

Адаптация анализатора собственных векторов и компонент сигнала для данных мониторинга почвенного радона на сети станций Петропавловск - Камчатского геодинамического полигона с целью выявления предвестниковых аномалий сильных землетрясений

ИСАКЕВИЧ В.В.^{1,2}, ИСАКЕВИЧ Д.В.², ГРУНСКАЯ Л.В.¹, ФИРСТОВ П.П.^{3,4}, МАКАРОВ Е.О.³

¹Владимирский государственный университет, Россия

²ООО "БизнесСофтСервис Россия

³Камчатский филиал геофизической службы РАН, Россия

⁴Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Россия

ddb@setget.ru, grunsk@vlsu.ru, firstov@emsd.ru

Как показано в ряде работ обзорного и экспериментального характера [1, 2], в теоретическом и экспериментальном плане проблема обнаружения предвестников землетрясений в различных геофизических полях Земли далека от разрешения, поэтому применение новых эффективных методик обнаружения краткосрочных предвестников сильных землетрясений является задачей первостепенной важности.

В основе использованного метода дискриминантных функционалов (коллекторов) для выявления аномалий во временных рядах лежит подход, описанный в [3, 4]. Дискриминантные коллекторы (ДК) используют при своей работе скользящие по осям времен многомерного временного ряда два кадра жестко связанных друг с другом. Для каждого временного положения кадров формируются матрицы наблюдений (для каждого кадра — своя матрица) и строится дискриминантная функция [5, 6], позволяющая наилучшим образом отличать друг от друга временные сечения многомерного временного ряда, записанные в матрицы. Качество их различения характеризуется некоторым критерием, величина которого тем больше, чем лучше происходит различение матриц. Значение ДК для каждого момента времени есть значение критерия дискриминации соответствующих данному моменту времени матриц левого и правого кадра дискриминатора, которое относится к точке отсчета (точке дискриминации). У дискриминантного коллектора различают:

1. **Тип** – определяется критерием, который используется при построении дискриминантной функции, и видом так называемых дополнительных координат (искусственно вводимых временных рядов, которые функционально определяются по исходным временным рядам).

2. **Структура** – характеризуется взаимным расположением левого и правого кадров, а также положением по отношению к кадрам отсчетной точки (точки дискриминации) - точки, к которой относится значение ДК.

3. **Емкость** – определяется количеством отсчетов в кадрах.

В данной работе применялись простейшие ДК, которые обладают следующими свойствами: тип – Фишера, без дополнительных координат, и Фишера с дополнительными логарифмическими координатами и без исходных координат; структура с двумя примыкающими друг к другу емкостями и отсчетной точкой, которая совпадает с правой границей правой емкости; емкости – одинаковые и равные NFrame (рис. 1). ДК строились как на многомерных временных рядах, так и на их главных компонентах, получаемых с использованием анализатора собственных векторов и компонент сигнала [13].

Поиски связи между содержанием радона (^{222}Rn) в почвенном воздухе и изменениями напряженно-деформированного состояния геосреды на последней стадии подготовки сильных землетрясений усиленно ведутся в течение последних нескольких десятков лет во всех сейсмоактивных регионах Земли. Перспективность сейсмоэманационного метода с целью мониторинга геодинамических процессов в частности прогноза землетрясений и горных ударов показана во многих работах [7].



Рис. 1. Временные соотношения при анализе многомерных временных рядов при использовании простейших ДК

На Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне начиная с 1998 г. работает сеть пунктов регистрации объемной концентрации радона (OA Rn) в почвенном воздухе рыхлых отложений [8, 9]. Пункты сети радонового мониторинга расположены в разных структурных элементах побережья Авачинского залива, что дает основание предполагать различный отклик в динамике радона в зависимости от местоположения очага землетрясений (рис. 3). Для обработки Анализатор собственных векторов и компонент сигнала для данных мониторинга почвенного радона на сети станций Петропавловск - Камчатского отклика OA Rn на изменения напряженно-деформированного состояния литосферы был опробован на рядах данных сети радонового мониторинга за 4 июля - 23 августа 2010 г. В этот период в Авачинском заливе с 30 июля по 3 августа в Авачинском заливе 30 июля на глубинах 20-60 км произошла форшок-афтершоковая последовательность землетрясений с $M_{\text{max}} = 6.3$, произошедшим на расстоянии 125 км от Петропавловск- Камчатского. Спустя две недели южнее мыса Шипунского произошел рой землетрясений на глубинах 40-60 км с $M_{\text{max}} = 5.7$ (рис. 4).

В динамике OA Rn на всех пунктах регистрации четко выделяются две аномалии в период с 14 по 19 июля и с 8 по 13 августа, что может свидетельствовать об изменении скорости конвективного потока подпочвенных газов. В агрегированном сигнале, построенном по методике [1], эти аномалии хорошо выделяются (рис.5).

Для шести временных рядов OA Rn была методика построения дискриминантного коллектора с использованием критерия Фишера без дополнительных координат и величиной емкостей ДК $N_{\text{Frame}}=300$, что (с учетом частоты дискретизации 2 час^{-1}) соответствует 150 часам. Максимум кривой ДК совпадает с аномалией, выделенной на агрегированном сигнале, но значительно четче статистически более оправдано. Он превосходит квантиль с уровнем доверия 0.99. со значением критерия $h = 27.1$. Как показал приведенный пример, методика построений ДК может быть применена к выявлению реперных точек (аномалий) в многомерных временных рядах геофизических параметров при использовании достаточно большого количества ретроспективных примеров.

Вычислительная часть предлагаемой методики программно реализована и может эксплуатироваться в полуавтоматическом режиме на базе существующего комплекса [11] с некоторой модернизацией и адаптацией к временным рядам геофизических параметров. Работа осуществлялась при поддержке гранта РФФИ №11-05-97518; ФЦП 14.В37.21.0668.; Государственного Задания 5.2971.2011; ФЦП43, ГК № 74-ОК/11-7.

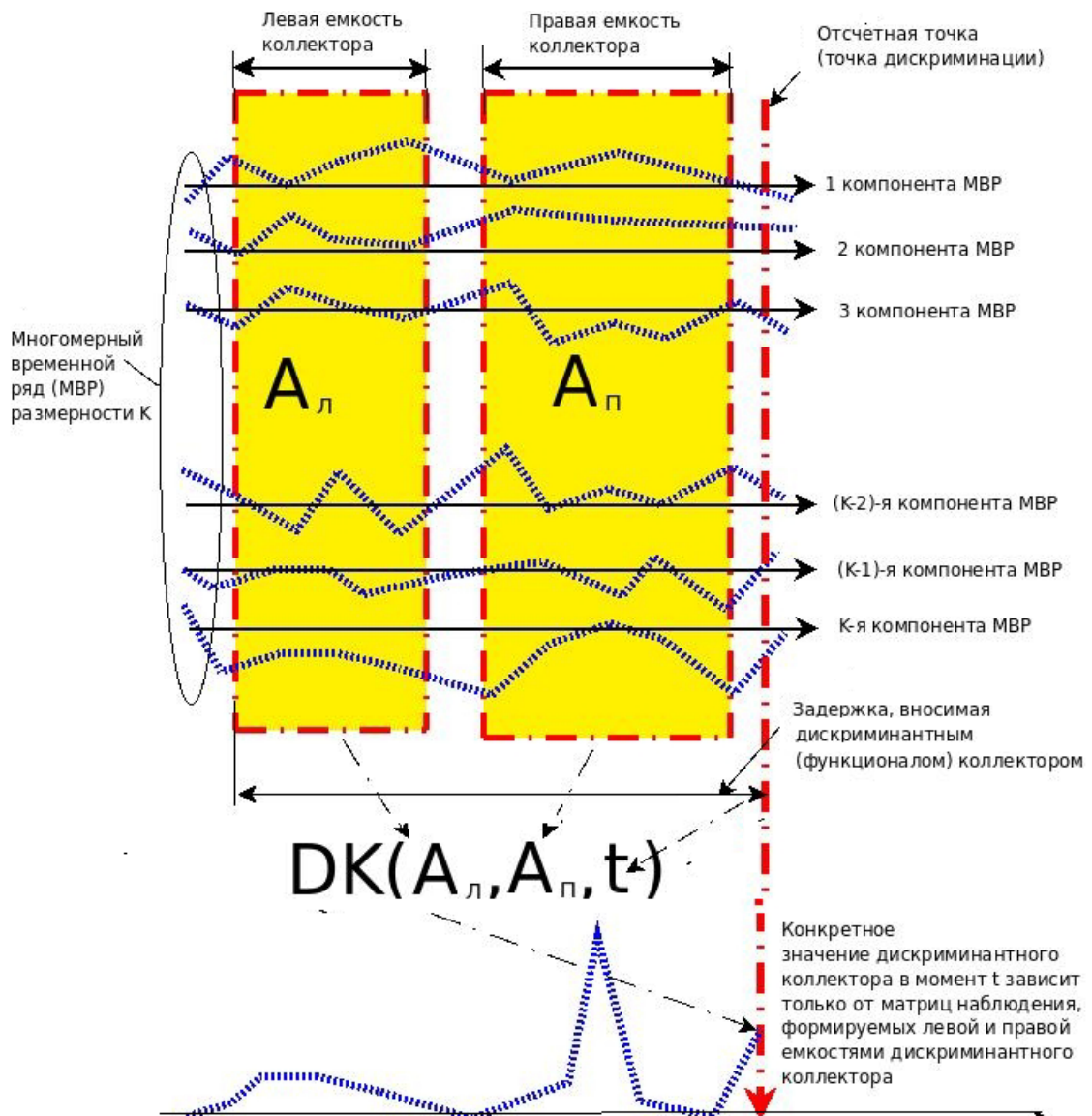


Рис. 2. Схема работы ДК. Штрих пунктирной линией показаны жестко связанные элементы ДК, образующие его структуру и перемещающиеся вдоль числовой оси не изменяя взаимного положения элементов структуры

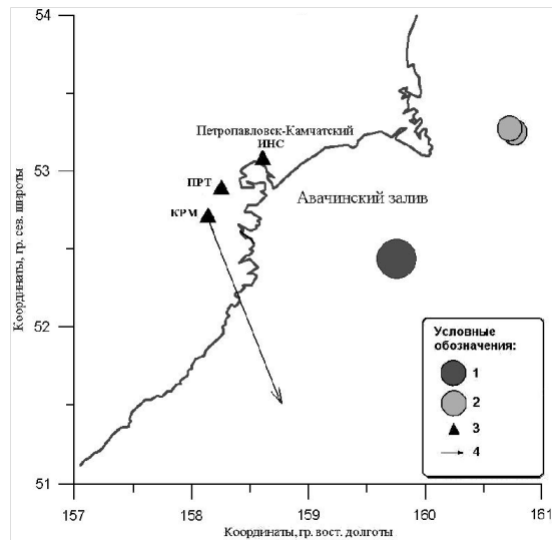


Рис. 3. Схема расположения сети пунктов радонового мониторинга в 2010 г.на Камчатке и карта эпицентров наиболее сильных землетрясений за период 25 июля – 25 августа 1- эпицентр землетрясения с $M=6.3$, 30 июля 2010 г.; 2 – эпицентры наиболее сильных землетрясений роевой последовательности; 3 – пункты наблюдений; 4 – азимут на источник “геодеформационной волны”

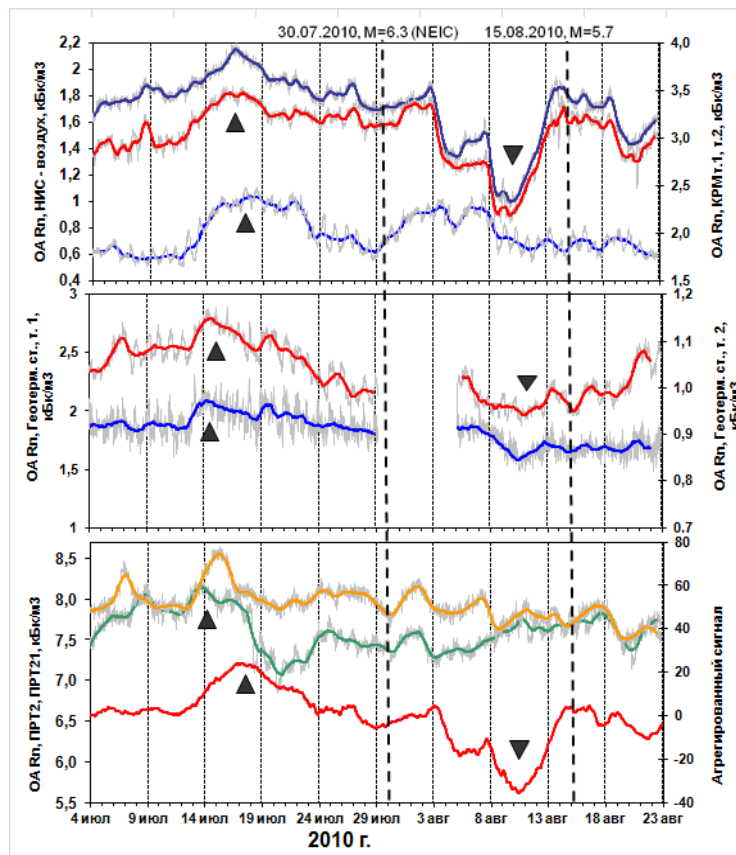


Рис. 4. Динамика объемной активности ОА Rn в пунктах мониторинга, за период с 4 июля по 23 августа. Треугольниками отмечены фазовая корреляция сигналов. Тонкие линии – исходные данные, толстые линии – осредненные

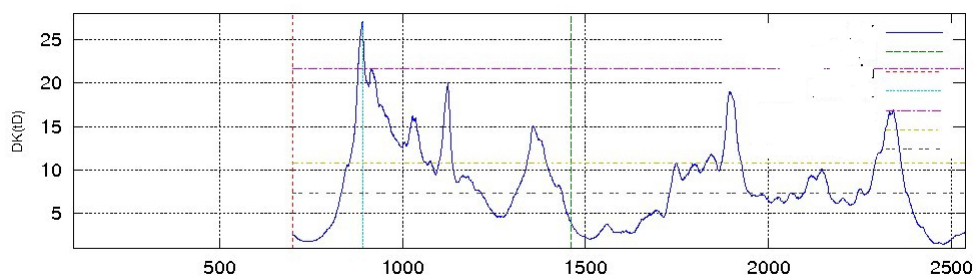


Рис. 5. Использование ДК для построения предвестника землетрясений по наблюдениям концентрации радона по 6 временным рядам

Литература

1. *Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. – М. Наука, 1993. – 344 с.
2. *Соболев Г.А., Пономарев А.В.* Физика землетрясений и предвестники. – М.: Наука, 2003. – 270 с.
3. *Исакевич В.В. и др.* Выявление нестационарных участков при помощи нелинейной модели процесса // Радиотехника и электроника. – 1995, – Т. 40. – № 2. – С.255-260.
4. *Грунская Л.В., Исакевич Д.В., Исакевич В.В. и др.* Каскады дискриминантных функционалов в задачах анализа временных рядов в базисах собственных векторов ковариационных матриц // Нелинейный мир. –2012. – № 4. -С. 215-222.
5. *Fisher R.A.* The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems // Annals of Eugenics.– 1936 – Т.7. – Р.179-188.
6. *Кендалл М., Стьюарт А.* Многомерный статистический анализ и временные ряды – М.: Наука, 1976.-736 с.
7. *Рудаков В.П.* Эманационный мониторинг геосред и процессов. – М.: Научный мир, 2009. 175 с.
8. *Фирстов П.П.* Мониторинг объемной активности подпочвенного радона (^{222}Rn) на Паратунской геотермальной системе в 1997-1998 гг. с целью поиска предвестников сильных землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 1999. .– № 6. – С. 22-31.
9. *Фирстов П.П., Рудаков В.П.* Результаты регистрации подпочвенного радона в 1997–2000 гг. на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне // Вулканология и сейсмология. – 2002. – № 6. – С. 26–41.
10. *Любушин А.А.(мл)* Агрегированный сигнал систем низкочастотного геофизического мониторинга // Физика Земли. – 1998. – №1. – С. 69 – 74.
11. *Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Батин А.С.* Программное обеспечение для распределенной обработки данных в среде Lotus Notes/Domino. – Свидетельство о государственной регистрации 2012616590. Правообладатель ООО “БизнесСофтСервис”.
12. *Грунская Л.В., Ефимов В.А., Морозов В.Н., Закиров А.А., Рубай Д.В.* Исследование электрического и геомагнитного полей инфранизкочастотного диапазона пограничного слоя атмосферы – Изд.: ВлГУ, 2012. – 200 с.

13. *Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В.* Анализатор собственных векторов и компонент сигналов. – Патент на полезную модель RU 116242.

The adaptation of the analyzer of eigen vectors and a signal component for the soil radon monitoring data at the net of the stations of Petropavlovsk-Kamchatsky geodynamical ground with the aim to expose herald anomalies of heavy earthquakes

Isakevich V.V.¹, Isakevich D.V.^{1,3}, Grunskaya L. V¹, Firstov P.P.^{2,4}, Makarov E.O.²

¹ *Vladimir State University, Russia*

² *Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, Russia*

³ *Businesssoftservice Ltd, Russia*

⁴ *GS RAS Kamchatka branch office Petropavlovsk-Kamchatka, Russia*

The statement of the problem in the theoretical and experimental way of detection of earthquake heralds in different Earth geophysical fields is far from solution, therefore using new effective methods of detection of short-term heralds of great earthquakes is a problem of paramount importance. The carried out investigations showed that to solve the problem of forecasting it is advisable to use method of eigen vectors allows to analyze and to use effectively non-dominating energetically uncorrelated components of the analyzed signals. It has been got a patent of this method - an analyzer of eigen vectors and a signal component 116242 RU.

The analysis according to the proposed method of the radon monitoring data received at the set of the stations of Kamchatka branch office of RAS geophysical service on Petropavlovsk geodynamical proving ground before the earthquake with M=6.3 which took place on 30, July of 2010 in Avachinsk bay. Showed the efficiency of the developed analyzer for exposing heralded anomalies. The developed method is being planned to use for processing retrospective data at the first stage, and at the next one in the real time conditions in order to raise the estimation efficiency of seismic danger in Petropavlovsk-Kamchatsky region. The work was being done with support of RFFI grant 11-05-97518, FCP 14B37.21.0668, State Task 5.2971.2011, FCP 43, SC 74-OK/11-7.