

**Разработка автоматизированного аппаратурно-программного комплекса для регистрации подпочвенных газов в пункте «Институт» на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне**

*Д.И. Будилов<sup>1</sup>, П.П. Фирстов<sup>1</sup>, Е.О. Макаров<sup>1</sup>, Д.В. Исакевич<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», budilov@emsd.ru*

<sup>2</sup>*Владимирский государственный университет, г. Владимир, Россия*

В работе рассмотрены первые шаги создания аппаратурно-программного комплекса для сети пунктов регистрации радона в подпочвенном воздухе на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне. Описана реализация такого комплекса в наиболее оснащенном пункте «Институт».

### **Введение**

Процессы дегазации Земли неравномерно протекают как в пространстве, так и во времени и в значительной степени контролируются распределением и величиной напряжений в разломах земной коры различной иерархии. Миграция газов в верхней толще земной коры определяется диффузионными и фильтрационными свойствами горных пород, которые зависят от их проницаемости, пористости и трещиноватости. На фильтрационные свойства геосреды также оказывают влияние вариации напряженно-деформированного состояния геосреды, что должно находить отражение в динамике концентрации подпочвенного газа вблизи дневной поверхности [5].

Наиболее технологичным методом в геохимических исследованиях с целью прогноза землетрясений является регистрация радона ( $^{222}\text{Rn}$ ) в подпочвенном воздухе. Поиски связи между содержанием Rn в подпочвенном 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. На Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне, с целью поиска предвестников сильных землетрясений, в 1997 г. начала создаваться сеть пунктов мониторинга подпочвенных газов, которая в настоящее время состоит из 5 пунктов, расположенных в разных геолого-тектонических структурах вблизи Авачинского залива [7].

### **Описание пункта «Институт» (ИНС)**

Наиболее оснащенный в аппаратурном плане пункт ИНС расположен вблизи здания Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН в пределах Петропавловского горста. Он создан на основе скважины глубиной 350 м и состоит из бункера, заглубленного на 2,5 м над оголовком скважины, над которым установлен металлический контейнер [4]. В этом пункте осуществляется регистрация Rn (4 канала),  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , а также температуры и давления как в бункере, так и в контейнере (рис. 1).

В качестве датчиков концентрации Rn используются газоразрядные счетчики (ГС), позволяющие вести регистрацию его концентрации по  $\beta$ -излучению его дочерних продуктов распада [5]. Как показал многолетний опыт, использование ГС обеспечивает большую надежность, что очень важно для непрерывных наблюдений. Проведенные исследования выпускаемых отечественной промышленностью ГС показали, что разброс их чувствительности не превышает  $\sim 10\%$  от паспортной величины. Длительный срок хранения (до 50 лет) и продолжительная эксплуатация мало оказывает влияние на первоначальную чувствительность ГС [1]. С целью повышения

чувствительности, как правило, ГС помещаются в накопительную камеру (оцинкованное ведро, 10 л), которое заглубляется в грунт на глубину от 0.1 до трех метров (рис. 1).

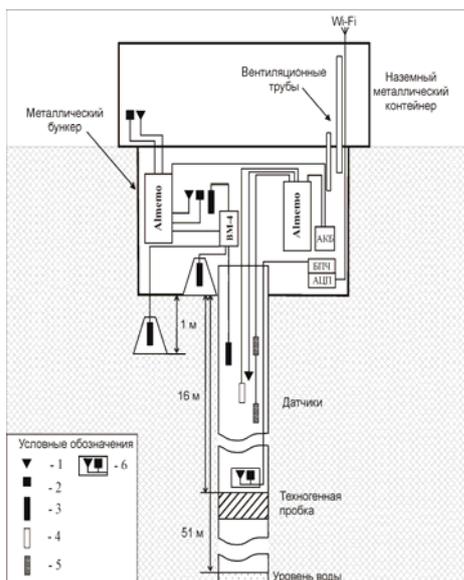


Рис. 1. Схема размещения датчиков в пункте ИНС: 1 – датчик температуры; 2 – датчик давления; 3 – датчик  $\beta$ -излучения; 4 – датчик  $\text{CO}_2$ ; 5 – датчик  $\text{H}_2$ ; 6 – прецизионные датчики температуры и давления. BM-4 – четырехканальный формирователь импульсов для регистрации  $\beta$ -излучения прибором ALMEMO [4].

Дополнительно для прецизионных измерений температуры и давления в стволе скважины на глубине ~15 м в 2014 г. был установлен кварцевый датчик ПДТК-0.1MP, обладающий разрешающей способностью  $0.01^\circ\text{C}$  и  $0.05 \text{ мм рт. ст.}$ . Регистрация через частотомер МЦ-1 производства

ООО «КварцСенс» осуществляется с помощью регистратора JORES, разработанного в КФ ФИЦ ЕГС РАН.

Информация снимается с 11 датчиков концентрации подпочвенных газов и метеорологических величин с помощью современных регистрирующих приборов серии ALMEMO фирмы Ahlborn, которые оборудованы системой интеллектуальных коннекторов, обеспечивающих подключение датчиков различных параметров. Для мониторинга предвестниковых параметров сильных землетрясений южной Камчатки в 2016 начал создаваться автоматизированный аппаратно-программный комплекс с целью получения информации в режиме, близком к реальному времени.

### Описание автоматизированного аппаратно-программного комплекса

В пункте ИНС информация с датчиков поступает на коннекторы двух регистрирующих устройств (ALMEMO: 2590-4S, 2390-8). Оцифровка данных с аналоговых датчиков с частотой дискретизации  $6 \text{ час}^{-1}$  происходит в коннекторах и регистрируется приборами ALMEMO. Импульсные разряды с газоразрядных счетчиков через формирователь импульсов и коннектор (ZA9909AK2U) регистрируются на тех же приборах, что является неоспоримым преимуществом регистраторов ALMEMO. Через COM-порт ALMEMO данные поступают на преобразователь пользовательских интерфейсов (MOXA NPort-5210A) с широким диапазоном рабочей температуры ( $-40..+75^\circ\text{C}$ ) и далее по сети ethernet КФ ФИЦ ЕГС РАН информация передается на сервер сбора данных лаборатории акустического и радонового мониторинга КФ ФИЦ ЕГС РАН. После предварительной обработки, происходит запись текущей информации в базу данных «Полигон» [3] мониторинга подпочвенных газов (рис. 2).

Текущая информация в базе данных обновляется с десятиминутным интервалом и визуализируется на созданном автоматизированном рабочем месте оператора, который может наблюдать за динамикой ОА Rn за десятидневный период. Одновременно со сбором данных выполняется синхронизация системного времени и управление регистрирующими приборами ALMEMO в составе комплексов регистрации концентрации подпочвенных газов [4].

Для разработки программного комплекса был выбран язык программирования

Python. Благодаря простой интеграции с кодом таких низкоуровневых языков как C, C++ и Fortran язык Python отлично подходит для создания приложений обработки данных. При разработке использовались: библиотеки NumPy - как основной пакет для научных расчетов на языке Python (<http://www.numpy.org/>); SciPy - библиотека предназначенная для выполнения научных и инженерных расчетов (<http://www.scipy.org/>); Bokeh - библиотека для интерактивной визуализации потоковых данных (<http://bokeh.pydata.org/en/latest/>); Pandas - библиотека сочетающая высокую производительность при работе с массивами данных и возможность манипулировать ими подобно электронным таблицам (<http://pandas.pydata.org/>).

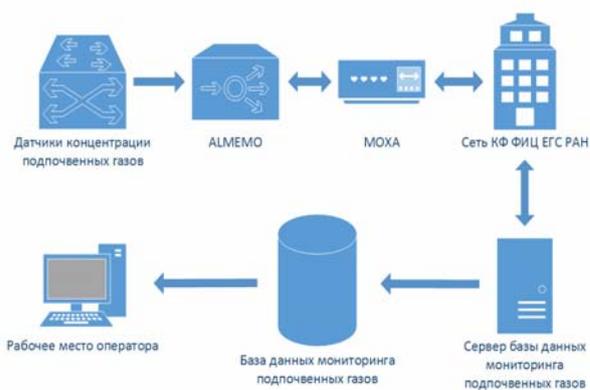


Рис. 2. Блок схема работы автоматизированного аппаратно-программного комплекса с целью мониторинга концентрации подпочвенных газов в пункте ИНС

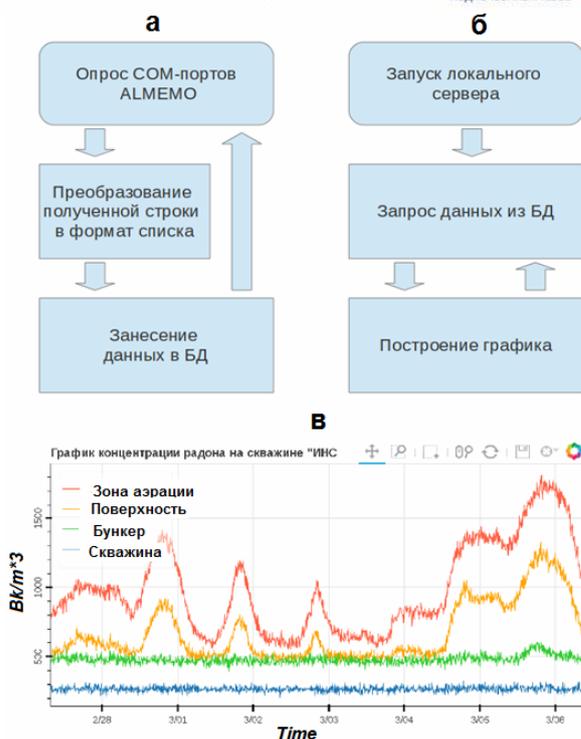


Рис. 3. Блок схема работы программы для автоматизированной регистрации (а) и визуализации (б) подпочвенных газов, экранная форма графиков концентрации радона за период 27.02-8.03.2017 г. (в)

В рабочем режиме программа ожидает ответа с COM-порта ALMEMO. Получив ответ - строку с данными, программа преобразует строку в формат списка и вносит отформатированные данные в базу данных (рис. 3а). Модуль построения графика с интервалом в 10 минут запрашивает данные для построения графика и выводит его на локальном сервере для доступа через Web-запрос (рис. 3б, в).

В дальнейшем с целью автоматизированного выделения предвестниковых аномалий, планируется включение в работу комплекса прикладной программы для выделения предвестниковых аномалий сильных землетрясений. Это предполагается

реализовать на основании методики айгеноскопии, которая позволяет выделять реперные точки коллективного поведения в многомерных рядах [2,7].

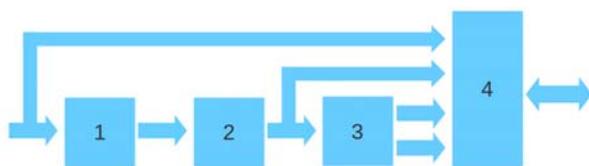


Рис. 4. Схема работы айгеноскопа

Айгеноскоп - анализатор собственных векторов и компонент сигнала - измерительный и исследовательский прибор общего и специального назначения. Его предназначение - визуальный или автоматический анализ исследуемых сигналов и принятие решений с использованием базиса собственных векторов матриц смешанных моментов сигналов [2]. В состав айгеноскопа (анализатор собственных векторов и компонент сигнала) входят: 1 - блок масштабирования; 2 - блок вычисления матрицы смешанных моментов для заданного интервала анализа сигнала; 3 - блок вычисления собственных векторов и собственных значений; 4 - блок вычисления скалярных произведений и анализа признаков (рис. 4).

### Заключение

С целью автоматизации сбора и оперативной обработки данных с сети пунктов регистрации подпочвенных газов на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне в КФ ФИЦ ЕГС РАН ведется разработка аппаратурно-программного комплекса. Разработаны и внедрены отдельные элементы автоматизированного сбора и первичной обработки данных в реальном времени с наиболее оснащенного пункта ИНС.

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

### Список литературы

1. Глухов Ю.А., Васильев А.В., Лукаянов Д.И., и др. Разработка регистрирующей схемы для газоразрядных счетчиков // АНРИ. 2009. № 4 (60). С.33–36.
2. 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>.
3. Копылова Г.Н., Латыпов Е.Р., Пантюхин Е.А. Информационная система "Полигон": комплекс программных средств для сбора, хранения и обработки данных геофизических наблюдений / Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Матер. междунар. геофиз. конф. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. С. 393-399.
4. 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. 2-10
5. Рудаков В.П. Динамика полей подпочвенного радона сейсмоактивных регионов СНГ: Автореф. дис... докт. физ.-мат. наук. М. 1992 г. 46 с.
6. Фирстов П.П., Исакевич В.В., Макаров Е.О., Исакевич Д.В., Грунская Л.В. Применение методики айгеноскопии для поиска предвестников сильных землетрясений в поле почвенного радона ( $^{222}\text{Rn}$ ) на Камчатке (август 2012 – август 2013 гг.) // Сейсмические приборы. 2014. Т. 50. № 3, С. 63-75.
7. Фирстов П.П. Мониторинг объемной активности подпочвенного радона ( $^{222}\text{Rn}$ ) на Паратунской геотермальной системе в 1997–1998 гг. с целью поиска предвестников сильных землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С. 33–43.