

УДК 550.343.6

**ВЫДЕЛЕНИЕ МЕТОДОМ АЙГЕНОСКОПИИ
ПРЕДВЕСТНИКОВЫХ АНОМАЛИЙ
ЖУПАНОВСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 30 ЯНВАРЯ
2016 Г. С $M_W=7.2$ И ГЛУБИНОЙ ОЧАГА 171 КМ
(КАМЧАТКА)***

**П. П. Фирстов¹, Д. В. Исакевич^{2,3}, В. В. Исакевич^{2,3,4},
Д. И. Будилов¹, Е. О. Макаров¹, Л. В. Грунская⁴**

¹ Камчатский филиал "Единой геофизической службы РАН 683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа 9,

² ООО «БизнесСофтСервис», 600005, г. Владимир, ул. Горького, д. 50, Россия,

³ ООО «Собственный вектор», 600005, г. Владимир, ул. Горького, д. 50, Россия,

⁴ Владимирский государственный университет, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, Россия

E-mail: Firstov@emsd.ru

Рассмотрено применение методики айгеноскопии для анализа коллективного поведения временных рядов почвенного радона с целью выявления предвестниковых аномалий перед глубоким Жупановским землетрясением с $M = 7.2$. Айгеноскоп (от англ. «eigenvector» - собственный вектор) или «анализатор собственных векторов и компонент сигнала» является виртуальным прибором, позволяющим выделять реперные точки коллективного поведения в многомерных временных рядах. Рассмотрены многомерные временные ряды (01.08.2015 г. – 17.02.2016 г.), полученные на сети пунктов мониторинга подпочвенного радона Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона. Перед глубоким землетрясением с $M = 7.2$, произошедшим на удалении 120 км от пункта регистрации, с помощью метода айгеноскопии в динамике почвенного радона уверенно выделилась реперная точка, которая может рассматриваться как предвестниковая аномалия.

Ключевые слова: подпочвенный радон, айгеноскопия, реперная точка, предвестниковая аномалия, землетрясение, прогноз

© Фирстов П. П. и др., 2017

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №16-05-00162

Введение

Общепринято считать, что предвестниковые аномалии имеют деформационную природу и могут опосредованно проявляться в геофизических полях той или иной природы. Одним из методов поиска предвестниковых аномалий является радоновый, когда предвестниковые аномалии ищутся в динамике подпочвенного радона, радона в атмосферном воздухе и радона, растворенного в воде. Изучение вариаций во времени Rn в подпочвенном воздухе несет информацию о геодинамических процессах, протекающих в горном массиве, и позволяет косвенно следить за изменениями свойств объема геосреды в пункте регистрации, где мигрируют подпочвенные газы.

Начиная с 1997 г. на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне ведется мониторинг Rn в подпочвенном воздухе с целью поиска предвестников сильных землетрясений района полуострова Камчатка [1]. Регистрация Rn с начала создания сети ведется с помощью радиометров, в основу работы которых положен принцип пассивной регистрации продуктов распада Rn с помощью газоразрядных счетчиков (ГС) по β -излучению [2].

Пункты сети радонового мониторинга расположены в разных структурных элементах побережья Авачинского залива (рис. 1), что формирует различный отклик в динамике концентрации Rn в связи с разной реакцией отдельных блоков района на геодинамические процессы, связанные с подготовкой сильных землетрясений. Кроме того, каждый пункт имеет свои особенности строения аллювиально-делювиальных отложений, в зоне аэрации которых размещаются ГС. Детальное описание конструкций и аппаратуры на пунктах приведено в работах [3, 4].

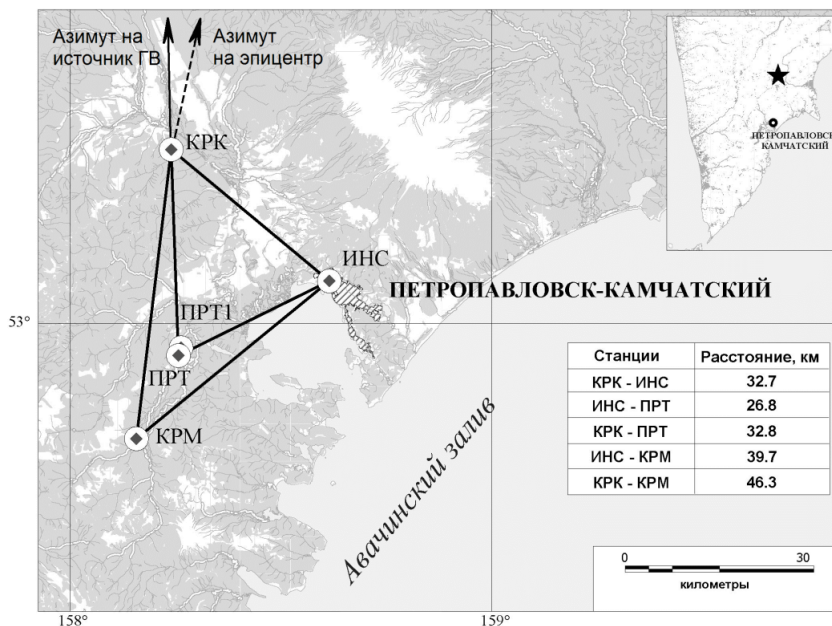


Рис. 1. Сеть пунктов регистрации концентрации подпочвенных газов на Петропавловск-Камчатском полигоне. ИНС – пункт на базе скважины ИИС1 вблизи здания Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС), ПРТ – пункт в долине ручья Коркино (Паратунский грабен), ПРТ1-геотермальный стационар ИВиС, КРК – пункт в поселке Коряки, КРМ – пункт на реке Карымшина. Звездочкой на врезке показан эпицентр Жупановского землетрясения

Как было показано в работе [5], для 67% землетрясений Авачинского залива с $M \geq 5.5$ с относительными временными сдвигами на нескольких пунктах мониторинга подпочвенного радона регистрируются предвестниковые аномалии с временем упреждения в пределах нескольких часов-суток. Выделение коллективного поведения и синхронизации в поле подпочвенного радона в автоматизированном режиме представляет актуальную задачу для мониторинга. Этому вопросу и посвящена данная работа.

Методика айгеноскопии для анализа коллективного поведения временных рядов подпочвенного радона

Ряды данных, получаемые при геофизическом мониторинге весьма неоднородны и существенно зашумлены различного вида помехами. Поэтому к ним необходимо применение специальных методов и приемов при накоплении и анализе таких данных, с целью нахождения в них общих сигналов и отсеивания малосущественных деталей «индивидуального» поведения.

Для обработки временных рядов в настоящее время в России нашли распространения два пакета прикладных программ [6, 7, 8]. Предложенные в этих работах методы и разработанное программное обеспечение нашли широкое применение в обработке временных рядов параметров геофизических полей.

Плотность потока радона с поверхности (ППР) значительно зависит от таких метеорологических величин как влажность и температура почвенного слоя, а особенно от атмосферного давления. Поэтому при анализе временных рядов объемной активности радона (ОА Rn), с целью выделения предвестниковых аномалий сильных землетрясений, выполнялась их барокомпенсация по методике [6]. На рис. 2 приведены графики изменений ОА Rn для зоны аэрации (ГС1) и зоны полного влагонасыщения (ГС3), также график изменений атмосферного давления (Р) в пункте ПРТ за период 01.02. – 03.04. 2013 г. Для этого периода времени характерна высокая циклоническая активность, что отражено на графике атмосферного давления резким падением с большой скоростью (dP/dt). В динамике ОА Rn в зоне аэрации хорошо видно воздействие вариаций Р, в виде четко выраженных пиков увеличения, которые коррелируются с отрицательными пиками dP/dt . На кривой ОА Rn для датчика ГС3 влияние Р визуально не обнаруживается. После барокомпенсации относительная амплитуда вариаций ОА Rn в зоне аэрации ($\delta = ((\text{Авар}-\text{Аф})/\text{Аф}) * 100$), связанных с атмосферным давлением, уменьшилась в среднем на 85% (рис. 2б).

Этот пример показывает, что полностью исключить влияние вариаций Р на сток радона в атмосферу затруднительно. Поэтому была принята следующая стратегия выделения предвестниковых аномалий в рядах ОА Rn получаемых на пунктах мониторинга на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне:

1. С помощью виртуального прибора «Айгеноскоп» автоматически должны выделяться реперные точки.

2. Выделение реперных точек связанных с вариациями атмосферного давления должно проводиться по следующей методике. После вычисления первых разностей для кривой атмосферного давления рассчитывается средне арифметическое и среднеквадратичное отклонение (σ). Время, когда значение превышало 3σ , рассматривалось как реперная точка, обусловленная вариацией атмосферного давления.

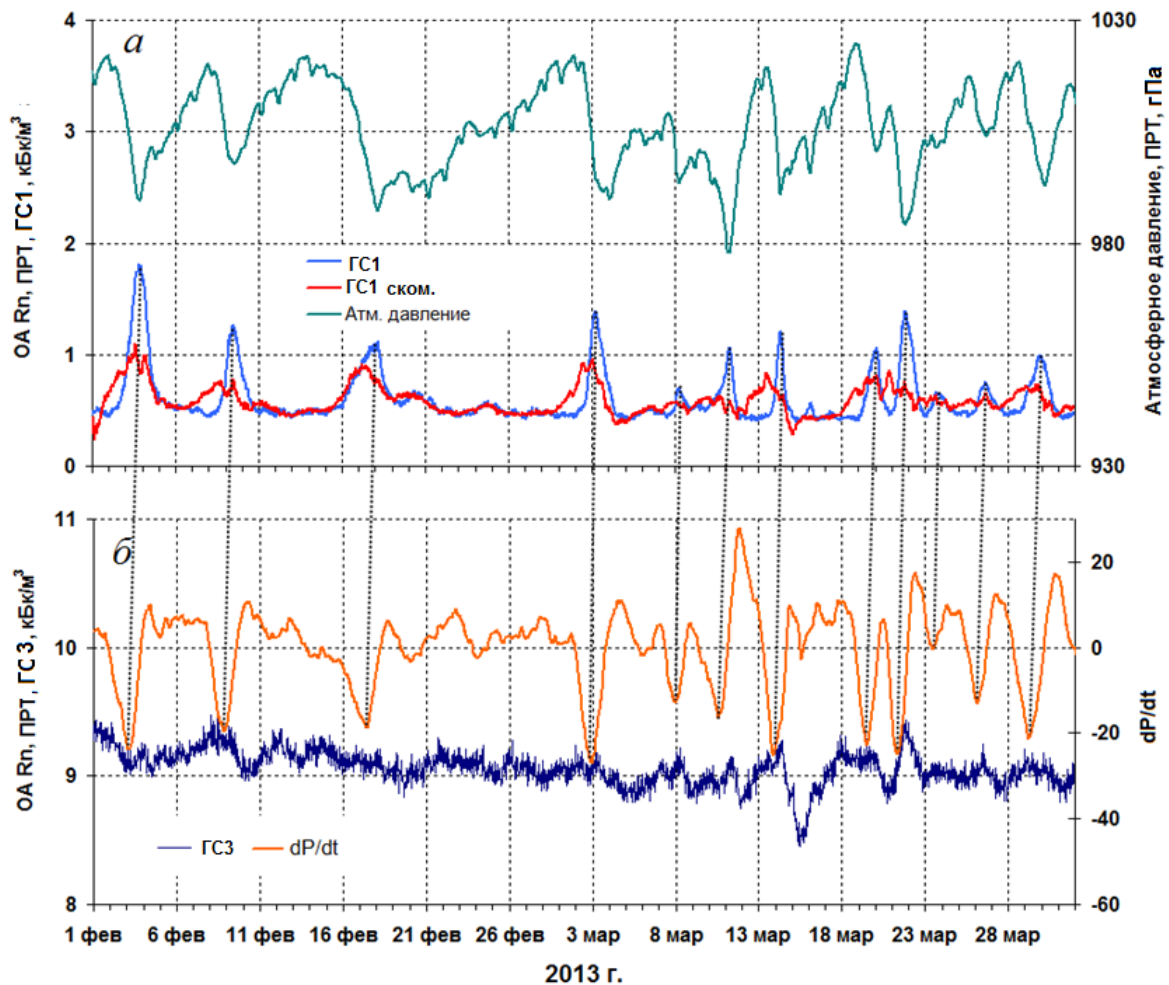


Рис. 2. Атмосферное давление, исходная и барокompенсированная кривые $OA Rn$ в зоне аэрации (ГС1) пункта ПРТ (а); кривая $OA Rn$ зоны влагонасыщения (ГС3) и скорость изменения атмосферного давления (б)

Айгеноскопия – группа новых полезных моделей [9, 10, 11] для обработки временных рядов и сигналов, основанных на методе анализа собственных векторов ковариационных матриц («eigenvector analysis»). Этот метод известен как анализ эмпирических ортогональных функций («empirical orthogonal functions analysis») – с целью обнаружения скрытых признаков и закономерностей.

На рис. 3 приведена обобщенная структурная схема программно реализованного виртуального устройства, использующего методики обработки, отвечающие полезным моделям [10, 11]. В блоке 1 по всей имеющейся предыстории и заданной величине интервалов анализа (в данной работе 48 часов) вычисляется ковариационная матрица (матрица вторых нецентральных моментов), которая имела размерность (с учетом времени дискретизации 0.5 часа) 96 дискретов. Для полученной в блоке 2 ковариационной матрицы (КМ) в блоке 3 вычислялись собственные векторы (СВ), количество которых совпадает с размерностью матрицы. Для дальнейшей обработки использовались не все СВ, а только СВ со 2-го по 14-ый. В блоке 1 вычислялись (для каждого интервала анализа) коэффициенты разложения отрезка временного ряда (ВР) по собственным векторам. Численно эти коэффициенты совпадают со скалярными произведениями соответствующего отрезка ВР и соответствующего СВ.

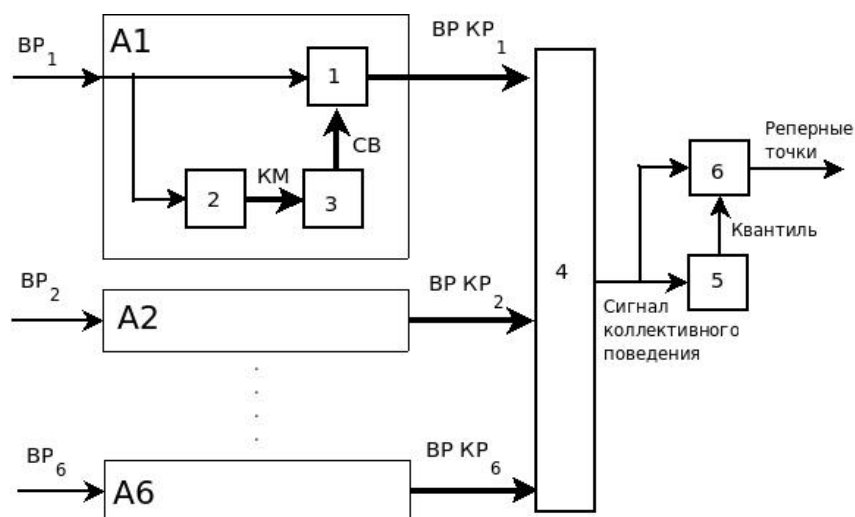


Рис. 3. Структурная схема методики обработки: А1-А6 – «айгеноскопы» для обработки временных рядов с датчиков, блок 1 – вычислитель скалярных произведений, блок 2 – вычислитель ковариационной матрицы, блок 3 – вычислитель собственных векторов, блок 4 – формирователь сигнала коллективного поведения, блок 5 – вычислитель квантиль, блок 6 – решающее устройство, $VP_1 - VP_6$ – временные ряды с датчиков, $VP KP_1 - VP KP_6$ – коэффициенты разложения временных рядов по собственным векторам, КМ – ковариационная матрица, СВ – собственные векторы

Каждый из блоков А1-А5 представляет собой несколько видоизмененную схему «айгеноскопа» [12], где автономно вычисляются КМ и СВ, а также соответствующие им коэффициенты разложения. Все «айгеноскопы» работают синхронно и выдают на своих выходах (для каждого текущего момента времени) коэффициенты разложения $VP KP_1 - VP KP_5$ временных рядов $VP_1 - VP_5$ на текущем интервале анализа в изменяющихся, адаптивных базисах собственных векторов. Таким образом, на вход блока 4 вычисления сигнала коллективного поведения поступают так называемые главные компоненты временных рядов $VP_1 - VP_5$ с датчиков, вычисленные в адаптивных базисах собственных векторов за всю известную к текущему моменту времени предысторию. Затем вычислялось среднее геометрическое (СГ) значения всех главных компонент для каждого момента времени, в соответствии с решением, предложенным в полезной модели [11]. В качестве обоснованных значений порогов выбраны квантили уровня 0.5, 0.75, 0.90 и 0.99 (превышаемые временным рядом коллективного поведения в 50%, 25%, 10% и 1% отсчетов соответственно). Те моменты времени, в которые временной ряд коллективного поведения превышал квантиль заданного уровня, рассматривались в качестве реперных точек. Эта часть обработки осуществляется блоками 5 и 6.

Предвестниковые аномалии глубокого Жупановского землетрясения (30 января 2016 г., $M_W=7.2$) в поле подпочвенного радона

Жупановское землетрясение (ЖЗ) с $M_W = 7.2$ произошло под восточным побережьем Камчатки 30.01.2016 г. в 03 час. 25 мин (табл.). Эпицентр ЖЗ находился в 100 км к северу от г. Петропавловска-Камчатского, где оно ощущалось с интенсивностью

4-5 баллов по шкале МКС-64 [13]. Несмотря на то, что глубина очага ЖЗ оценивается более в 160 км, предвестниковые аномалии перед ним были зафиксированы по данным шести методов, позволяющих вести мониторинг некоторых параметров геофизических полей [13].

Таблица

Параметры Жупановского землетрясения 30.01.2016 г.

Дата	Время	Координаты		M_w	Н, км	$R_{ПРТ}$, км	$\delta\%$	Примечание
		ϕ , N	λ , E					
30.01.2016	03:25:12	53.98	158.55	7.2	177	100	-80	Жупановское землетрясение

Примечание: ϕ , N – градусы северной широты, λ , E – градусы восточной долготы, w – магнитуа, Н – глубина, $R_{ПРТ}$ – расстояние до опорного пункта ПРТ, δ – относительная амплитуда аномалии.

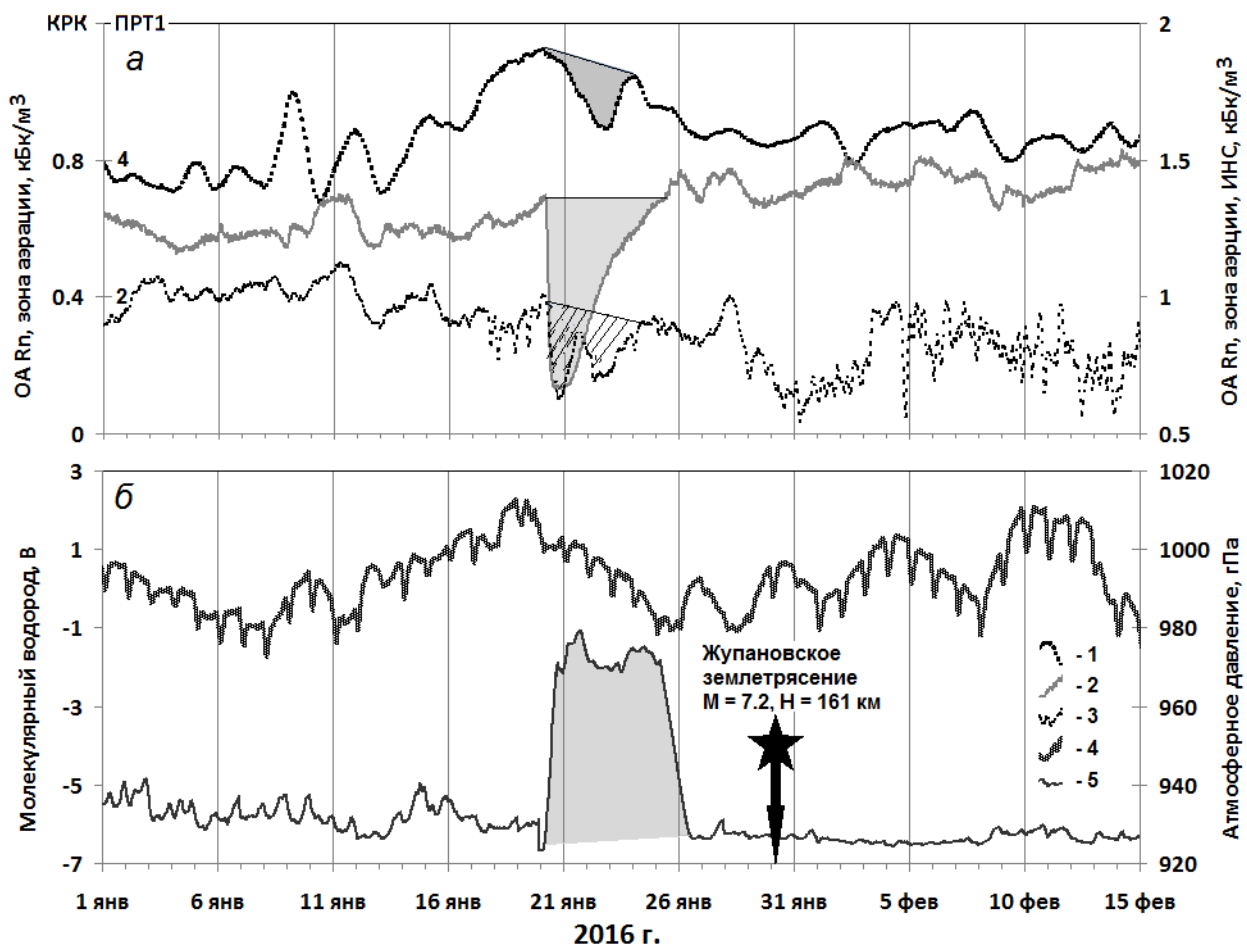


Рис. 4. Осредненные скользящим средним в 2.5 часовом окне кривые ОА Рп в зоне аэрации в пунктах КРК, ПРТ1, ИНС за период 01.01-15.02.2016 г. (а), атмосферное давление и концентрация водорода в пункте ИНС (б) [14]

На рис. 4а приведена динамика ОА Рп за период с 01.01.2016 г. по 15.02.2016 г. в зоне аэрации в пунктах КРК, ПРТ1 и ИНС. На всех трех кривых синфазно выделяется бухтообразное отрицательное возмущение (аномалия). Это возмущение отслеживается еще в ряде параметров подпочвенных газов: плотности потока Рп в пункте

ПРТ; концентрации двуокси углерода; молекулярного водорода в пункте ИНС (рис. 4б). На динамику подпочвенного Rn в зоне аэрации существенное влияние оказывают вариации атмосферного давления. Как видно на рис. 4б, связи аномалии с атмосферным давлением визуально не просматривается.

Как было показано ранее [4, 14], площадная расстановка радиометров позволила обнаружить перед землетрясениями района Авачинского залива с $M > 5.5$ «деформационные волны» (ДВ) длительностью от полутора до несколько десятков суток и со временем упреждения от 0.5 до 80 суток. По мнению авторов, ДВ возникают на последней стадии подготовки сейсмических событий при квазивязком течении геосреды в районе очаговой зоны. Кажущаяся скорость их распространения по данным камчатской сети оценивается 14-144 км/сутки. По нашим представлениям, аномалии в динамике подпочвенного радона формируются в результате прихода ДВ солитонного типа, которые, воздействуя на эманурующий горизонт в пунктах регистрации, изменяют величину ОА Rn в зоне аэрации.

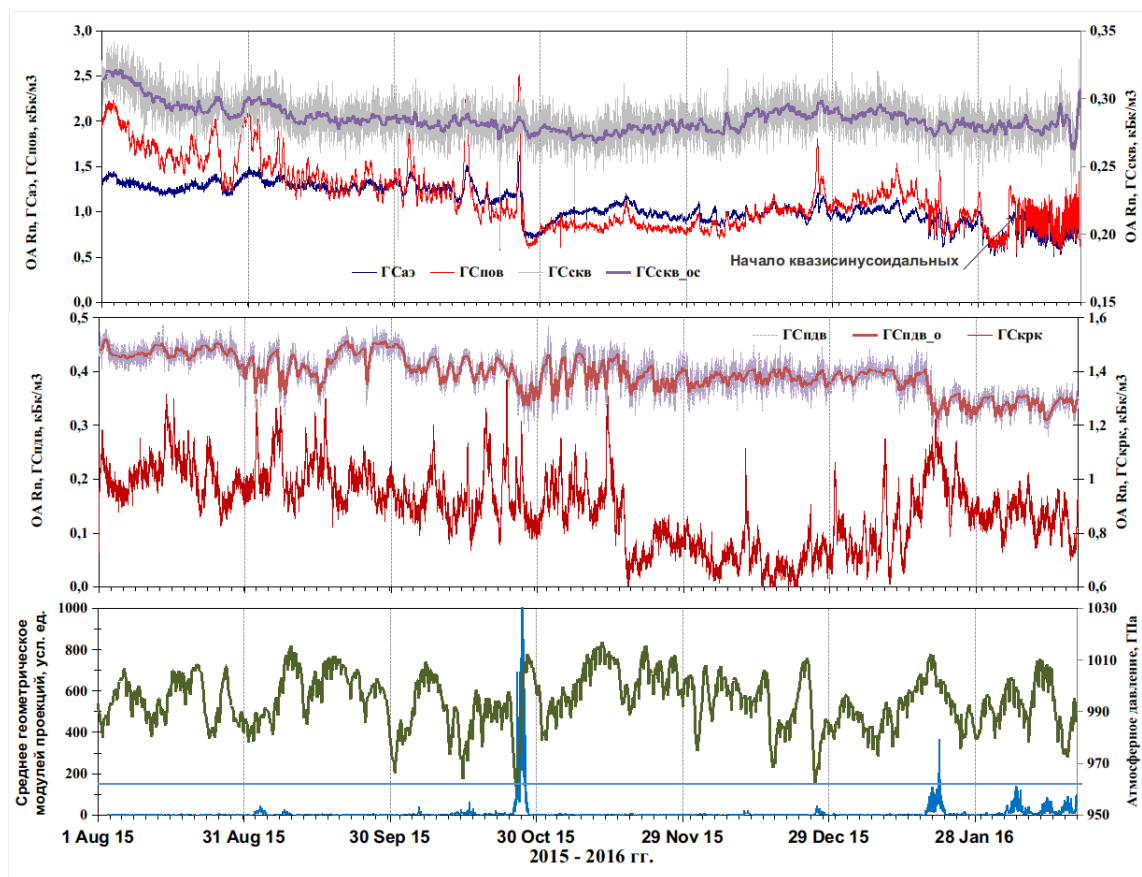


Рис. 5. Кривые ОА Rn в пункте ИНС (а), кривые ОА Rn в пункте КРК (б), атмосферное давление и значение среднего геометрического, построенного на абсолютных значениях проекций исходных временных рядов на 2-14 собственные векторы (в)

Разность времен вступлений радоновых аномалий, предшествующих ЖЗ, на треугольник пунктов сети радонового мониторинга позволила определить направление на источник ГВ. Азимут на источник от пункта КРК составляет 358° и отличается от азимута на эпицентр по NEIC на 14° (рис. 1). В отличие от ранее изученных случа-

ев, кажущая скорость распространения ГВ значительно выше и составляет 250-270 км/сутки, что косвенно указывает на более глубокий источник ГВ.

На более длинном интервале 01.09.2015 г. – 18.02.2017 г. на кривых ОА R_n для 5 ГС установленных в пунктах ИНС и КРК предвестниковая аномалия визуально выделяется плохо (рис. 5). Была проведена обработка этих рядов методом айгеноскопии. Кривая среднегеометрического, вычисленного для коэффициентов разложения исходного ряда в базисе собственных векторов ковариационной матрицы размерностью 96 дискретов (48 часов) приведена на рис. 5в, где по квантилю 0.99 выделяется две реперные точки. Первая реперная точка 26-27 октября 2015 г. обусловлена резким уменьшением атмосферного давления, которое вызвало мощный всплеск ОА R_n на газоразрядных счетчиках, расположенных в зоне аэрации пункта ИНС. Вторая реперная точка 20.01.2016 г. совпадает с началом предвестниковой аномалии ЖЗ.

Заключение

Исходя из выше приведенного примера, можно утверждать, что внедрение методики айгеноскопии может повысить оперативность и эффективность выделения предвестниковых аномалий в поле подпочвенных газов.

В настоящее время ведутся работы по созданию программного комплекса для автоматического выделения реперных точек на основании данных, получаемых в пункте ИНС. Для этих целей на языке программирования Python разрабатывается программный комплекс, позволяющий вести мониторинг активности подпочвенных газов во времени близком к реальному (рис. 6).

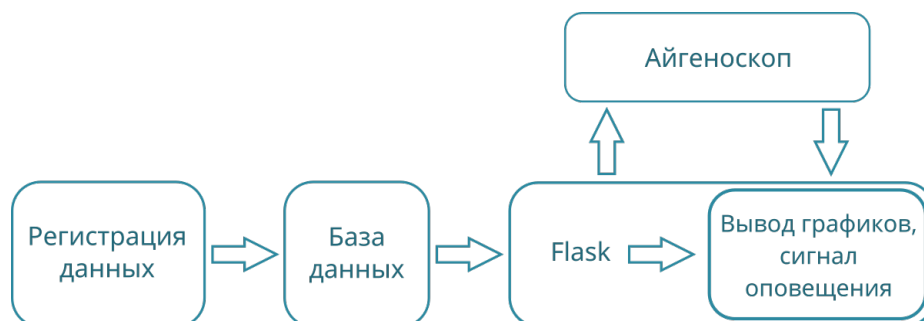


Рис. 6. Схема работы программного комплекса регистрации подпочвенных газов

Планируется анализировать многомерный ряд, состоящий из следующих параметров, регистрируемых в пункте ИНС [4]:

- 1) концентрация молекулярного водорода в скважине;
- 2) концентрация R_n в зоне аэрации;
- 3) концентрация R_n на поверхности;
- 4) концентрация R_n в скважине.

Получаемые значения концентрации подпочвенных газов с датчиков пункта ИНС загружаются в специализированную базу данных. Далее Web-ресурс, реализованный на основе фреймворка Flask, обрабатывает полученные временные ряды айгеноскопом и строит их графики. В случае выделения реперной точки, подается сигнал тревоги

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №16-05-00162.

Авторы выражают благодарность Будиловой Е.А. за помощь в подготовке статьи.

Список литературы

- [1] 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, 22–31. [Firstov P. P., “Monitoring ob'emnoy aktivnosti podpochvennogo radona (^{222}Rn) na Paratunskoy geotermal'noy sisteme v 1997–1998 gg. s tsel'yu poiska predvestnikov sil'nykh zemletryaseniya Kamchatki”, *Vulkanologiya i seysmologiya*, 1999, №6, 22–31].
- [2] Рудаков В. П., *Динамика полей подпочвенного радона сейсмоактивных регионов СНГ.*, Автореферат на соискание степени доктора физико-математических наук., М., 1992. [Rudakov V. P., *Dinamika poley podpochvennogo radona seysmoaktivnykh regionov SNG.*, Avtoreferat na soiskanie stepeni doktora fiziko-matematicheskikh nauk, M., 1992].
- [3] 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*, **48**:2 (2012), 5–14. [Makarov E. O., Firstov P. P., Voloshin V. N., “Instrumental complex for registration concentration of subsurface gas to find precursory anomalies strong earthquake of Southern Kamchatka”, *Seismic Instruments*, **48**:2 (2012), 5–14].
- [4] Фирстов П. П., Макаров Е. О., Акбашев Р. Р., “Мониторинг концентрации почвенных газов на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне в связи с прогнозом сильных землетрясений”, *Сейсмические приборы*, **51**:1 (2015), 60–80. [Firstov P. P., Makarov E. O., Akbashev R. R., “Monitoring of the concentration of soil gases on petropavlovsk-kamchatsky geodynamical test site in relation with the forecast of strong earthquakes”, *Seismic Instruments*, **51**:1 (2015), 60–80].
- [5] Фирстов П. П., Макаров Е. О., “Реакция подпочвенного и растворенного в подземных водах радона на изменение напряженно-деформированного состояния земной коры”, *Сейсмические приборы*, **51**:4 (2015), 58–80. [Firstov P. P., Makarov E. O., “Reaction of radon in soil and groundwater to stress-strain state of the earth's crust”, *Seismic Instruments*, **51**:4 (2015), 58–80].
- [6] Любушин А. А., *Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга*, Наука, М., 2007, 228 с. [Lyubushin A. A., *Analiz dannykh sistem geofizicheskogo i ekologicheskogo monitoringa*, Nauka, M., 2007, 228 pp.]
- [7] Дещеревский А. В., Журавлев В. И., А. Н. Никольский, Сидорин А. Я., “Технологии анализа геофизических временных рядов. Часть 1. Требования к программе обработки”, *Сейсмические приборы*, **52**:1 (2016), 62–82. [Desherevskii A. V., Zhuravlev V. I., Nikolsky A. N., Sidorin A. Ya., “Technologies for analysis of geophysical time series. Part 1. Requirements for software”, *Seismic Instruments*, **52**:1 (2016), 62–82].
- [8] Дещеревский А. В., Журавлев В. И., А. Н. Никольский, Сидорин А. Я., “Технологии анализа геофизических временных рядов. Часть 2. WinABD – пакет программ для сопровождения и анализа данных геофизического мониторинга”, *Сейсмические приборы*, **52**:3 (2016), 50–80. [Desherevskii A. V., Zhuravlev V. I., Nikolsky A. N., Sidorin A. Ya., “Technologies for analysis of geophysical time series. Part 2. WinABD - a software package for maintenance and data analysis of geophysical monitoring”, *Seismic Instruments*, **52**:3 (2016), 50–80].
- [9] Isakevich V. V., Isakevich D. V., Grunskaya L. V., *Анализатор собственных векторов и компонент сигналов*, Патент на полезную модель RU 116242. Дата выдачи патента 30.09.2011 г., срок действия патента до 30.09.2021 г. <http://bankpatentov.ru/node/207042>.
- [10] Isakevich V. V., Isakevich D. V., *Сигнализатор значимых отличий*, Патент на полезную модель RU 133642. Дата выдачи патента 05.04.2013 г., срок действия патента до 05.04.2023 г. <http://bankpatentov.ru/node/414199>.
- [11] Isakevich V. V., Isakevich D. V., Grunskaya L. V., Firstov P. P., *Сигнализатор изменений главных компонент*, Патент на полезную модель RU 141416. Дата выдачи патента 22.10.2013 г., срок действия патента до 22.10.2023 г..
- [12] Isakevich V. V., Firstov P. P., Isakevich D. V., Grunskaya L. V., Makarov E. O., “Использование методики дискриминантных функционалов для выявления реперных точек во временных рядах концентратов почвенного радона на сети пунктов Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона”, *Проблемы комплексного*

geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii, Trudy Chetvertoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Petropavlovsk-Kamchatskiy. 29 sentyabrya-5 oktyabrya 2013 g, GS RAN, Obninsk, 2013, 59–63.

- [13] Chebrov V. N., Kugaenko Yu. A., Abubakirov I. R. et al., “The January 30th, 2016 earthquake with $K_s = 15.7$, $M_w = 7.2$, $I = 6$ in the Zhupanovsky region (Kamchatka). Bulletin of Kamchatka Regional Association «Educational-Scientific Center», *Earth Sciences*, **29**:1 (2016), 5–16.
- [14] Фирстов П. П., Макаров Е. О., Глухова И. П., “Особенности динамики подпочвенных газов перед Жупановским землетрясением 30.01.2016 г. с $M = 7.2$ (Камчатка)”, *ДАН*, **472**:4 (2017), 462–465. [Firstov P. P., Makarov E. O., Glukhova I. P., “Peculiarities of subsoil gas dynamics before the $M 7.2$ Zhupanovo earthquake of January 30, 2016, Kamchatka”, *Doklady Earth Sciences*, **472**:2 (2017), 196–199].

Список литературы (ГОСТ)

- [1] 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.
- [2] Рудаков В. П. Динамика полей подпочвенного радона сейсмоактивных регионов СНГ. Автореферат на соискание степени доктора физико-математических наук. М.: 1992 .
- [3] 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. Т. 48. № 2. С. 5–14.
- [4] Фирстов П. П., Макаров Е. О., Акбашев Р. Р. Мониторинг концентрации почвенных газов на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне в связи с прогнозом сильных землетрясений // *Сейсмические приборы*. 2015. Т. 51. №1. С. 60–80.
- [5] Фирстов П. П., Макаров Е. О. Реакция подпочвенного и растворенного в подземных водах радона на изменение напряженно-деформированного состояния земной коры // *Сейсмические приборы*. 2015. Т. 51. №4. С. 58–80.
- [6] Любушин А. А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука. 2007. 228 с.
- [7] Дещеревский А. В., Журавлев В. И., А. Н. Никольский, Сидорин А. Я. Технологии анализа геофизических временных рядов. Часть 1. Требования к программе обработки // *Сейсмические приборы*. 2016. Т. 52. № 1. С. 62–82.
- [8] Дещеревский А. В., Журавлев В. И., А. Н. Никольский, Сидорин А. Я. Технологии анализа геофизических временных рядов. Часть 2. WinABD — пакет программ для сопровождения и анализа данных геофизического мониторинга // *Сейсмические приборы*. 2016. Т. 52. № 3. С. 50–80
- [9] Исакевич В. В., Исакевич Д. В., Грунская Л. В. Анализатор собственных векторов и компонент сигналов. Патент на полезную модель RU 116242. Дата выдачи патента 30.09.2011 г., срок действия патента до 30.09.2021 г. <http://bankpatentov.ru/node/207042>.
- [10] Исакевич В. В., Исакевич Д. В. Сигнализатор значимых отличий. Патент на полезную модель RU 133642. Дата выдачи патента 05.04.2013 г., срок действия патента до 05.04.2023 г. <http://bankpatentov.ru/node/414199>.
- [11] Исакевич В. В., Исакевич Д. В., Грунская Л. В., Фирстов П. П. Сигнализатор изменений главных компонент. Патент на полезную модель RU 141416. Дата выдачи патента 22.10.2013 г., срок действия патента до 22.10.2023 г.
- [12] Исакевич В. В., Фирстов П. П., Исакевич Д. В., Грунская Л. В., Макаров Е. О. Использование методики дискриминантных функционалов для выявления реперных точек

во временных рядах концентрации почвенного радона на сети пунктов Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России // Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября-5 октября 2013 г. Обнинск: ГС РАН. 2013. С. 59–63.

- [13] Чебров В. Н., Кугаенко Ю. А., Абубакиров И. Р., и др. Жупановское землетрясение 30.01.2016 г. с $K_s=15.7$, $M_w=7.2$, $I=6$ (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. Т. 29. №1. С. 5–16.
- [14] Фирстов П. П., Макаров Е. О., Глухова И. П. Особенности динамики подпочвенных газов перед Жупановским землетрясением 30.01.2016 г. с $M = 7.2$ (Камчатка) // ДАН. 2017. Т. 472. №4. С. 462–465.

Для цитирования: Фирстов П. П., Исакевич Д. В., Исакевич В. В., Будилов Д. И., Е. О. Макаров, Грунская Л. В. Выделение методом айгеноскопии предвестниковых аномалий Жупановского землетрясения 30 января 2016 г. с $M_w=7.2$ и глубиной очага 171 км (Камчатка) // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2017. № 4(20). С. 109-120. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-109-120

For citation: Firstov P. P., Isakevich D. V., Isakevich V. V., Budilov D. I., Makarov E. O., Grunskaya L. V. Detection precursory anomalies of Zhupanovsky earthquake on January 30, 2016 with $M_w = 7.2$ and a depth of focus 171 km (Kamchatka) by eigenoscopy method, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2017, **20**: 4, 109-120. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-109-120

Поступила в редакцию / Original article submitted: 08.10.2017

MSC 86A17

DETECTION PRECURSORY ANOMALIES OF ZHUPANOVSKY EARTHQUAKE ON JANUARY 30, 2016 WITH $M_W = 7.2$ AND A DEPTH OF FOCUS 171 KM (KAMCHATKA) BY EIGENOSCOPY METHOD¹

**P. P. Firstov¹, D.V. Isakevich^{2,3}, V.V. Isakevich^{2,3,4}, D.I.
Budilov¹, E.O. Makarov¹, L.V. Grunskaya⁴**

¹ Kamchatka Branch of Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, 683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piipa Boulevard 9,

² ООО « BusinessSoftService », 600005, Vladimir, Gorkogo str, 50, Russia, Russia,

³ ООО « Own vector », 600005, Vladimir, Gorkogo str, 50, Russia,

⁴ Vladimir State University, 600000, Vladimir, Gorkogo str, 87, Russia

E-mail: Firstov@emsd.ru

This paper describes application of the eigenoscopy technique for analyzing the collective behavior of soil radon time series in order to detect the precursory anomalies before the deep Zhupanovsky earthquake with $M = 7.2$. Eigenoscope (from English «eigenvector») or «analyzer of eigenvectors and signal components» is a virtual device that allows us to detect the reference points of collective behavior in multidimensional time series. The multidimensional time series (01.08.2015-17.02.2016), obtained at the network of subsoil radon monitoring stations of the Petropavlovsk-Kamchatsky geodynamic test area, are considered. Before the deep earthquake with $M = 7.2$, which occurred at a distance of 120 km from the registration point, a reference point in the dynamics of soil radon, which can be considered as a precursory anomaly, was confidently detected with the help of the eigenoscopy method.

Key words: soil radon, eigenoscopy, reference point, precursory anomaly, earthquake, forecast

© Firstov P. P. et al., 2017

¹The work was carried out with the financial support of the RFBR grant No. 16-05-00162