# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ ДИСКРИМИНАНТНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЧВЕННОГО РАДОНА НА СЕТИ ПУНКТОВ ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

Исакевич В. В.<sup>1</sup>, Фирстов П.П.<sup>2</sup>, Исакевич Д. В.<sup>1</sup>, Грунская Л. В.<sup>3</sup>, Макаров Е.О.<sup>2</sup> <sup>1</sup>ООО "БизнесСофтСервис", г. Владимир, ddb@setget.ru,

<sup>2</sup>Камчатский филиал ГС РАН, Петропавловск-Камчатский, 683023, firstov@emsd.ru <sup>3</sup>Владимирский государственный университет, г Владимир, <u>grunsk@vlsu.ru</u>

### Введение

В рыхлых отложениях миграция радона и его сток в атмосферу происходят под действием диффузии и конвективного переноса. Так как рыхлые отложения представляют собой пористую среду, то ее свойства определяются многими факторами, в том числе и изменениями напряженнодеформированного состояния геосреды за счет дилатансии перед сильными землетрясениями. Этот полезный сигнал, с точки зрения прогноза землетрясений, «тонет» в шумах, обусловленных изменением метеорологических условий как сезонного, так и суточного характера [10, 11]. Поиски связи между содержанием радона (<sup>222</sup>Rn) в почвенном воздухе и изменениями напряженнодеформированного состояния геосреды на последней стадии подготовки сильных землетрясений усиленно ведутся в течение 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].

В случае сети пунктов регистрации с апертурой более 20 км, под действием изменений напряженно-деформированного состояния геосреды регионального масштаба, концентрация Rn в различных блоках может вести себя разнонаправленно, за счет геолого-тектонической структуры района. Для всей системы наблюдений обнаружение временных интервалов (реперных точек) в изменении коллективного поведения регистрируемых параметров представляет большой интерес на первом этапе поиска предвестниковых аномалий. Следующий этап связан с селекцией данных реперных участков и их увязки с теми или иными процессами, в том числе с изменениями напряженно-деформированного состояния геосреды.

Как показано в ряде работ обзорного и экспериментального характера [8, 9], в теоретическом и экспериментальном плане проблема обнаружения предвестников землетрясений во временных рядах различных геофизических полей Земли далека от разрешения, поэтому применение новых эффективных методик обнаружения краткосрочных предвестников сильных землетрясений в поле почвенного радона является актуальной задачей.

# Регистрация почвенного радона на Петропавловск - Камчатском геодинамическом полигоне и сейсмичность района в 2012-2013 гг.

На Петропавловск - Камчатском геодинамическом полигоне начиная с 1998 г. работает сеть пунктов регистрации концентрации радона в почвенном воздухе рыхлых отложений [6, 10, 11]. На всех пунктах в качестве датчиков применяются газоразрядные счетчики γ и β-излучения. Выпускаемые отечественной промышленностью газоразрядные счетчики СТС-5 и СБМ-20 имеют разброс чувствительности не выше ±10% от их паспортной величины. Продолжительная эксплуатация, также как и длительный срок хранения (до 50 лет), оказывают незначительное влияние на первоначальную чувствительность счетчика [1]. Это позволяет вести регистрацию концентрации Rn в почвенном воздухе с высокой степенью надежности и достаточно простой метрологией. В качестве регистраторов используются дата-логгеры фирмы ALMEMO, которые оборудованы системой интеллектуальных коннекторов, позволяющих подключать датчики, регистрирующие более 65 различных параметров. На основе серийной аппаратуры фирмы ALMEMO на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне создан и эксплуатируется аппаратурный комплекс, в который включены «Радиометр ВМ-2» для регистрации концентрации почвенного радона по  $\beta$  – излучению с двумя или четырьмя датчиками, а также приборы для регистрации концентрации молекулярного водорода и углекислого газа. Комплекс показал высокую надежность при работе в неблагоприятной среде [6].

Исследовались пять временных рядов, полученные в пункте ИНС и один ряд пункта ПРТ (рис.1). Пункт ИНС создан на базе скважины НИС-1, располагающейся рядом со зданием Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Скважина НИС-1 (глубина 350 м) расположена в пределах

Петропавловского горста в районе погребенной депрессии. Скважина обсажена на всю глубину стальными трубами, а в интервале 265-295 м установлен щелевой фильтр. Уровень воды в скважине в зависимости от сезона колеблется от 51 до 52,5 м. Когда создавался пункт регистрации почвенных газов, ствол скважины на глубине 16 м был уже забит, где образовалась техногенная «пробка». Над оголовком скважины был сооружен подземный бункер размером  $2 \times 2 \times 2$  м<sup>3</sup>. Над бункером на поверхности земли установлен металлический контейнер. Подземный бункер через контейнер и систему труб вентилируется за счет естественной конвекции воздуха. В этом пункте регистрация всех



параметров осуществляется с частотой дискретизации 6.0 час<sup>-1</sup>[6, 11].

Рис. 1 Схема расположения пунктов регистрации почвенного радона в 2012-2013г г. на Камчатке и карта эпицентров наиболее сильных землетрясений за период 1 августа 2012 г. – 31 марта 2013 г. 1- эпицентры землетрясений с М > 5.5; 2 - пункты наблюдений. Пункты: ИНС- Институт ВиС, ПРТ –пункт Паратунка, КРМ – Карымшина, НЛЧ – Налычево.

Рассматривались временные ряды за период 1 августа 2012 г. по 31 марта 2013 г. В этот период в акватории Тихого океана южной Камчатки произошло три землетрясения с магнитудой М > 5.5 по каталогу NEIC (National Earthquake Information Center), эпицентры которых показаны на рис.1. Следует отметить, что землетрясение 28.03.2013 г. с магнитудой 6.9 является основным толчком афтершоковой последовательности.

Краткое описание методики анализатора собственных векторов и компонент сигнала

Для выявления коллективного поведения регистрируемых параметров в поле почвенных газов был использован метод дискриминантных функционалов (коллекторов – ДК). В основе метода ДК с целью выявления аномалий (реперных точек) 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 [2, 3, 4], позволяющая наилучшим образом отличать друг от друга временные сечения многомерного временного ряда, записанные в матрицы. Качество их различия характеризуется некоторым критерием, величина которого тем больше, чем лучше происходит различие матриц. Значение ДК для каждого момента времени есть значение критерия дискриминации соответствующих данному моменту времени матриц левого и правого кадра дискриминантного коллектора к точке отсчета (точке дискриминации). У дискриминантного коллектора различают (рис. 2):

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.



Рис. 2. Временные соотношения при анализе многомерных временных рядов при использовании простейших дискриминантных коллекторов.

Применялись простейшие ДК, которые обладают следующими свойствами: тип – Фишера, без дополнительных координат, 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. 3). ДК могут строиться как на многомерных временных рядах, так и на их главных компонентах, получаемых с использованием анализатора собственных векторов и компонент сигнала.

В этом плане весьма перспективным может быть методика обработки временных рядов с использованием дискриминантных функционалов (коллекторов), которые используют при своей работе скользящие по осям времен многомерного временного ряда жестко связанные два кадра определенной длительности. Для каждого временного положения кадров формируются две матрицы наблюдений, для которых строится дискриминантная функция, позволяющая наилучшим образом отличать друг от друга временные сечения многомерного временного ряда, записанные в эти матрицы (рис. 3). По такой схеме были обработаны данные концентрации почвенного Rn.



Рис. 3 Схема работы дискриминантного коллектора. пунктирной Штрих линией жестко связанные показаны ДК, образующие его элементы И перемещающиеся структуру вдоль числовой оси, не изменяя взаимного положения элементов структуры.

#### Обсуждение результатов

Ha рис. 4 показаны исследуемых исходные данные (1 августа временных рядов 2012 г.-31 марта 2013 г.), отмечены жирными линиями времена возникновения землетрясений M>5.5. с Восьмимесячный интервал летний зимний охватывает И периоды, в которых наблюдаются значительные отличия стока Rn в атмосферу за счет изменения

проницаемости поверхностного слоя грунта, связанного с сезонным ходом температуры воздуха. Начиная с ноября по март уменьшается концентрация Rn и влияние вариаций атмосферного давления на сток радона, что видно на рис. 4а,б,в. Влияние атмосферного давления на динамику Rn в зоне аэрации иллюстрирует рис. 4в, где показаны концентрация Rn в зоне аэрации и атмосферное давление в пункте ПРТ. Визуально видно, что в зимние месяцы, когда на Камчатку приходят теплые циклоны с Тихого океана, наблюдаются резкие пики увеличения концентрации Rn.

С целью выявления общих элементов поведения в динамике концентрации Rn на основе шестимерного ряда по методике [5] был построен агрегированный сигнал с длительностью окна 512 отчетов (10.5 суток). В агрегированном сигнале четко выделяется сезонный ход и предвестниковая аномалия перед землетрясением 24.03. 2013 г. (рис. 4г).

По описанной выше методике рассчитывался ДК Фишера с кадром 400 отсчетов (200 часов). Как видно на рис. 4в, 17.11.2012 г. и 11.03.2013 г. значение ДК превышает квантиль  $q_{0.99} = 12$ , а 21.09.2012 значение q = 10. Эти пиковые возрастания значений ДК следует рассматривать как реперные точки, свидетельствующие о нарушении стационарности многомерного временного ряда. Значение дискриминантного функционала, превышающее квантиль  $q_{0.99}$  в середине ноября, связано с сезонным ходом, когда среднесуточные температуры становятся ниже нуля и резко уменьшается конвекционная составляющая миграции почвенных газов, что находит яркое выражение в методе дискриминантного функционала. Сентябрьскую и мартовскую реперные точки можно рассматривать как предвестниковые аномалии землетрясений с M > 5.5. К сожалению, перед самым сильным землетрясение за рассматриваемый период 28 февраля 2013 г. не обнаружено предвестниковых аномалий ни в агрегированном сигнале, ни на кривой ДК. Это, возможно, связано с удаленностью очаговой зоны (~300 км) или с механизмом очага землетрясения, что требует более глубокого изучения.



Рис. 4. Динамика концентрации почвенного радона в пунктах Петропавловск-Камчатского полигона за период 1 августа 2012 г. – 31 марта 2013 г. и кривые обработки многомерного ряда. a – концентрация Rn в зоне аэрации (глубина один метр) и на поверхности пола в бункере НИС;  $\delta$  – концентрация Rn в воздухе бункера НИС и в зоне аэрации подвала Института; e – атмосферное давление и концентрация радона в зоне аэрации пункта ПРТ; c – концентрация CO<sub>2</sub> в стволе скважины НИС и агрегированный сигнал, построенный по методике [5]; d – кривая значений дискриминантного функционала с кадром 200 часов (400 отсчетов).

## Выводы

В целом метод ДК достаточно уверенно выделил в многомерном временном ряду за период 1 августа 2012 г. – 31 марта 2013 г реперные точки в изменении коллективного поведения динамики почвенного радона на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне. Данный пример показывает, что метод ДК может с успехом применяться для анализа временных рядов мониторинга концентрации почвенных газов с целью поиска предвестников сильных землетрясений южной Камчатки в поле почвенного радона.

# Список литературы

- 1. Глухов Ю.А., Васильев А.В., Лукоянов Д.И. и др. Разработка регистрирующей схемы для газоразрядных счетчиков //АНРИ. 2009. № 4 (60). С. 33-36.
- 2. 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.
- 3. Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В. Анализатор собственных векторов и компонент сигналов. Патент на полезную модель RU 116242.
- 4. Исакевич В.В. и др. Выявление нестационарных участков при помощи нелинейной модели процесса // Радиотехника и электроника. 1995, Т. 40. № 2. С. 255-260.
- 5. Любушин А.А.(мл). Агрегированный сигнал систем низкочастотного геофизического мониторинга // Физика Земли. 1998. №1. С. 69 74.
- 6. Макаров Е.О., Фирстов П.П., Волошин В.Н. Аппаратурный комплекс для регистрации концентрации подпочвенных газов с целью поиска предвестниковых аномалий сильных землетрясений Южной Камчатки // Сейсмические приборы. 2012. Том 48. № 1. С.
- 7. Рудаков В.П. Эманационный мониторинг геосред и процессов. М.: Научный мир, 2009. 175 с.
- 8. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М. Наука, 1993. 344 с.
- 9. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.
- 10. Фирстов, П.П., Рудаков В.П. Результаты регистрации подпочвенного радона в 1997–2000 гг. на Петропавловск-Камчастком геодинамическом полигоне // Вулканология и сейсмология. 2002. № 6. С. 26–41.
- 11. Firstov P.P., Yakovleva V.S., Shirokov V.A. at. all The nexus of soil radon and hydrogen dynamics and seismicity of the northern flank of the Kuril Kamchatka subduction zone // Annals of Geophysics. 2007. V. 50. № 4. P. 546-557.