустической эмиссии использовалась аналого-цифровая система, в которой сигналы расфильтровывались в 7 частотных поддиапазонах аналоговыми фильтрами, а далее осуществлялась оцифровка и регистрация в ПЭВМ [3]. В 2006 году был создан полностью цифровой аппаратно-программный комплекс, который позволил исключить ошибки, обусловленные аналоговым оборудованием.

Для более детального исследования поведения геоакустической эмиссии перед сейсмическими событиями была реализована многоуровневая нейросетевая автоматизированная система, позволяющая эффективно анализировать сигналы на выходе аналогово-цифрового оборудования [2]. Структурная схема системы, состоящая из 4 уровней, представлена на рис.1.

Первый уровень состоит из моделей карт Кохонена, реализованных для анализа 5 частотных поддиапазонов (3 высокочастотных с архитектурой карт [2 4 4] и 2 низкочастотных шумовых с архитектурой [1 3 5]). Реализация второго уровня связана с необходимостью перехода от множества классов к 2 (наличие или отсутствие аномалий). Для решения этой задачи использована радиально-базисная модель

нейронной сети. На вход этой сети подаются выходные классы первого уровня, а с выхода снимаются значения 1 или 2, где 2 соответствуют классам возмущений, а 1 – тишины. Третий уровень системы анализирует сочетание классов возмущений и тишины 2-го уровня со всех пяти частотных поддиапазонов и выдает один из четырех вариантов ответа: 1 – неопределенность, 2 – тишина, 3 – мешающее шумовое воздействие, 4 – предвестниковая аномалия.

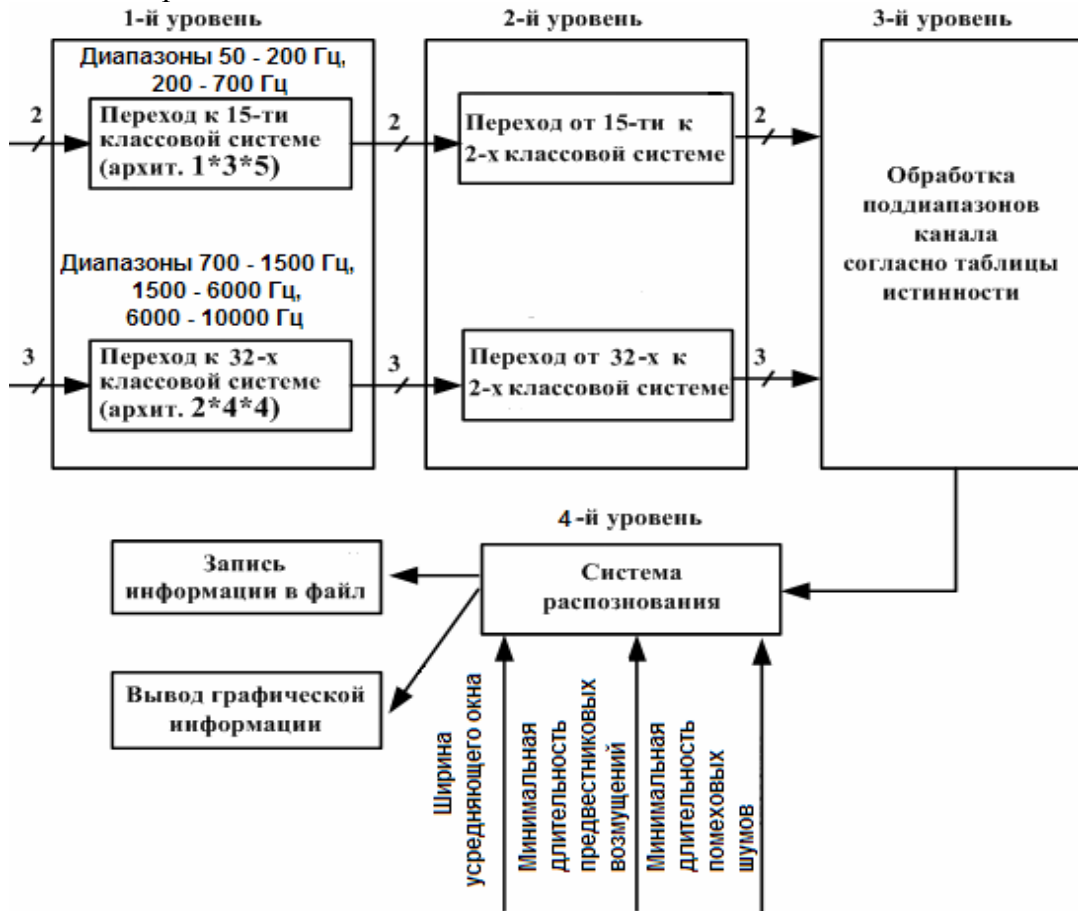


Рис.1. Структурная схема нейросетевой системы.

Далее на четвертом уровне сигналы подвергаются процедуре усреднения окном переменной ширины, задаваемой в интерфейсе программы, и в зависимости от установленных временных порогов срабатывания для мешающих шумовых воздействий и предвестниковых аномалий, принимается итоговое решение о классе явления в канале. Все полученные сведения записываются в файл отчета и выводятся в виде графиков на экран.

При переходе на цифровой аппаратно-программный комплекс регистрации геоакустической эмиссии возникли определенные трудности в адаптации нейронной сети. Анализ сигналов с цифровой и аналоговой систем показал, что хотя их формы и имели общие характерные черты, решения, которые принимала нейронная сеть, принципиально различались. Возникла необходимость в проведении дополнительных исследований реакции нейронных сетей различной архитектуры на сигналы предвестниковых аномалий. Учитывая опыт выбора модели нейронной сети первого уровня [2], было принято решение оставить карты Кохонена. При исследовании сигнала длина элементарного события была увеличена с 6 до 20 отсчетов. Для анализа использовались следующие архитектуры карт Кохонена: [2 4 4], [4 15], [20 5 3], [10 8 3], [5 9 3], [4 5 3], [30 35], [25 30], [30 12 4], [30 12 3], [2 4 4 2], [2 4 10]. В качестве обучающей выборки использовались сигналы предвестниковых аномалий, мешающих воздействий (ветер и дождь) и фоновые шумы.

Применение различных моделей нейросетей на геоакустических данных за период 2006 года показало, что для анализа сигналов наиболее эффективны архитектуры карт Кохонена размерностью [4 15] и [30 35]. При этом сеть [4 15] позволяет достаточно быстро анализировать сигналы в режиме реального времени непосредственно при регистрации, а сеть [30 35], различающая шумы спокойного периода и практически соизмеримые с ними по амплитуде сигналы предвестниковых аномалий, дает возможность дополнительного более детального изучения сигнала в лаборатории. Оказалось, что модель нейронной сети [2 4 4], которая использовалась в аналого-цифровой системе, показала далеко не лучший результат.

Пример использования различных сетей представлен на рис.2 и рис.3. На рис.2 приведен сигнал с предвестниковой аномалией, зарегистрированной 23.08.2006 года в наиболее информативном частотном поддиапазоне 1500 – 6000 Гц [4], а на рис.3 реакция карт Кохонена различной архитектуры на этот сигнал. На рисунке: А - сеть архитектуры [30 12 3], Б - [30 12 4], В - [2 4 4], Г - [30 35], Д - [4 15], Е - [4 5 3], Ж - [25 30], З - [10 8 3], И - [20 5 3], К - [2 4 10], Л - [2 4 4 2] и М - [5 9 3].

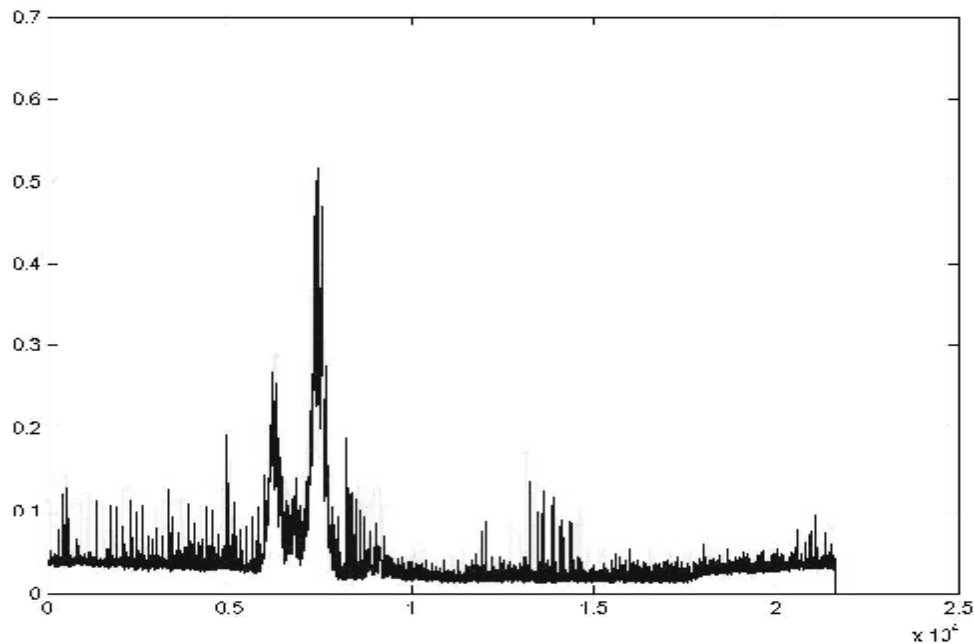


Рис.2. Аномальный сигнал геоакустической эмиссии 23.08.2006 года.

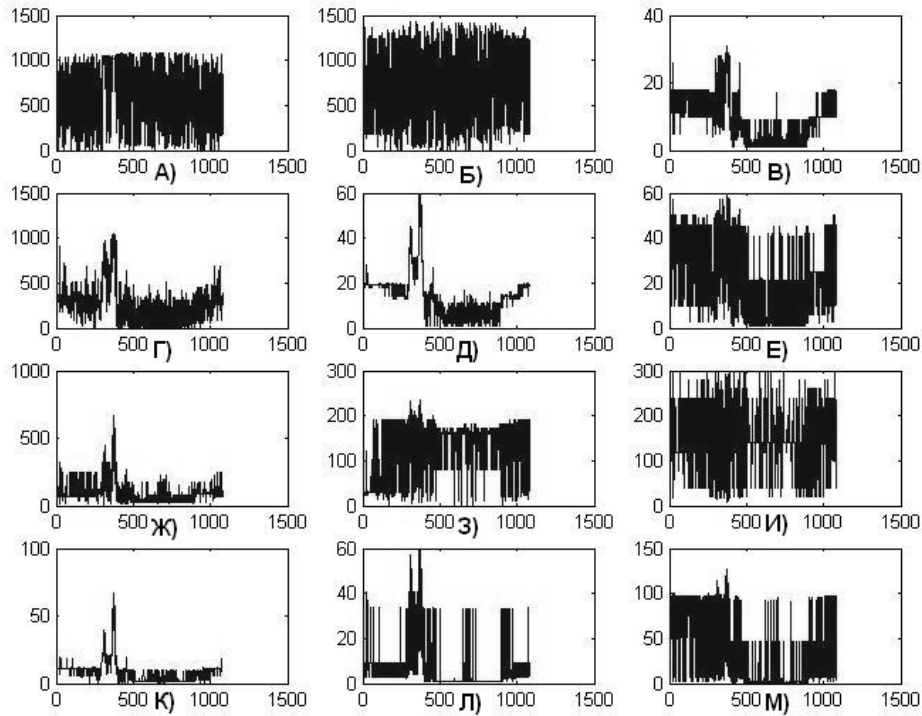


Рис.3. Реакция нейронных сетей различной архитектуры

В результате проведенного исследования для первого уровня автоматизированной нейросетевой системы была выбрана архитектура нейронной сети [4 15] позволяющая классифицировать входной сигнал на 60 уровней. Данная модель использована как для высокочастотных, так и для низкочастотных поддиапазонов. Для более детального анализа высокочастотных поддиапазонов в лабораторных условиях дополнительно выбрана архитектура сети [30 35], позволяющая классифицировать сигнал на 1050 уровней. Работа системы первого уровня для 3 высокочастотных поддиапазонов (700–1500 Гц, 1500–6000 Гц, 6000–10000 Гц) на примере акустической аномалии 23 августа 2006 года показана на рис.4. На рисунке: А - геоакустический сигнал на входе, Б - реакция нейронной сети [4 15], В - [30 35].

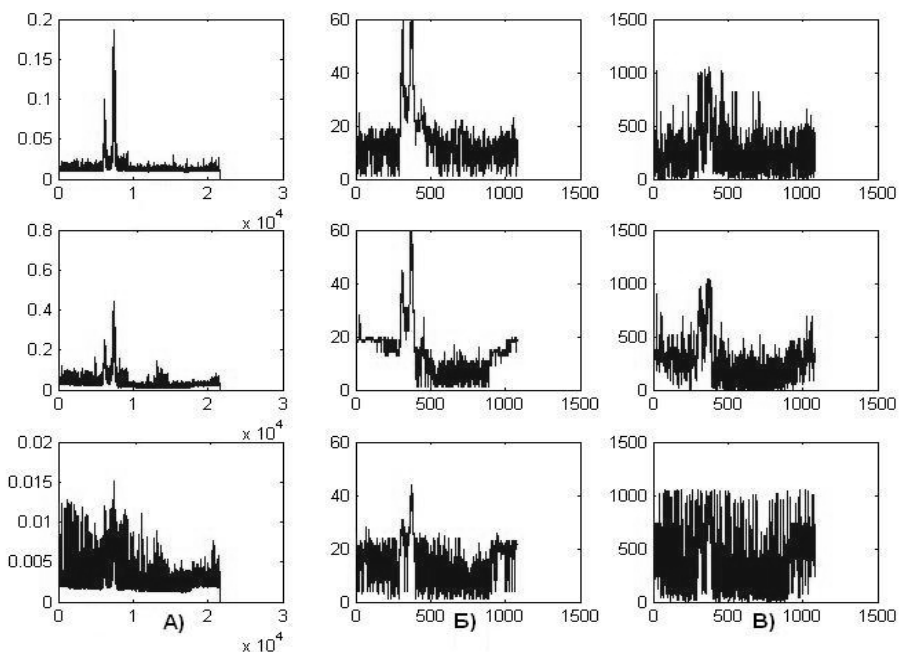


Рис.4. Пример выработки решения системой

На данном этапе исследования конструкция второго, третьего и четвертого уровня автоматизированной системы пересматривается и находится в стадии разработки. Очевидно, что эти уровни должны усложниться, и анализировать не просто информацию о наличии или отсутствии предвестника, но и о его характере, а также предоставлять возможности по распознаванию различных аномальных сигналов.

Список литературы

1. Купцов А.В., Ларионов И.А., Шевцов Б.М. Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2005. № 4. С. 45-59.
2. Купцов А.В., Ларионов И.А., Марапулец Ю.В., Щербина А.О. Геоакустическая система мониторинга и прогнозирования сейсмической активности на полуострове Камчатка // Сборник трудов VIII Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SKM'2005). – СПб. : 2005. Т. 2. С. 159-161.
3. Купцов А.В., Ларионов И.А., Марапулец Ю.В., Мищенко М.А., Шадрин А.В., Щербина А.О. Применение нейронных сетей для оценки возмущений геоакустической эмиссии на заключительной стадии подготовки землетрясений на Камчатке // Сборник трудов IX Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SKM'2006). – СПб. : 2006. Т. 1. С. 238-240.
4. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. – М. : Наука. 2003. – 270 с.