

- Геофизика XXI столетия: 2005 год. Сб. трудов Седьмых геофизических чтений им. В.В. Федынского. М.: Научный Мир, 2006, с.317-325.
2. Сычев В.Н., Богомолов Л.М., Сычева Н.А. и др. От исследований откликов акустической эмиссии на образцах к сейсмическим проявлениям электротриггерных эффектов // Солнечно-земные связи и предвестники землетрясений. Отв. ред. Шевцов Б.М. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН. 2007. С.75-83.
3. Авагимов А. А., Богомолов Л. М., Зейгарник В. А., Сычев В. Н., Сычева Н.А. О триггерном влиянии электромагнитных импульсов на слабую сейсмичность в связи с проблемой разрядки избыточных тектонических напряжений // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Новосибирск: Изд. ИГД СО РАН. 2008. С. 134-141.
4. Chelidze T., De Rubeis V., Matcharagvili T., Tosi P. Influence of strong electromagnetic discharges on the dynamics of earthquake time distribution in the Bishkek test area (Central Asia) // Annals of Geophysics. 2006. V.49. N. 4/5. P. 961-975.
5. Eckmann J.P., Kamphorst S.O., Ruelle D. Recurrence Plots of Dynamical Systems.// Europhysics Letters. 1987. V.5. P. 973-977.

**СИМВОЛЬНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ В ЗАДАЧАХ ВЫДЕЛЕНИЯ И АНАЛИЗА
ПРЕДВЕСТНИКОВЫХ АНОМАЛИЙ ДАННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
USING SYMBOL APPROXIMATION IN THE PROBLEM OF PRECURSOR ANOMALIES
LOCATION AND ANALYSIS OF GEOCHEMICAL MONITORING DATA**

А.Б.Тристанов, П.П.Фирстов

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, alextristanov@mail.ru

In this paper the approach to segmentation slowly change telemetric signals based on a method of symbol approximation is considered. The approaches stated in the report were applied to data of geochemical monitoring of Kamchatka processing.

Современные тенденции развития экспериментальной геофизической науки требует от исследователей применения эффективных методов обработки экспериментального материала. К настоящему времени наметились тенденции возрастания скорости накопления материалов по сравнению со скоростью их обработки. Тем самым возможности ручной обработки наблюдаемых временных рядов резко снижается и может использоваться исключительно на начальных этапах постановки наблюдений.

Формально цель применения математических методов для обработки данных геохимического мониторинга заключается в поиске предвестников сильных землетрясений Южной Камчатки. В ходе достижения данной цели решаются следующие задачи:

- Создание сети станций геохимического мониторинга;
- Разработка надежных методов регистрации и предобработки данных;
- Разработка формальных методов выделения предвестников;
- Разработка эффективной автоматической системы формирования прогноза.

В районе Петропавловск - Камчатского геодинамического полигона в 1997 - 2001 гг. была создана сеть пунктов мониторинга подпочвенного радона, расположение которых показано на рис.1. Опорный пункт сети находится в районе Паратунской геотермальной системы (ПРТ) в долине ручья Коркино, а остальные станции сети располагаются в различных геоструктурных элементах полигона. В пункте ПРТ кроме R_n ведется регистрация молекулярного водорода и метеорологических величин. Частота регистрации 2 цикл/сут.

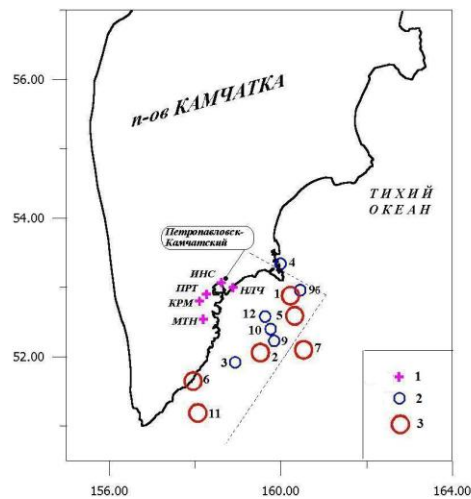


Рис.1

К настоящему времени накоплено достаточное количество экспериментального материала (более 10 лет непрерывных наблюдений) и разработаны методы обработки данных. Условно методы можно разделить на два класса – экспертные и автоматические, последние в настоящее время разрабатываются в рамках интеллектуального подхода.

Принято считать, что подготовка землетрясений Авачинского залива с $M > 6,5$ находит отражение в динамике подпочвенного радона в точках наблюдения и по данным мониторинга с большой долей вероятности могут быть своевременно обнаружены предвестники готовящегося землетрясения [1,2]. В ходе исследований отмечается, что увеличение значений объемной активности радона (либо производных характеристик, таких как плотность потока) является наиболее чувствительным признаком к изменению напряженно-деформированного состояния геосреды. Данный факт позволяет в семантических (смысловых) терминах охарактеризовать достаточно нечеткое понятие предвестника – сигнал возрастает, убывает, остается неизменным и т.д. Относительная величина предвестников зависит от многих факторов и варьируется от землетрясения к землетрясению. Тем не менее, непрерывный мониторинг требует создания системы, позволяющей в автоматическом режиме предоставить исследователю все аномалии – потенциальные предвестники, для дальнейшего их экспертного контроля и принятия решения.

Одной из перспективных технологий представления временных рядов является использование символьного представления сигнала (SAX – Symbol Aggregate ApproXimation) [3,4], как наиболее полно отвечающей задаче обнаружения типовых форм поведения и аномалий во временной области. Данная форма поведения поддается более легкой интерпретации чем, скажем, ДПФ или дискретное вейвлет-преобразование.

Символьная аппроксимация предполагает замену исходного сигнала последовательностью символов, каждый из которых соответствует однозначноопределяемому локальному поведению сигнала. Причем данное поведение можно задаваться различным образом и соответствовать различным локальным моделям. Самый простой и в тоже время достаточно оправданным является набор символов соответствующий временным формам сигнала (возрастание, убывание, постоянное значение). Дальнейший анализ направлен на поиск среди символьной последовательности типовых форм поведения (шаблонов).

Основные преимущества данного метода:

- Сокращение размерности, что влечет снижение вычислительной сложности;
- SAX-представление позволяет количественные признаки временного ряда в качественные – формы поведения (возрастание, убывание, пики и пр.)

Идея построения SAX-аппроксимации заключается в следующем. Временной ряд $x(i)$ разобьем на сегменты длительностью N , причем N ратно m , где m – размерность пространства признаков, в которое проецируется данный сегмент.

Отображение F_{SAX} построим следующим образом

$$F_{SAX} : Seg_k \rightarrow \{p_1^k, p_2^k, \dots, p_m^k\} \rightarrow p_i^k = \frac{N}{m} \sum_{j=\frac{N}{m}(i-1)+1}^{\frac{N}{m}} Seg_k(j)$$

Пусть $V = \{a_1, \dots, a_K\}$ - алфавит - произвольное непустое конечное множество мощностью K , a_i - элемент алфавита V или символ алфавита V .

Произвольный кортеж k -арного декартового произведения V^k называют словом в алфавите V .

В нашем случае будем рассматривать слова длиной $\frac{N}{m}$.

Значению каждого признака сегмента p_i^k поставим в соответствие символ из алфавита V по следующему правилу.

$$w_i = a_j, \text{ если } \beta_{j-1} \leq p_i < \beta_j$$

где β_j - элемент множества уровней квантования, выбираемых так, чтобы попадание нормально распределенной случайной величины между двумя уровнями было равновероятным.

Имея алфавит в k символов можно построить k^N слов длиной N . Каждое слово в SAX соответствует определенному локальному поведению сигнала.

В работе [4] отмечается связь метрик в признаковом пространстве, образованном тривиальным отображением F и F_{SAX} .

Так, евклидово расстояние между сегментами равно

$$D(\text{Seg}_1, \text{Seg}_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (\text{Seg}_1(i) - \text{Seg}_2(i))^2}.$$

Евклидово расстояние между двумя сегментами, представленными признаками равно

$$D(P\text{Seg}_1, P\text{Seg}_2) = \sqrt{\frac{N}{m}} \sqrt{\sum_{i=1}^{N/m} (P\text{Seg}_1(i) - P\text{Seg}_2(i))^2}.$$

Расстояние между двумя словами будет давать нижнюю границу оценки расстояния между сегментами:

$$D(W_1, W_2) = \sqrt{\frac{N}{m}} \sqrt{\sum_{i=1}^{N/m} (\beta(w_i^1) - \beta(w_i^2))^2},$$

где $\beta(w_i^j)$ - уровень квантования для i -го символа.

$$D(W_1, W_2) < D(\text{Seg}_1, \text{Seg}_2).$$

Классификатор K будет построен следующим образом. Поскольку множество слов длины $\frac{N}{m}$ конечно, то каждому из них может быть поставлен в однозначное соответствие номер, который, в свою очередь, будет ассоциироваться с классом из $\mathcal{K}_i$.

SAX как автоматический классификатор имеет решающие гиперплоскости в пространстве признаков:

$$\sum_{i=1}^m \alpha_{ij} p_i - \beta_k = 0,$$

$$\text{где } \alpha = \alpha_{ij} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

F_{SAX} может строиться другими способами, в частности, аппроксимируя сегменты полиномами более высокого порядка, и p_i^k может быть векторной величиной, но зачастую это приводит к избыточному повышению размерности признакового пространства, что для решаемой в настоящей работе задаче нецелесообразно.

В работах [5] было выделено 4 морфологических типа гидрогеохимических предвестниковых аномалий (рис.2):

1. бухтообразные;
2. ступенчатые;
3. импульсные;
4. скачкообразные.

Автоматический поиск даже типизированных аномалий методом сравнения с эталоном представляет собой сложный процесс. Сложность связана с большой масштабной вариативностью аномалий.

В связи с этим целесообразным видится применение метода символьной аппроксимации.

SAX позволяет предварительно описать в семантических терминах аномалию и далее осуществлять поиск исхода из приведенного описания.

Каждая из аномалий может быть сведена к набору примитивов, описываемых поведением линейной аппроксимации фрагмента, например для бухтообразной аномалии сигнал сначала ведет себя стабильно, затем плавно снижается, далее резко возрастает (рис.3).

Предлагаемый алгоритм имеет 3 настроечных параметра, от выбора которых зависит качество выделяемых форм поведения. Общее количество форм поведения зависит от объема алфавита и длины слова. Большие значения этих параметров приводит к избытку форм поведения и как правило для их классификации требуются дополнительные инструменты. Третий параметр – это временная протяженность слова. От этого параметра зависит точность локализации аномалий. В настоящее время все параметры выделяются экспертным путем.

Ниже на рис.4 приведен пример обнаружения участков резкого возрастания сигнала. Прямоугольниками выделены идентичные с точки зрения алгоритма SAX участки поведения сигнала. На рис. 5 показаны те же участки сигнала, нормированные и наложенные друг на друга.

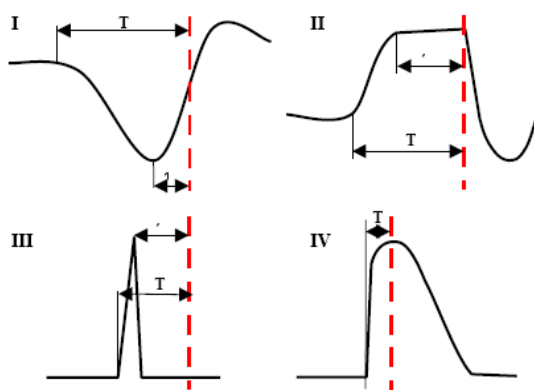


Рис. 2

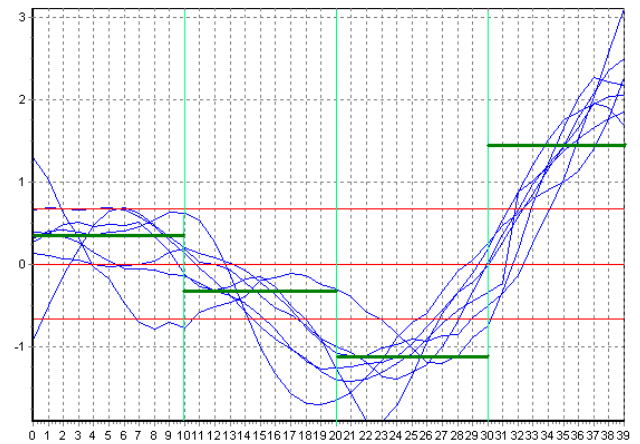


Рис. 3

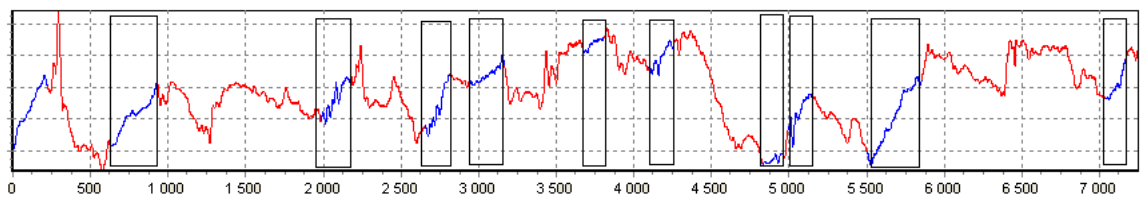


Рис. 4

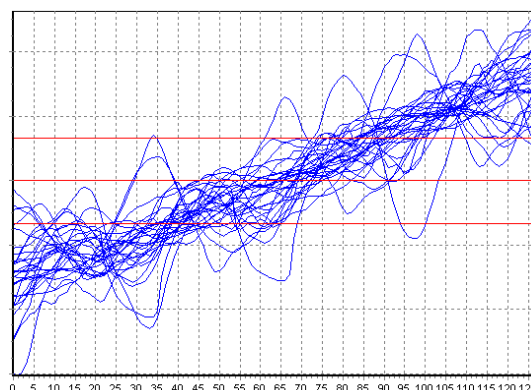


Рис.5

Разработанные в рамках настоящей работы программный комплекс позволяет обнаруживать различные семантические формы поведения временного ряда, а также проводить анализ соответствия выделенных аномалий с событиями, происходящими в период наблюдения.

Литература

1. Зубков, С.И. Радоновые предвестники землетрясений // Вулканология и сейсмология. -1981.-№6.-С.74-105
2. Фирстов П.П., Рудаков В.П. Результаты регистрации подпочвенного радона в 1997-2000 г.г. на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне // Вулканология и сейсмология, 2002, №6, с.1-16
3. Lin J, et al., A Symbolic Representation of Time Series, with Implications for Streaming Algorithms, in Workshop on Research Issues in Data Mining and Knowledge Discovery. 2003: San Diego, CA.
4. E. Keogh, J. Lin and A. Fu HOT SAX: Efficiently Finding the Most Unusual Time Series Subsequence. In Proc. of the 5th IEEE International Conference on Data Mining (ICDM 2005), pp. 226 - 233., Houston, Texas, Nov 27-30, 2005.
5. Рябинин Г.В., Хаткевич Ю.М. Гидрогеохимические эффекты, предшествующие сильным землетрясениям Камчатки. Алгоритм идентификации и морфологический анализ// Вестник КРАУНЦ. Науки о земле, 2009, №1, С.109-122

МОДЕЛИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ – ПРЕДВЕСТНИКОВ ВСЛЕДСТВИЕ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ MODELS GEOPHYSICAL ANOMALIES IN RESULT SEISMOTECTONIC PROCESSES

С.В. Трофименко, Н.Н. Гриб, В.М. Никитин

Технический институт (филиал) Якутского госуниверситета, г. Нерюнгри, urovsky@yandex.ru

Discussed systems of earthquake prediction. See that the interpretation of the manifestations of signs of forming an earthquake in the physical fields is made without taking into account the block structure of the lithosphere, the wave and vortex properties of the geosphere. As part of these models developed the concept of prediction should be viewed as a general problem of monitoring the changing state of stress of the lithosphere in the global energy self Geospheres by initiating influence of cosmic factors forming physical fields.

Со времени первых работ Ф. Рейда [1, 2] было разработано множество моделей по физике и динамике очага землетрясения и сейсмического процесса в целом. Совершенствование подходов к моделированию сейсмичности, основанных на теории взаимодействия всех геосфер Земли [3], модели блокового строения геофизической среды [4], волновой природы сейсмического процесса [5 - 8], порождает новую проблему, связанную с возможностью формирования геофизических полей вследствие глобальных геодинамических процессов. Пространственное распределение геофизических полей и их динамические (временные) аномалии в виде геофизических предвестников землетрясений в процессе формирования и разрушения консолидационной зоны на разных временных масштабах не могут быть обусловлены только локальными причинами. Традиционные представления о возможности локального выделения аномалии предвестника от формирующегося очага землетрясения должны трансформироваться в неопределенность пространственного положения, соразмерного области консолидации, длины волны медленных гравитационных волн и взаимодействием геофизических сред в переходных зонах. Отсюда, по-видимому, следуют многочисленные ошибочные прогнозы в определении места землетрясения.

В настоящее время для прогноза времени землетрясения используются геофизические методы контроля состояния литосферы и атмосферы. Наиболее разработанными методами являются особенности медленных движений земной коры, распределение слабых землетрясений, миграция слабых очагов и ориентация их механизмов, сейсмическое затишье; усиление сейсмической активности перед землетрясением, изменения характера микросейсм, акустические предвестники, изменение скоростей сейсмических волн на разных глубинах; изменения электрических, гравитационных, магнитных и электромагнитных полей, изменение уровня подземных вод – всего около 1000 предвестников землетрясений.

Формирование геофизических полей в результате деформационных процессов возможно при сохранении структуры поля деформаций в течение длительных интервалов времени. Не привлекая геологические и тектонические причины деформаций можно предположить возможность структурирования аномалий геофизических полей в результате самоорганизации в разработанных моделях блоковой геологической [4] и геофизической [9] сред. В данной концепции глобальная общепланетарная самоорганизация нашла свое отражение в теории ротационного структурообразования разломной тектоники [3] и как следствие, в возможности формирования геофизических полей в следствие медленных тектонических процессов.