

Возможности и перспективы наблюдения наклонов земной поверхности в районе Ключевской группы вулканов

П.П. Фирстов, В.Е. Глухов, Е.О. Макаров, Н.Н. Титков, Д.В. Дроздин

Камчатский филиал ФИЦ «Единая Геофизическая служба РАН», Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: glukvit@mail.ru

В статье дано краткое описание результатов наклономерных наблюдений в районе Ключевской группы вулканов за период 2012-2016 гг. На расстоянии ~40 км от побочного прорыва вулкана Плоский Толбачик наклономером зарегистрирован отклик процесса подготовки извержения, что указывает на перспективность наклономерных наблюдений для мониторинга вулканических извержений. Приводится вариант системы сбора и обработки данных сети наклономерных наблюдений на полуострове Камчатка.

Введение

Индикатором внутренних процессов в вулканическом аппарате является деформация земной поверхности вблизи вулканов, связанная с миграцией магмы к дневной поверхности с последующим извержением и релаксацией после него. Наиболее простым и технологичным методом контроля деформационных процессов является мониторинг наклонов. Впервые наклономерные наблюдения на вулкане были организованы при извержении вулкана Килауэа в 1912 г. основателем Гавайской вулканологической обсерватории Т.А. Джаггером. С течением времени, наклономеры стали применяться на многих активных вулканах мира.

В конце 70-х годов прошлого века на полуострове Камчатка начали проводиться наклономерные работы в районе Ключевской группы вулканов (КГВ) [2]. Однако, к концу прошлого века, в силу разных причин, эти работы прекратились. В 2010 г. Камчатским филиалом Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) наклономерные наблюдения возобновились [4]. В пункте «Апахончич» (АРНТ), на расстоянии 14 км от вершины вулкана Ключевской (рис. 1), с 2012 г. по 2016 г. работал платформенный двухосевой пузырьковый наклономер Applied Geomechanics 701-2A, для которого под положительным значением наклона понимается опускание земной поверхности по направлению соответствующей оси [6].

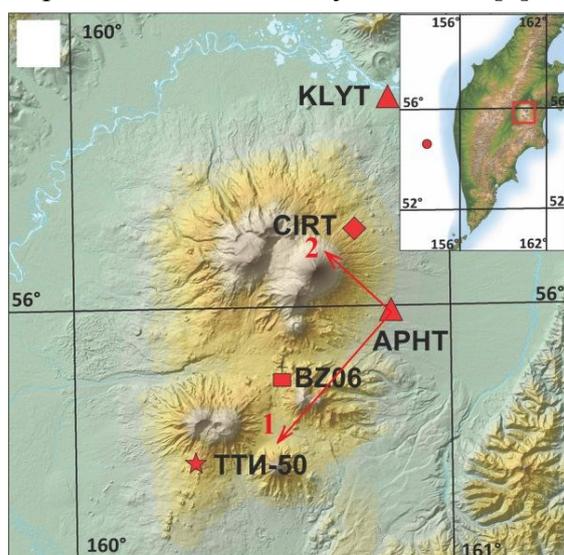


Рис. 1. Расположение пунктов наблюдений в районе КГВ. Красный кружок на врезке – эпицентр ОЗ.

Полученные результаты

В рассматриваемый период на полуострове Камчатка произошли значимые геодинамические события: 24 мая 2013 г. глубокое Охотоморское землетрясение (ОЗ) с магнитудой $M_W=8.3$; мощное Трещинное Толбачинское извержение имени 50-летия Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ТТИ-50), во время которого (27 ноября 2012 г. – начало сентября 2013 г.) сформировался покров базальтовой лавы объемом 0.52 км^3 и площадью в 35 км^2 [1]. Кроме этого, в 2013, 2015, 2016 гг. происходили извержения вулкана Ключевской.

Так как во время извержений регистрируется вулканическое дрожание (ВД), и его амплитуда является косвенной

характеристикой интенсивности извержений, то на рис. 2а одновременно с вариациями наклонов на составляющей С-Ю показана амплитуда ВД.

Для составляющей В-З наблюдается непрерывный подъем с разной интенсивностью в направлении 3 (рис. 2а). Наибольшая величина наклонов ~150 мкрад была зарегистрирована по обоим составляющим с июня по ноябрь 2012 г. На векторной диаграмме направление наклона в этот период представляла С-В составляющая, т.е. указывала на подъем в направлении Ю-З от АРНТ (рис. 3). В близком к этому направлении, на расстоянии ~40 км от АРНТ располагаются эруптивные центры ТТИ-50 (стрелка 1 на рис. 1). Качественно это согласуется с данными о вертикальных смещениях, полученных на GPS пункте ВZ06 (рис. 2б) [3].

С декабря 2012 г. по май 2013 г. продолжался рост наклона на составляющей В-З в направлении 3, но наблюдалось уменьшение наклона на составляющей С-Ю до первоначальных значений. На векторной диаграмме направление наклона в этот период составляла Ю-В, т.е. указывала на подъем в направлении С-З от АРНТ (рис. 3, стрелка 2 на рис. 1).

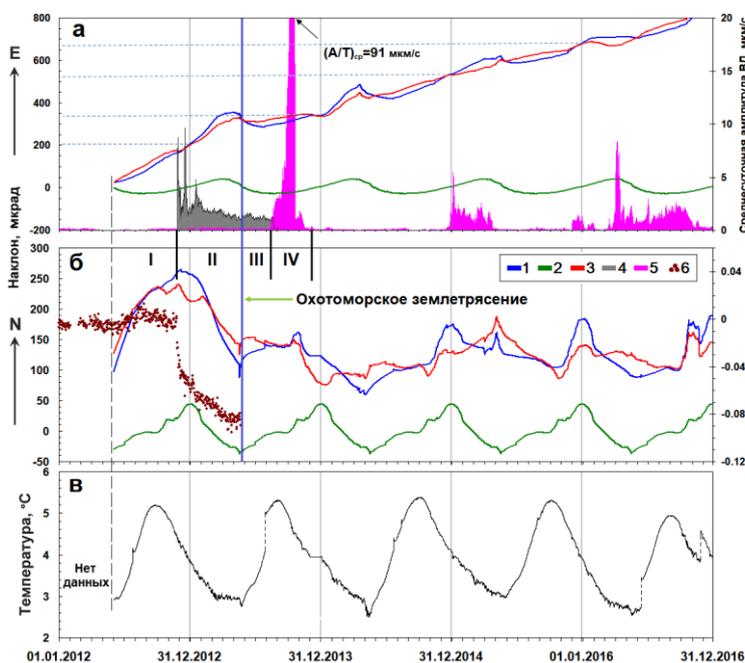


Рис. 2. Вариации наклонов на АРНТ по составляющей В-З и средней амплитуды ВД в пункте С1R (а), по составляющей С-Ю (б) и температуры в бункере (в) за период 2012-2016 гг.

1 – исходная кривая наклонов; 2 – сезонная составляющая наклонов; 3 – наклон за вычетом сезонной составляющей; 4 – среднесуточная амплитуда ВД, сопровождавшего ТТИ-50; 5 – сопровождавшего извержения вулкана Ключевской на РТСС С1R; 6 – вертикальные смещения пункта GPS наблюдений ВZ06.

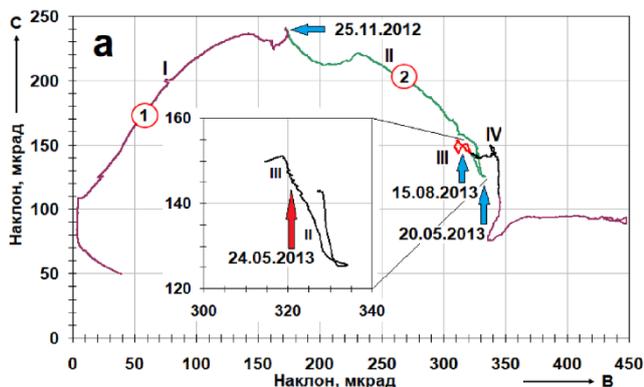


Рис. 3. Векторная диаграмма наклонов в пункте АРНТ за период 01.05.2012 г.-01.10.2013 г. Синими стрелками показаны начало извержений ТТИ-50 (25.11.2012 г.) и Ключевского вулкана (15.08.2013 г.), аномалия в поведении наклонов перед ОЗ (20.05.2013 г.). Красной стрелкой на врезке отмечен момент ОЗ 24.05.2013 г.

Общие принципы развития сети наклономерных наблюдений

Результаты, приведенные выше, показывают необходимость развития наклономерных наблюдений на п-ове Камчатка. В настоящее время сеть, состоящая из четырех станций, три из которых расположены на территории г. Петропавловска-Камчатского (IVST, PETT, PETR) и одна в поселке Ключи (KLYT), требует расширения и модернизации. Наряду с созданием новых пунктов наблюдений, необходимо

разработать и внедрить аппаратурно-программный комплекс (АПК) с целью сбора, предварительной обработки и хранения данных наклономерных наблюдений.

Частично такая работа выполнена. Структурная схема АПК показана на рис. 4. В систему сбора и передачи данных сейсмологических наблюдений на Дальнем Востоке России интегрированы станции KLYT и IVST [7]. Задача получения данных на станции PETT решалась с помощью включения в комплект регистрации аналого-цифрового преобразователя (АЦП) L-Card E502 и микрокомпьютера. При этом используется программное обеспечение, созданное на базе библиотек, доступных из открытых репозиторий производителя оборудования. Один раз в час из блоков данных формируется часовой файл с дискретизацией данных 100 Гц. По окончании суток из часовых файлов формируется 24-часовой файл с дискретизацией один отсчет в минуту. Скачивание суточных данных происходит по расписанию по окончании суток.

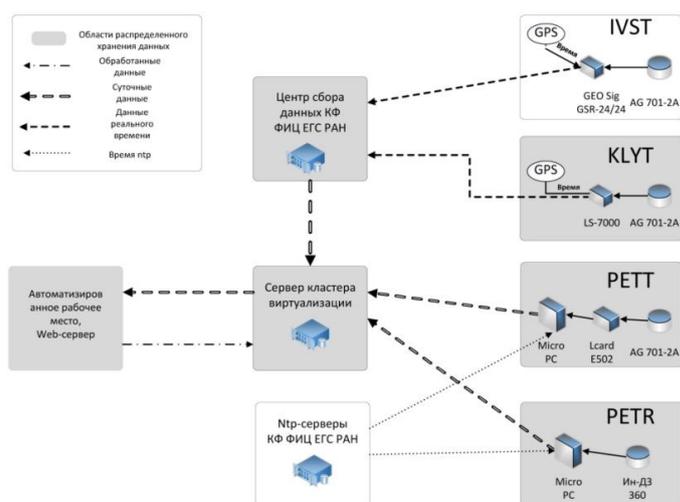


Рис. 4 Структурная схема системы сбора и обработки данных сети наклономерных наблюдений на полуострове Камчатка.

архиве на сервере Центра сбора данных КФ ФИЦ ЕГС РАН. Для дальнейшей обработки и хранения данных на кластере виртуализации был выделен сервер. Раз в сутки осуществляется скачивание данных всех четырех станций. Данные станций IVST и KLYT скачиваются из архива. Данные с PETT и PETR скачиваются непосредственно с микрокомпьютеров станций. Все данные сохраняются в каталоге в формате ASCII с дискретизацией один отсчет в минуту и подходят для дальнейшей работы в пакете DIMAS (разработка Д.В. Дроздина, КФ ФИЦ ЕГС РАН). Первичная обработка исходных суточных данных полностью автоматизирована. Осуществляется: ввод аппаратурных поправок; удаление тренда; фильтрация выбросов, превышающих 3σ ; коррекция уровней для тех станций, на которых производилась калибровка положения сенсора; температурная компенсация. При помощи программы Compen удаляется сезонная составляющая. Для последующей интерпретации по каждой станции создаются выборки данных, на основе которых автоматически для каждого канала станции строятся графики полного ряда данных, данных с часовой дискретизацией и график за последнюю неделю. Визуализация каждого канала содержит кривую исходных данных, кривую с компенсацией по температуре, кривую с удаленным трендом и кривую с удаленной сезонной компоненты. Веб-сервер, установленный на рабочем месте, позволяет просматривать графики непосредственно в браузере с любого компьютера КФ ФИЦ ЕГС РАН.

На станции PETR получение данных со встроенного АЦП накломера ИН-ДЗ 360 также осуществляется установленным микрокомпьютером с помощью программного обеспечения, поставляемого производителем. Суточные данные сохраняются в формате ASCII с дискретизацией 16 Гц. Скачивание данных происходит один раз в сутки по протоколу FTP.

Условия распределенного хранения данных зависят от возможностей регистрирующей аппаратуры. Данные, получаемые со станций IVST и KLYT, сохраняются непосредственно в

Заключение

Сеть наклономерных станций структурно может дополнить развернутую КФ ФИЦ ЕГС РАН систему GNSS наблюдений [7]. Получаемые наклономерные данные содержат дополнительные сведения для изучения деформационных процессов, связанных с мощными геодинамическими событиями (землетрясения и вулканические извержения). Так, одновременное возникновение аномалии в поведении наклонов на двух пунктах KLYT и APHT и условных деформаций удаленной форшоковой активизации в Авачинском заливе перед Охотоморским землетрясением 24 мая 2013 г. с $M_W=8.3$ говорят о едином геодинамическом процессе регионального масштаба, предшествующем землетрясению [5]. Поэтому есть основания полагать, что оперативные данные могут быть использованы при краткосрочном прогнозе сильных землетрясений и вулканических извержений.

Исходя из имеющейся аппаратурной базы, созданный и внедренный в эксплуатацию АПК представляет собой вполне законченное решение ряда прикладных задач с целью автоматизации проведения наклономерных наблюдений на полуострове Камчатка. При наличии дополнительных комплектов регистрации АПК позволяет быстро организовать сбор информации в автоматическом режиме с любого количества станций сети.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00576-21) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>), а также при поддержке гранта РФФИ № 20-05-00493.

Список литературы

1. Двигало В.Н., Свирид И.Ю., Шевченко А.В. Первые количественные оценки параметров Трещинного Толбачинского извержения 2012-2013 гг. по данным аэрофотограмметрических наблюдений // Вулканология и сейсмология. 2014. № 5. С. 3-11.
2. Жаринов Н.А., Доброхотов Ю.С., Энман В.Б. Наблюдения наклонов земной поверхности уровнями наклономерами на Камчатке // Известия АН СССР. Физика Земли. 1978. № 1. С. 54-62.
3. Кугаенко Ю.А., Титков Н.Н., Салтыков В.А., Воропаев П.В. Анализ подготовки Трещинного Толбачинского извержения 2012-2013 гг. в параметрах сейсмического режима и деформаций земной коры по данным системы комплексного мониторинга активности вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2015. № 4. С. 40-58.
4. Сероветников С.С. Сеть наклономерных станций. Регистрация поверхностных деформационных процессов, обусловленных сейсмической и вулканической активностью Камчатского региона // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября – 5 октября 2013 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 108-112.
5. Фирстов П.П., Глухов В.Е., Макаров Е.О. и др. Геодинамические процессы, предшествующие глубокому Охотоморскому землетрясению 24 мая 2013 г. с магнитудой $M_W = 8.3$ // ДАН. 2019. Т. 489. № 3. С. 83-86.
6. Фирстов П.П., Макаров Е.О., Глухов В.Е. и др. Наклономерные наблюдения на полуострове Камчатка в 2012-2016 гг. // Сейсмические приборы. 2021. № 1. С. 3-15.
7. Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Кугаенко Ю.А. и др. Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 18-40.