

РАЗВИТИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕТИ СТАНЦИЙ МОНИТОРИНГА ПОЧВЕННЫХ ГАЗОВ

Макаров Е.О., Фирстов П.П.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ice@emsd.ru

ВВЕДЕНИЕ

Для осуществления непрерывного мониторинга различных параметров геосреды, способных, в своей совокупности, выступать в качестве краткосрочных предвестников сильных землетрясений большая роль принадлежит геохимическому методу, который получил большое развитие, как в РФ, так и за рубежом [3, 10, 12, 13].

Многочисленные данные свидетельствуют о наличии в определенных геологических структурах субвертикальных потоков газов из высокотемпературных областей в литосферу и далее в тропосферу. Причем одновременно с глубинными потоками молекулярного водорода вблизи дневной поверхности в рыхлых отложениях идет миграция радиоактивного газа радона [2]. Изменение напряженно-деформированного состояния геосреды, как правило, находит отражение в динамике почвенных газов. На Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне в течение последнего десятилетия ведется мониторинг ^{222}Rn и молекулярного водорода в почвенном воздухе с целью поиска предвестников сильных землетрясений Южной Камчатки [7, 10, 11]. Регистрация ^{222}Rn с начала создания сети велась с помощью радиометра «РЕВАР» (регистратор вариаций радона), в основу которого положен принцип пассивной регистрации продуктов распада ^{222}Rn по β -излучению, предложенный В.П. Рудаковым [6].

В век бурного развития, как регистрирующей аппаратуры, так и телекоммуникационных связей, происходит непрерывная модернизация и совершенствование систем сбора геофизической информации. В современных программно-аппаратных комплексах для регистрации многопараметрических систем в условиях автономности необходима комплектация аппаратных блоков с возможностью их работы, как в автономном режиме, так и с передачей данных по радиотелеметрическим каналам. В настоящее время сеть мониторинга почвенных газов укомплектовываются универсальной унифицированной аппаратурой ALMEMO фирмы Ahlborn с возможностью удаленного управления, синхронизацией системного времени и получением оперативной информации о содержании почвенных газов в реальном времени по каналам сети GSM. Модернизация сети даст возможность обрабатывать информацию в режиме реального времени, что должно повысить оперативность выделения предвестниковых аномалий и эффективность прогнозирования сильных сейсмических событий района Южной Камчатки с $M > 5.5$.

На рис. 1 показана схема размещения пунктов мониторинга почвенных газов на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне.

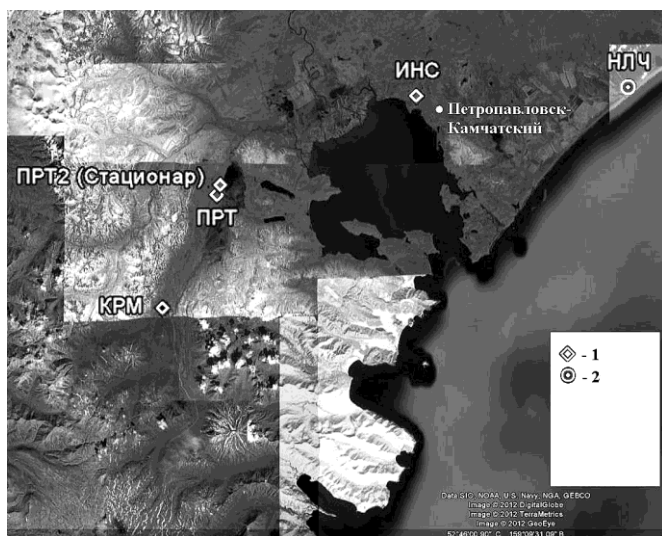


Рис. 1. Схема размещения пунктов регистрации концентрации почвенных газов на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне. 1 – пункты, оснащенные регистрирующими устройствами ALMEMO; 2 – пункты, оснащенные радиометрами РЕВАР. НЛЧ – застава «Налычево»; ИНС – скважина вблизи здания ИВиС; ПРТ2 – Геотермальный стационар ИВиС в пос. Паратунка; ПРТ – долина ручья «Коркина», пос. Паратунка; КРМ – район р. Карымшина.

ОПИСАНИЕ АППАРАТУРНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПОЧВЕННЫХ ГАЗОВ

Основными устройствами для накопления информации о концентрации почвенных газов в пунктах мониторинга являются регистрирующие устройства семейства ALMEMO. Они оборудованы системой интеллектуальных коннекторов, позволяющих подключать датчики, регистрирующие более 65 различных параметров.

Блок схема аппаратного комплекса на базе регистратора ALMEMO-2690-8 приведена на рис. 2.

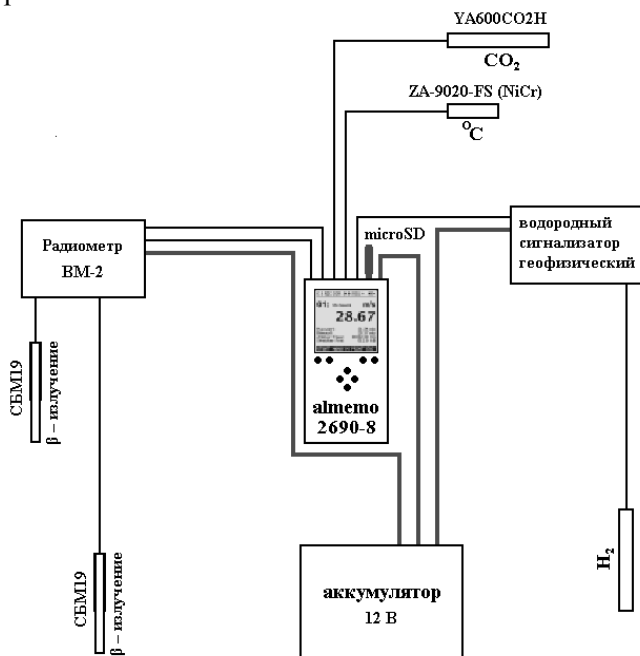


Рис. 2. Блок схема аппаратного комплекса для регистрации концентрации почвенных газов.

Регистрирующие устройства ALMEMO имеют от 4 до 8 изолированных измерительных входов, часы реального времени и емкость встроенной памяти 512 кБ. Память может быть расширена с помощью внешнего модуля с использованием карт памяти формата microSD. Два выходных разъема позволяют подключить любой выходной модуль ALMEMO, например, аналоговый выход, цифровой интерфейс, триггерный вход или контакты сигнализации. Несколько регистрирующих устройств могут быть объединены в сеть с использованием специального сетевого кабеля. Для синхронизации ALMEMO с ПК прилагается специальная программа под названием «AMR control», которая дает возможность

управлять регистрирующим устройством, импортировать измеренные данные в различных форматах, а так же осуществлять настройку прибора и запись данных прямо на ПК. Потребляемый ток в режиме измерений с подключенным датчиком углекислого газа составляет в среднем 260 мА. Напряжение питания 7-13 В постоянного тока.

Все данные, получаемые и накапливаемые регистраторами ALMEMO, являются хорошо детализированными. Это связано с возможностью регистратора задавать время дискретизации от одной секунды до десятков часов и сравнительно большим объемом долговременной энергонезависимой памяти для хранения данных.

Датчик углекислого газа. Используемый датчик углекислого газа фирмы Ahlborn (FYA600CO2H) представляет собой компактное устройство для мобильного и стационарного применения. Работа датчика основана на принципе двухканального инфракрасного поглощения. Диапазон измерений составляет от 0 до 10 000 ppm. При нормальных условиях точность измерения концентрации CO₂ от 0 до 5000 ppm $\pm(50 \text{ ppm} + 2\% \text{ от измеренной величины})$, а от 5000 до 10 000 ppm $\pm(100 \text{ ppm} + 3\% \text{ от измеренной величины})$. Нормальными условиями работы датчика являются температура $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ и влажность не более 50%. Разрешающая способность датчика один ppm. Измерять величину углекислого газа можно при температуре окружающего воздуха от 0 до $+50 \text{ }^\circ\text{C}$ и влажности от 0 до 90%. Для своей работы датчик требует источника напряжения от 6,5 до 12 вольт постоянного тока и может быть запитан от регистратора ALMEMO. Энергопотребление датчика $\sim 40 \text{ mA}$. Датчик подключается к регистрирующему устройству с помощью кабеля длиной 1,5 м, но может быть применен удлинитель до 5 м.

Водородный геофизический сигнализатор. Водородный геофизический сигнализатор ВСГ-02 предназначен для непрерывных наблюдений за вариациями концентрации водорода в почвенном воздухе. Он состоит из чувствительного элемента (ЧЭ), первичного электронного преобразователя (ПП) и электронного блока включения сеансного режима работы. Для проведения измерений блок ПП вместе с ЧЭ помещаются в скважину или шурф. Отбор анализируемой воздушной пробы на ЧЭ происходит диффузионно. Блок ПП преобразует изменения емкости ЧЭ под действием вариаций концентрации H₂ в напряжение [1].

Диапазон измеряемых концентраций водорода в воздухе лежит в пределах 0.5-50 ppm. Разрешающая способность 0.5 ppm. Относительная погрешность измерений не превышает 20%. Потребляемый ток в режиме измерений составляет 120 мА. Напряжение питания 12 В постоянного тока. Водородный геофизический сигнализатор подключается к прибору ALMEMO с помощью коннектора марки ZA 9600-FS3V12.

Датчик температуры ZA-9020-FS. В качестве датчика температуры используется термопара (NiCr-Ni) тип К. Диапазон измерений температуры лежит в пределах от -200 °С до 1370 °С. Разрешающая способность 0.1 С.

Регистраторы β - излучения – ВМ-4, ВМ-2. Эти регистраторы, разработанные и изготовленные в лаборатории акустического и радонового мониторинга Камчатского филиала Геофизической службы РАН, предназначены для регистрации β - излучения при распаде ^{222}Rn и его короткоживущих продуктов с помощью газоразрядных счетчиков СБМ-19 или СТС-5. Отдельные кванты ионизирующего излучения в виде преобразованных регистратором ВМ-2 (ВМ-4) импульсов подаются на регистрирующее устройство ALMEMO, через коннектор ZA 9909-AK2U, позволяющий регистрировать до 65000 импульсов в секунду.

Газоразрядные счетчики являются самыми распространенными детекторами γ - β -излучений. Высокая чувствительность счетчиков позволяет регистрировать отдельные кванты ионизирующего излучения, а большой выходной сигнал легко регистрируется пересчетными схемами. Проведенные исследования газоразрядных счетчиков СТС-5 и СБМ-20, выпускаемых отечественной промышленностью, показали, что разброс их чувствительности не превышает $\pm 10\%$ от их паспортной величины. Длительный срок хранения (до 50 лет) и продолжительная эксплуатация не оказывают влияние на первоначальную чувствительность счетчика, изготовленного без нарушения технологического процесса [3]. Все это позволяет вести регистрацию концентрации ^{222}Rn в почвенном воздухе с высокой степенью надежности и достаточно простой метрологией.

Регистрация количества импульсов, отсчет времени и запись данных в модуль памяти происходит на приборе ALMEMO. Потребляемый ток в режиме измерений составляет 10 мА. Питание радиометра осуществляется от аккумуляторной батареи или любого источника питания постоянного тока напряжением +12 В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПУНКТОВ МОНИТОРИНГА ПОЧВЕННЫХ ГАЗОВ

В настоящее время удаленные пункты мониторинга почвенных газов оснащаются оборудованием, позволяющим получать данные в режиме реального времени. С помощью модема ZA1709-GSM регистрирующие устройства ALMEMO могут передавать информацию по сети GSM. Этот модем представляет собой компактное устройство для мобильного и стационарного применения. Для управления модемом используется набор AT-Наyes команд для GSM (ETSI стандарт для GSM 07.07/07.05). Скорость передачи данных 9600 бод. Интерфейс подключения RS232 с использованием девятиконтактного SUB-D разъема ALMEMO. Для своей работы модем требует источника напряжения от 11 до 31 В постоянного тока. Энергопотребление модема в режиме передачи данных 325 мА, в режиме ожидания 47 мА. Диапазон рабочих температур от -20 до +70 °С. Для работы модема требуется sim-карта GSM-стандарта любого сотового оператора, представленного в регионе и наличие покрытия беспроводной сетью оператора в районе расположения пункта регистрации почвенных газов. В центре обработки данных с помощью аналогичного модема, подключенного к персональному компьютеру, можно принимать и сохранять информацию, управлять устройством ALMEMO, синхронизировать его внутренние часы.

Стационарные пункты, на которых есть наземное телефонное соединение, и имеется возможность подключения DSL, могут быть оборудованы Ethernet соединением ALMEMO с помощью кабеля ZA 1945-DK. Данный кабель предназначен для подключения устройства ALMEMO непосредственно к компьютерной сети Ethernet. Связь с устройством может быть осуществлена с помощью технологии aDSL (A – Asymmetric – асимметричная цифровая пользовательская линия), используемой в традиционных телефонных сетях общего пользования (PSTN – Public Switched Telephone Network). С помощью такого соединения возможно удаленное управление устройством, синхронизация времени на всех устройствах и получение данных в режиме реального времени. Преимущество такого способа связи заключается в более надежном и помехоустойчивом соединении, но оно не может быть использовано при отсутствии наземных телефонных линий.

РАБОТА СЕТИ СТАНЦИЙ МОНИТОРИНГА КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЧВЕННЫХ ГАЗОВ

В качестве иллюстрации работы сети станций мониторинга почвенных газов рассмотрим динамику поведения объемной активности R_n (OA R_n) в период 1 – 17 октября 2012 г. В этот период в районе Авачинского залива 15 октября 2012 г. произошло землетрясение с $M=5.6$ и эпицентральной расстоянием 140 км до опорного пункта ПРТ, которое имело отражение в поле почвенного радона.

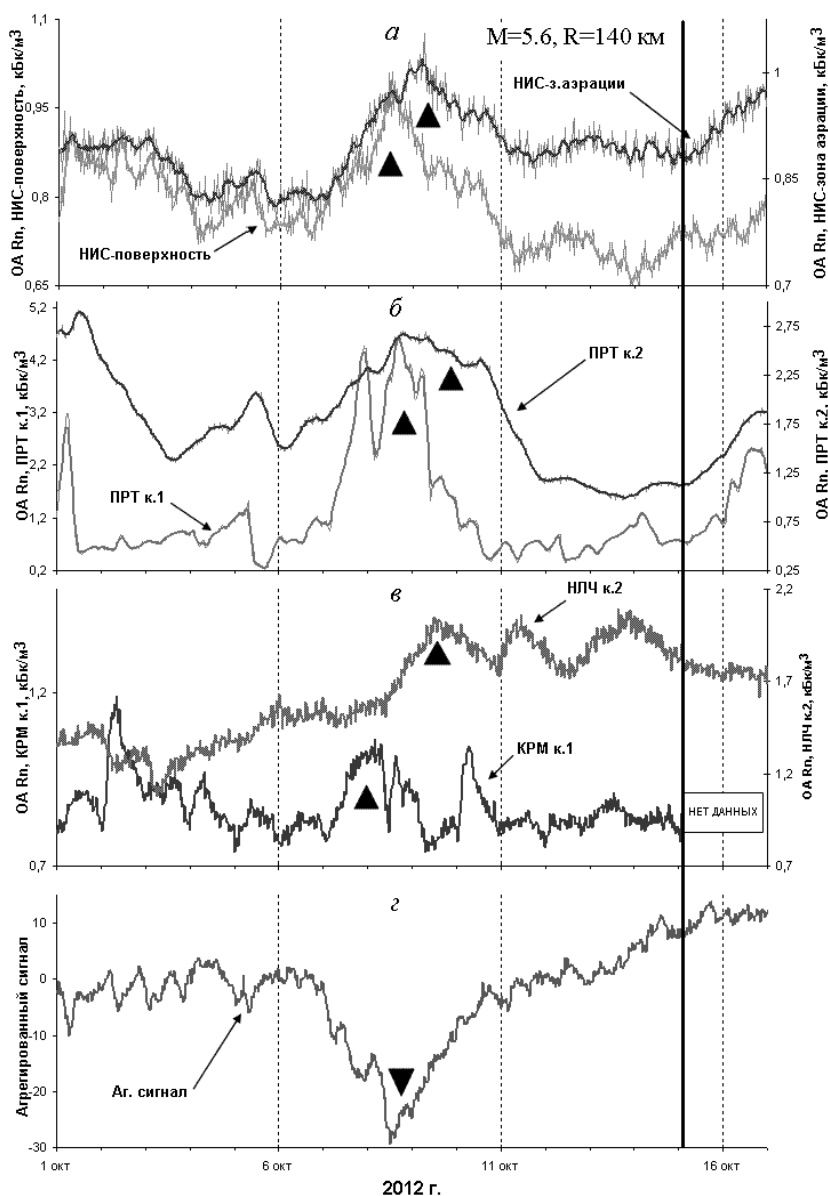


Рис. 3. Динамика OA R_n в пунктах сети: *а* – НИС (зона аэрации, поверхность); *б* – ПРТ, к.1, к.2; *в* – НЛЧ, КРМ; *г* – агрегированный сигнал, построенный по десяти временным рядам данных. Треугольником отмечена фазовая корреляция сигналов. Тонкими серыми линиями показаны данные после барокомпенсации, жирной линией отображены данные после осреднения скользящим средним. Сплошной вертикальной линией отмечен момент возникновения землетрясения 15.10.2012 г. с $M = 5.6$ и эпицентральной расстоянием до опорного пункта ПРТ $R=140$ км.

В динамике OA R_n в период с 7 по 11 октября на всех пунктах выделяются положительные бухтообразные возмущения, свидетельствующие об увеличении OA R_n (рис. 3). С целью выявления общих элементов поведения в динамике OA R_n на основе десяти рядов данных построен агрегированный сигнал для многомерного ряда по методике [4], на котором достаточно четко выделяется аномалия 7-11 октября, превосходящая фон более чем на порядок (рис. 3г).

С целью выделения вступления аномалии на каждой станции и определения времени их запаздывания относительно первого пункта (ИНС) выполнялась барокомпенсация на флуктуации атмосферного давления и фильтрация колебаний, обусловленных суточным ходом температуры. По максимуму коэффициента кросс-корреляции между временными рядами пунктов, образующих треугольник с апертурой ~ 45 км, определялась разность вступлений бухтообразных возмущений, как это делалось ранее [5, 8].

При допущении плоского фронта возмущения («геодеформационная волна»), распространяющегося с постоянной скоростью, рассчитывался азимут на источник волны, который составил 140° , что удовлетворительно совпадает с направлением на эпицентр землетрясения. При этом кажущаяся скорость распространения фронта «геодеформационной волны» оценена в 104 км/сут.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне в пунктах мониторинга почвенных газов выполняется модернизация приборной базы. Устаревшие радиометры «РЕВАР» заменяются на комплексы для регистрации концентрации почвенных газов на базе аппаратуры фирмы ALMEMO. Комплекс позволяет вести регистрацию концентрации почвенного ^{222}Rn по β -излучению, а также регистрировать концентрацию молекулярного водорода с помощью водородного сигнализатора геофизического (ВСГ) и метеорологические величины. За несколько лет эксплуатации комплексы показали высокую надежность при работе в среде с высокой влажностью.

Регистрирующие приборы ALMEMO позволяют регистрировать одновременно различные параметры (количество импульсов, концентрацию CO_2 и H_2 , атмосферное давление и температуру) и имеют возможность передачи информации в обрабатывающий центр в режиме реального времени, что планируется реализовать в ближайшее время на пунктах КРМ и ПРТ. Разнообразие датчиков и полученные с их помощью комплексные данные дают возможность более глубоко понять динамику процесса массопереноса геогаза в рыхлых пористых отложениях и выявить механизмы перестройки свойств пористой среды, состояние которой влияет на массоперенос. Результатами исследований, проводимых с помощью автоматизированных комплексов, должно стать более глубокое понимание процессов, происходящих в земной коре, выявление аномалий, способных выступать в качестве надежных краткосрочных предвестников, что должно существенно повысить эффективность прогноза сильных землетрясений Южной Камчатки.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 12-05-31319/12 «мол_а».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. *Быковский Ю.А., Козленков В.П., Николаев И.Н., Уточкин Ю.А.* Высокостабильный водородный сенсор на основе МДП-структуры. М.: Метрология. 1991. С. 30.
2. *Войтов Г.И.* К проблеме водородного дыхания Земли // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. М.: ГЕОС, 2002. С. 24-30.
3. *Глухов Ю.А., Васильев А.В., Лукьянов Д.И., Липовский Д.Д., Федосеев В.М.* Разработка регистрирующей схемы для газоразрядных счетчиков // АНРИ. 2009. № 4 (60). С. 33-36.
4. *Любушин А.А. (мл).* Агрегированный сигнал систем низкочастотного геофизического мониторинга // Физика Земли, 1998. №1. С. 69–74.
5. *Макаров Е.О.* Динамика подпочвенного радона на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне перед сильными землетрясениями с $M > 5,5$ района Авачинского залива. XIII Уральская молодежная научная школа по геофизике 23–27 апреля 2012 г. Сборник докладов. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2012. С. 125–127.
6. *Рудаков В.П.* Динамика полей подпочвенного радона сейсмоактивных регионов СНГ // Автореферат на соискание степени доктора физико-математических наук. М. 1992.
7. *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. 1-11.
8. *Фирстов П.П., Макаров О.Е., Малышева О.П.* Отражение в динамике почвенного радона на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне последней стадии подготовки землетрясений с магнитудой больше 5.5 района Авачинского залива. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 154–158.
9. *Фирстов П.П., Рудаков В.П.* Результаты регистрации подпочвенного радона в 1997-2000 гг. на Петропавловск - Камчатском геодинамическом полигоне // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 26-41.
10. *Фирстов П.П., Широков В.А.* Динамика молекулярного водорода и ее связь с геодеформационными процессами на Петропавловск - Камчатском геодинамическом полигоне по данным наблюдений в 1999 – 2003 гг. // Геохимия. 2005. № 9. С. 29-43.
11. *Фирстов П.П., Широков В.А., Руленко О.П., Яковлева В.С., Исаев А.В., Малышева О.П.* О связи динамики подпочвенного радона (^{222}Rn) и водорода с сейсмической активностью Камчатки в июле – августе 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 5. С. 49-59.
12. *Фирстов П.П., Пономарев Е.А., Чернева Н.В., Бузевич А.В., Малышева О.П.* К вопросу влияния баровариаций на поступления радона в атмосферу // Вулканология и сейсмология. 2007. № 6. С. 46-53
13. *Уткин В.И., Юрков А.К.* Радон и проблема тектонических землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1997. № 4. С. 82-94.