

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Чебров В.Н.¹, Близнецов В.А.¹, Дроздин Д.В.¹, Дроздина С.Я.¹, Кугаенко Ю.А.¹,
Мельников Д.В.², Муравьев Я.Д.², Нуржидина И.Н.¹, Сеньюков С.Л.¹, Сергеев В.А.¹,
Сероветников С.С.¹, Титков Н.Н.¹, Фирстов П.П.¹, Ящук В.В.¹**

¹Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, chebr@emsd.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

На Камчатке насчитывается более 7000, а на Курильских островах – более 800 вулканических построек разных типов, размеров, возраста и сохранности, возникших за последние 2-2.5 млн. лет. Из них более 80 - действующие и потенциально активные вулканические образования, для которых установлено и датировано хотя бы одно извержение за последние 3000-3500 лет. Среди них многоактные вулканы, кальдеры, поля ареального вулканизма, подводные эруптивные центры и пр.

Извержения вулканов могут сопровождаться опасными процессами: образованием пепловых выбросов, палящих туч, пирокластических, грязекаменных и лавовых потоков. Многие активные вулканические образования в той или иной степени представляют угрозу для населенных пунктов Камчатки и Курильских островов, а пепловые выбросы, которые часто поднимаются до высоты 10-20 км, являются опасными для авиации.

В последнее десятилетие наблюдается усиление вулканической активности в Курило-Камчатской вулканической зоне. Так в 2012-2013 гг. в стадии извержения или повышенной активности находились вулканы Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Толбачик, Кизимен, Карымский и Горелый на Камчатке, а на Курилах - вулканы Алаид на о. Атласова, Иван Грозный на о. Итуруп, Сноу на о. Чирпой, Чиринкотан на о. Чиринкотан.

На вулканах Камчатки первые наблюдения за сейсмичностью были организованы в пос.Ключи в 1946 г., а непрерывный сейсмический мониторинг за активностью вулканов осуществляется с различной детальностью с 1961-1962 гг. В конце XX века для мониторинга стали привлекаться спутниковые данные, а с 2000 г. – данные видеонаблюдений с использованием цифровых видеокамер с точной привязкой по времени.

Имеющаяся наблюдательная система хорошо зарекомендовала себя в последние десятилетия: были успешно предсказаны извержения вулканов Ключевского, Безымянного, Кизимена, по сейсмическим данным в ноябре 2012 г. идентифицировано начало нового Толбачинского извержения, ведется распознавание и оценка высоты пепловых выбросов. Однако мировой опыт и современные тенденции мониторинга требуют расширения частотного и динамического диапазона наблюдательных систем и комплексного подхода: привлечения для слежения за вулканами акустических, деформационных, электромагнитных и других видов наблюдений.

В настоящее время в рамках федеральной целевой программы (ФЦП) «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года» выполняются работы по созданию первой очереди системы комплексного мониторинга состояния вулканов Дальневосточного региона (СКМВ) и ведется разработка ее научно-методического обеспечения [4]. При этом делается упор на технологии автоматизированной оценки вулканической активности и оперативность передачи информации. Цель – повышение эффективности и оперативности прогнозов вулканической опасности на основе комплексного дистанционного мониторинга для обеспечения безопасности населения и полетов авиации в районах вулканической активности.

Исходными посылами для проведения работ являются:

- региональные и локальные сети сейсмологических наблюдений на территории Камчатки и Курильских островах;
- данные сейсмологических наблюдений и результаты их обработки;
- опыт сейсмического, визуального и спутникового мониторинга действующих вулканов Камчатки и Курильских островов;

- отечественный и зарубежный опыт работ в области создания и эксплуатации систем мониторинга вулканической активности на базе сейсмических, видео и визуальных, спутниковых, акустических и других наблюдений, а также дистанционных наблюдений концентрации вулканических газов.

Создающаяся СКМВ в значительной мере ориентирована на использование и модернизацию уже имеющейся инфраструктуры мониторинга и включает следующие структурные компоненты:

- региональные сейсмические станции ГС РАН;
- специализированные пункты наблюдений за вулканами (ПНВ), оснащенные техническими и программными средствами каналов связи для передачи данных наблюдений в реальном масштабе времени;
- информационно-обрабатывающие центры (ИОЦ) данных комплексных наблюдений с коммуникационной системой сбора информации.

Программно-технические комплексы (ПТК) ПНВ предназначены для автоматической цифровой регистрации параметров физических полей, в которых проявляются различные происходящие на вулканах природные явления, для сбора и передачи данных в режиме реального времени. Архитектура ПНВ предполагает различные варианты комплектации оборудования пункта. Предусмотрены стационарные и автономные пункты (ПНВ-С и ПНВ-А). ПНВ-С располагаются в населенных пунктах на стационарах ГС РАН, где возможно использование централизованных сетей электропитания, существующей инфраструктуры связи, оперативный контроль работы пункта местным персоналом. ПНВ-С могут включать в себя локальный центр сбора и обработки данных с ряда автономных ПНВ-А, установленных на склонах активных вулканов.

При проектировании ПНВ выделяются четыре типа систем, входящих в подобные ПТК:

1. Система сбора первичных данных (преобразование аналоговых сигналов в цифру, синхронизация данных пункта с мировым временем (UTC), буферизация данных).
2. Система передачи данных (каналообразующее оборудование).
3. Система питания (солнечные панели, аккумуляторы, контроллеры заряда/разряда аккумуляторов).
4. Система контроля и управления оборудованием пункта (удаленный мониторинг, watchdog).

Система сбора первичных данных. При разработке и создании системы сбора первичных данных были решены проблемы, связанные с различными типами и форматами передаваемых данных, с различными типами интерфейсов и протоколов. Предложена модель сбора и передачи данных, которая включает оцифровку исходных аналоговых данных, инкапсуляцию в IP пакеты, прикладной (SEEDLINK, LISS) и сетевой (Ethernet, PPP) протоколы передачи данных (протокол TCP/IP). В различных приборах используются различные уровни реализации данной модели, от простейших с аналоговым выходом до совершенных с собственным сетевым протоколом передачи данных. Поэтому при решении задачи создания комплексного пункта все оборудование разделено на типы по уровню реализации представленной модели, а затем для каждой группы приборов создаются недостающие звенья. Предполагается использовать три типа оборудования: (1) полностью аналоговое (микробарограф, наклономер, газоанализатор и пр.); (2) цифровое с асинхронным портом (велосиметр CMG-6TD, метеостанция, контроллер заряда аккумуляторов); (3) сетевое (акселерометр CMG-5TD, видеокамера AXIS-1346E, GPS приемник).

Для первого типа оборудования аналоговые данные с первичных датчиков либо измерительных приборов подаются на входы АЦП DM24, где оцифровываются, синхронизируются к единому времени (с помощью GPS) и в собственном формате (SEEDLINK) передаются по каналам передачи данных на сервер сбора и первичной буферизации данных.

Для второго типа оборудования используются цифровые входы (RS232) DM24 для прозрачной двунаправленной передачи асинхронных двоичных данных. Асинхронные данные инкапсулируются в IP пакеты и передаются по глобальным сетям в центр сбора и управления.

Третий тип оборудования уже имеет сетевой интерфейс, поддерживает протокол TCP/IP, имеет собственный прикладной протокол передачи данных. Данное оборудование подключается напрямую к каналообразующему оборудованию передачи данных.

Дополнительно в систему сбора данных может входить специализированный первичный буфер, обеспечивающий буферизацию получаемых на станции данных на необходимую глубину и обеспечивающий как собственные протоколы передачи данных реального времени, так и интерфейс запроса данных из буфера. Наличие такого буфера обезопасит работу станции от возможной потери данных при возможных авариях на каналах передачи данных.

Система передачи данных. Для обмена данными внутри комплексного пункта используется локальная сеть ПНВ, которая построена по технологии Ethernet. Основной протокол передачи данных ТСР/ІР. Для локального контроля и управления оборудованием пункта предусматривается возможность подключения внешнего технологического сетевого оборудования. Для передачи данных между комплексным пунктом и центром сбора может использоваться различное каналообразующее оборудование: беспроводное (WIFI) и спутниковое (VSAT). При выборе оборудования предъявляются повышенные требования к его надежности. При проектировании и монтаже каналообразующего оборудования принимаются специальные меры для защиты антенно-фидерной системы от ветровых нагрузок и осадков.

Система питания ПНВ имеет первостепенное значение. Отсутствие централизованного электропитания при создании автономных пунктов ПНВ-А накладывает жесткие ограничения на допустимую потребляемую мощность используемого в составе пункта оборудования. Основной используемый источник питания солнечные панели. Аккумуляторы используются для накопления выработанной панелями энергии. Управляет процессом заряда и разряда аккумуляторов специализированный контроллер. Циклический режим работы – зарядка аккумуляторов днем и разрядка ночью – требуют постоянного контроля этого процесса, так как возможны и недозарядки и связанные с этим аварийные отключения. Для недопущения подобных ситуаций предусматриваются технические и программные возможности не только контролировать состояние источника питания пункта, но и удаленно управлять подключенной нагрузкой, вплоть до перевода станции в режим энергосбережения.

Система контроля и управления ПНВ должна обеспечить контроль основных параметров внешней среды (температура, влажность, затопление, вскрытие охранного контура станции), параметрами источника питания (напряжение, потребляемый ток), параметрами канала передачи данных (постоянное пингование удаленного сетевого ресурса). Система должна иметь возможность управлять подключенными к источнику питания приборами. Программное обеспечение системы контроля и управления должно самостоятельно принимать решение по перезагрузке каналообразующего оборудования в случае потери связи с центром сбора и управления. Конструкция системы контроля и управления должна содержать в своем составе элементы, автоматически перезагружающие данную систему в случае возможного зависания (Watchdog).

Центр сбора и обработки данных наблюдений представляет собой специализированную локальную сеть, имеющую выходы на внешние каналы передачи данных операторов связи: DSL - Ростелеком, VSAT - Сетьтелеком, WIFI – беспроводная сеть технологической связи.

В настоящее время организованы и запущены в эксплуатацию первые пункты комплексных наблюдений за вулканами, которые созданы на базе имеющейся инфраструктуры КФ ГС РАН. В районе Северной группы вулканов создано два ПНВ-С на базе стационаров КФ ГС РАН в поселках Ключи и Козыревск, которые совмещены с приемными центрами радиотелеметрической сети сейсмических станций (РТСС). Проработаны технические и технологические вопросы размещения оборудования ПНВ-С при их совмещении с приемными центрами РТСС и их развития в центры сбора и обработки данных СКМВ.

Основные направления модернизации приемных центров РТСС:

- внедрение унифицированных широкополосных сейсмометрических каналов;
- использование технических и программных средства для демодуляции ЧМ сигналов методами цифровой обработки (цифровая демодуляция);
- замена технических и программных средств системы видеонаблюдений.

Разработанный программно-технический комплекс цифровой демодуляции заменяет аналоговую часть приемных центров РТСС и повышает их мобильность. Внедрение цифровой обработки сигналов на приемных центрах РТСС обеспечивает расширение динамического диапазона регистрируемых сигналов не менее чем на 6 Дб за счет понижения аппаратных шумов и повышает долговременную стабильность характеристик сейсмометрических каналов за счет уменьшения количества аналоговых элементов. С июня 2013 года все приемные центры РТСС переведены на использование цифровых демодуляторов.

Ведется работа по созданию ПНВ-А на базе имеющихся сейсмических станций КФ ГС РАН, работающих в труднодоступных вулканических районах. На Ключевской группе вулканов оборудованы и введены в эксплуатацию ПНВ-А «Киришев» (сейсмостанция KIR) и «Безымянный – Грива» (сейсмостанция BZG). В районе вулкана Кизимен – ПНВ-А «Тумрок-D» (сейсмостанция TUMD). На рис.1 представлена структурная схема и оборудование ПНВ-А «Безымянный – Грива». Видеокамера этого пункта направлена на вулканы Безымянный, Камень и Ключевской (рис.2).

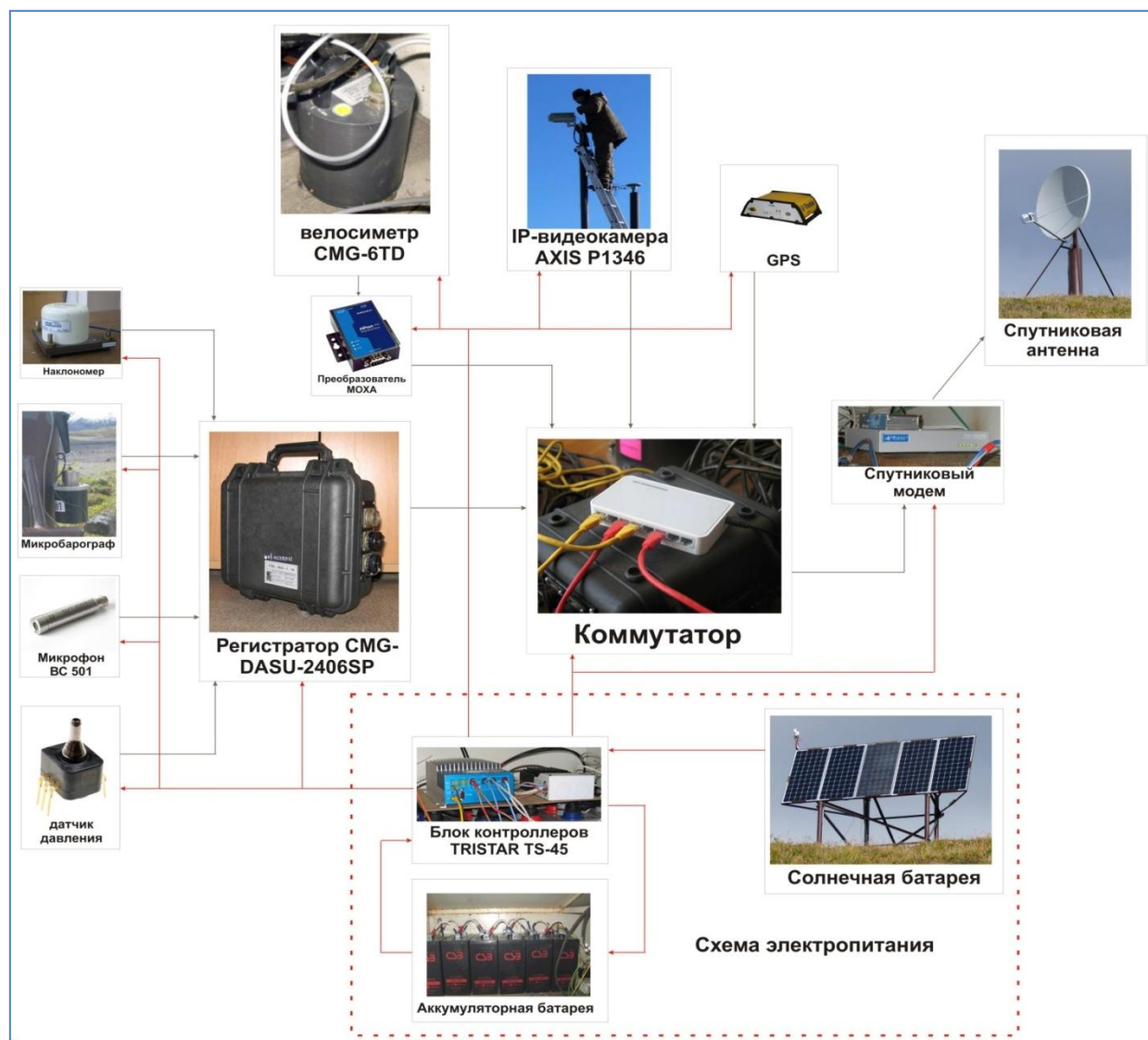


Рис.1. Блок-схема и оборудование специализированного автономного пункта наблюдений за вулканической деятельностью «Безымянный – Грива», организованного на базе региональной сейсмической станции ВЗГ в районе Ключевской группы вулканов на Камчатке.

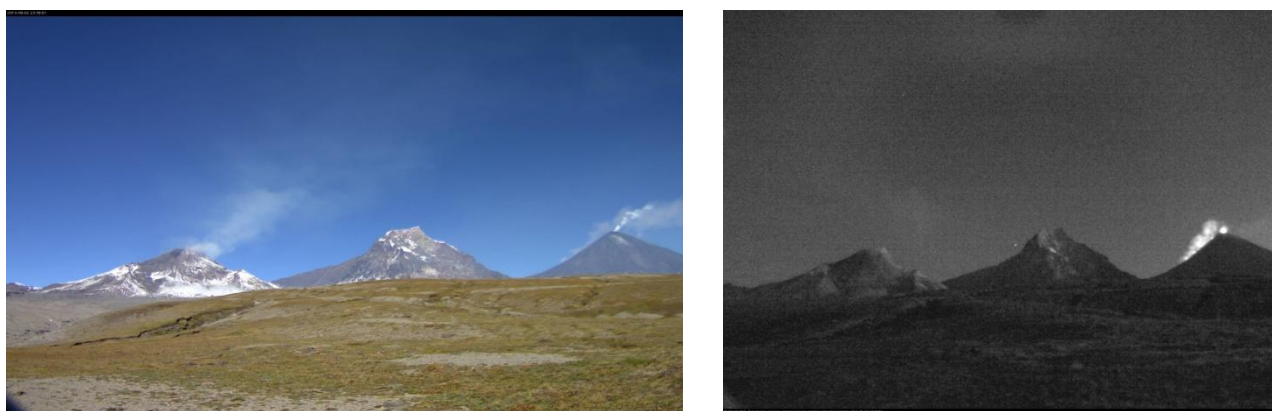


Рис.2. Кадры видеонаблюдений с ПНВ-А «Безымянный – Грива», получаемые в режиме реального времени. Вулканы: Безымянный, Камень, Ключевской (слева направо). Дневная и ночная съемка.

В 2011-2013 гг. в рамках развития научно-методического сопровождения СКМВ выполнены следующие работы:

- на основе результатов исследований характеристик активности и извержений вулканов Ключевской группы и их отражения в параметрах видео, сейсмических, спутниковых и других наблюдениях разработаны типовые сценарии извержений вулканов Ключевской и Безымянный [2];
- на основе отечественного и зарубежного опыта разработан предварительный типовой сценарий извержений вулканов Ключевской группы по данным GNSS и наклономерных наблюдений;
- дано научно-информационное обоснование создания системы автоматического мониторинга диоксида серы, предложена принципиальная схема построения сети автоматических сканирующих ДОАС (дифференциальная оптическая абсорбционная спектрометрия) станций, которая может быть реализована на территории Камчатки и Курильских островов;
- для вулканов Ключевской группы в экспериментальном режиме проводятся параметрические оценки сейсмичности;
- продолжены работы по совершенствованию методов спутникового мониторинга активных вулканов с привлечением дополнительных данных с новых спутников;
- создана база данных инфразвуковых сигналов KamIn, позволяющая осуществлять обнаружение акустических сигналов, выявлять их соответствие событиям на вулкане (извержениям, взрывам) и сохранять волновые формы акустического и сейсмического сигналов;
- разработана предварительная структура базы данных «Извержения вулканов Камчатки и Курильских островов», включающая данные инструментального мониторинга и выполняющая функцию справочной информационной системы.

Необходимо особо отметить результаты автоматического выделения пепловых выбросов и расчета их высоты по сейсмологическим данным. Эти работы пока находятся в экспериментальной стадии.

Идентификация пепловых выбросов основана на спектральном анализе сейсмических сигналов, сопровождающих различные вулканические события, и использовании частотного индекса [1], зависящего от отношения амплитуд высокочастотной и низкочастотной составляющих спектра. Обработка потоков сейсмических данных, поступающих в режиме реального времени, осуществляется программно с дискредитацией 5 минут. В настоящее время вероятность автоматического выделения пепловых выбросов в реальном времени для вулкана Шивелуч составляет примерно 0.75. В 2012 г. в режиме реального времени были автоматически выделены эксплозивные извержения вулкана Безымянный (01.09.2012 г.) и вулкана Плоский Толбачик (27.11.2012 г.).

Оценки высоты пепловых выбросов основаны на эмпирических соотношениях, связывающих амплитуду и продолжительность сейсмического сигнала с высотой подъема пеплового облака [3]. Коэффициент корреляции между высотами, зафиксированными по видео наблюдениям, и высотами, вычисленными программно в режиме реального времени, для вулкана Шивелуч составляет около 0.7, что иллюстрирует приемлемую эффективность автоматической оценки.

Создание СКМВ ведется Геофизической службой РАН в тесном сотрудничестве с Институтом вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и Институтом морской геологии и геофизики ДВО РАН.

Список литературы

1. Buurman H., West M. Seismic Precursors to Volcanic Explosions During the 2006 Eruption of Augustine Volcano // The 2006 Eruption of Augustine Volcano, Alaska, Reston, Virginia: U.S. Geological Survey 2010, p.41-57
2. Сеньюков С. Л. Мониторинг и прогноз активности вулканов Камчатки по сейсмологическим данным в 2000–2010 гг. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 96-108.
3. Сеньюков С.Л., Дрознина С.Я., Кожевникова Т.Ю. Опыт выделения пепловых выбросов и оценка их высоты по сейсмическим данным для вулканов Шивелуч, Карымский, Кизимен и Безымянный с 01.01.2003 по 01.05.2011 // Труды Третьей научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский, 9-15 октября 2011 г. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 139–143.5.
4. Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Дрознина С.Я. и др. Развитие системы комплексного инструментального мониторинга вулканов Дальневосточного региона // Сейсмические приборы. 2012. Т. 48, № 4. С. 40-54.