

Наблюдение наклонов земной поверхности, сопровождавших извержения Ключевской группы вулканов в 2012-2016 гг.

П.П. Фирстов¹, В.Е. Глухов¹, Е.О. Макаров¹, Н.Н. Тутков¹, Н.А. Жаринов²

¹Камчатский филиал ФИЦ «Единая Геофизическая служба РАН», Петропавловск-Камчатский, 683006; firstov@emsd.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

Введение

На полуострове Камчатка наклономерные работы на вулканах Ключевской группы вулканов (КГВ) начали проводиться в конце 70-х годов прошлого века. Комплекс деформационных измерений, проведенных с использованием наклономеров во время Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) в 1975 г., по праву можно назвать началом изучения деформаций земной поверхности на активных вулканах России с помощью наклономеров [2]. Несовершенство аппаратуры, сложные климатические условия, а также трудности развития науки в РФ затормозили развитие этих работ. Новый этап наблюдений наклонов на Камчатке начался в 2010 году, когда при поддержке фонда КАКЕННИ (Japan Society for Promotion of Science) была развернута сеть из четырех стационарных и двух автономных пунктов [4]. Наклономеры устанавливались на сейсмических станциях Камчатского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН).

Наиболее удачными пунктами в районе КГВ оказались стационарный пункт «Ключи» (KLYT) и автономный пункт «Апахончич» (APHT) (рис. 1). В пункте APHT, расположенном в 14.5 км юго-восточнее вершины вулкана Ключевской, наклономер был установлен в двухуровневом бункере глубиной ~5 метров. Этот пункт функционировал с января 2012 г. по ноябрь 2016 г.

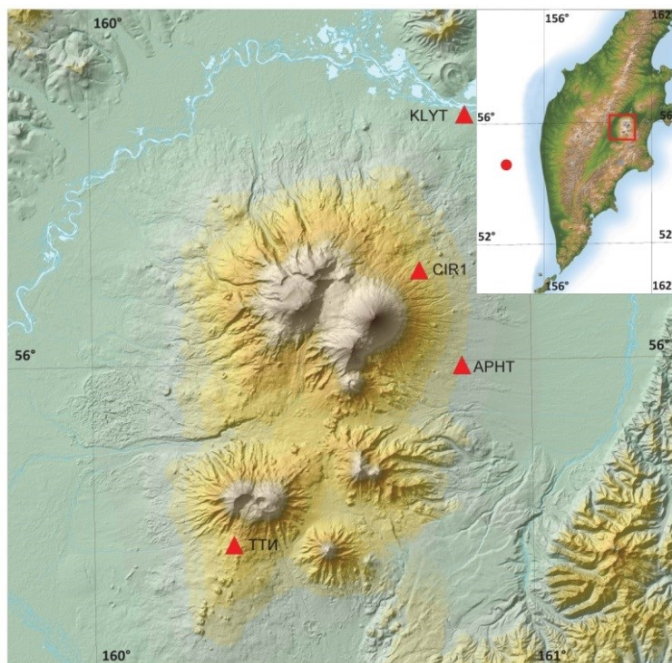


Рис. 1. Расположение наклономерных пунктов (KLYT, APHT) и РТСС (CIR) в районе КГВ на полуострове Камчатка. На врезке показан эпицентр Охотоморского землетрясения.

В качестве датчика использовался платформенный двухосевой пузырьковый наклономер Applied Geomechanics 701-2A, изготавливаемый фирмой (Applied Geomechanics Inc, USA), с угловым диапазоном ± 800 (KLYT) и ± 8000 (APHT) мкрад. Регистрация и накопление данных происходило с помощью 24 битного регистратора KGS HKS-9550 с дискретизацией сигнала 100 Гц. Проверка работоспособности наклономерных станций осуществлялась с помощью сопоставления записей сильных землетрясений на наклономерах и акселерометрах.

Наиболее сильные геодинамические события в районе КГВ в период 2012-2016 гг.

За все годы детальных сейсмологических наблюдений на полуострове Камчатка, начиная с

1961 г., 24 мая 2013 года в Охотском море в 05:44:47¹ (врезка рис. 1) произошло сильнейшее землетрясение с магнитудой $M_w=8.3$. Охотоморское землетрясение (ОЗ, $\varphi=54.75^\circ N$, $\lambda=153.78^\circ E$) имело глубину 630 км, что соответствует предельному диапазону глубин для сейсмических событий [7].

Перед ОЗ в пункте KLYT на записях наклономера была выделена аномалия [6], а само землетрясение хорошо прописалось наклономерами в обоих пунктах (рис. 2а). Хорошая фазовая корреляция горизонтальных компонент акселерометра и обоих составляющих на наклономерах в пункте KLY, а также близость по амплитуде сигналов на обоих пунктах свидетельствуют о нормальной работе наклономеров в этот период.

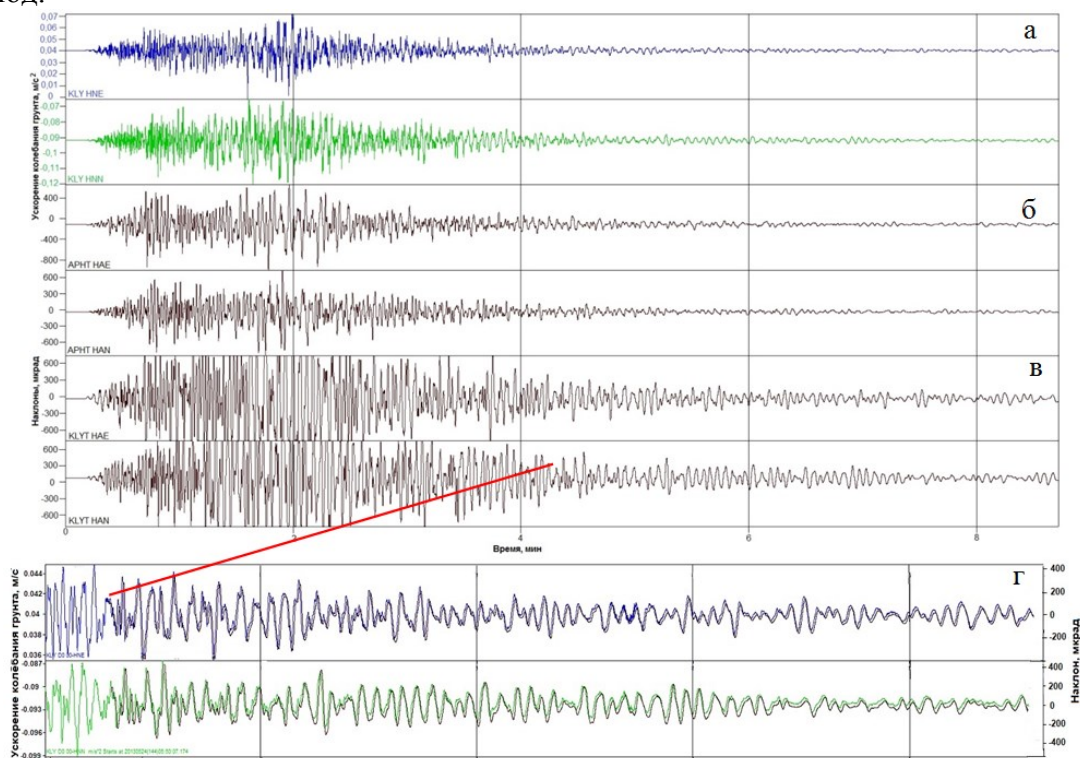


Рис. 2. Запись акселерометром глубокого Охотоморского землетрясения 24.05.2013 с $M_w=8.3$ в пункте KLY (а) и наклономерами в пунктах APHT (б) и KLYT (в), сопоставление записи кода волн акселерометром и наклономером в пункте KLY (г). Начало отсчета времени соответствует 24 мая 2013 г. 05:46:07 (б) и 05:50:07 (в).

С 27 ноября 2012 г. до начала сентября 2013 г. в течение девяти месяцев на юго-западном склоне в. Плоский Толбачик происходило Трещинное Толбачинское извержение (рис. 1), которое в основном было эффузивным. Наибольший расход продуктов извержений был отмечен на начальном этапе (до $440 \text{ м}^3/\text{с}$) [1]. За шесть месяцев на дневную поверхность излилось 0.52 км^3 лавы, которой было покрыта площадь в 35 км^2 . Трещинное Толбачинское извержение (ТТИ-50) 2012-2013 гг. является наиболее крупным извержением магмы основного состава, произошедшим в зоне субдукции за последний вековой интервал. Также в рассматриваемый период произошло четыре умеренных вершинных извержения вулкана Ключевской. Характерно, что вершинное извержение в 2016 г. сопровождалось обвалом объемом 0.024 км^3 . В историческое время обвалы наблюдались во время вершинных извержений 1944-1945 гг. и в 1985 г. Эруптивные события, произошедшие в районе КГВ, указывают на высокую интенсивность вулканической активности в рассматриваемый период.

Как правило, вулканические извержения сопровождаются квазисинусоидальными колебаниями почвы – вулканическим дрожанием (ВД), которое

¹ Здесь и далее время UTC (чч:мм:сс).

регистрируется радиотелеметрическими станциями (РТСС) КФ ФИЦ ЕГС РАН, расположенными в КГВ. Амплитуда ВД является объективной оценкой интенсивности и продолжительности извержений [5]. На основании базы данных КФ ФИЦ ЕГС РАН «Извержения вулканов Камчатки и Курильских островов» построена кривая изменения среднесуточной амплитуды ВД на РТСС «Цирк» (СIR), расположенной в 45 км от ТТИ-50 и в 10 км от кратера вулкана Ключевской. На ней четко выделяется продолжительность ТТИ-50 и четырех вершинных извержений вулкана Ключевской (рис. 3а).

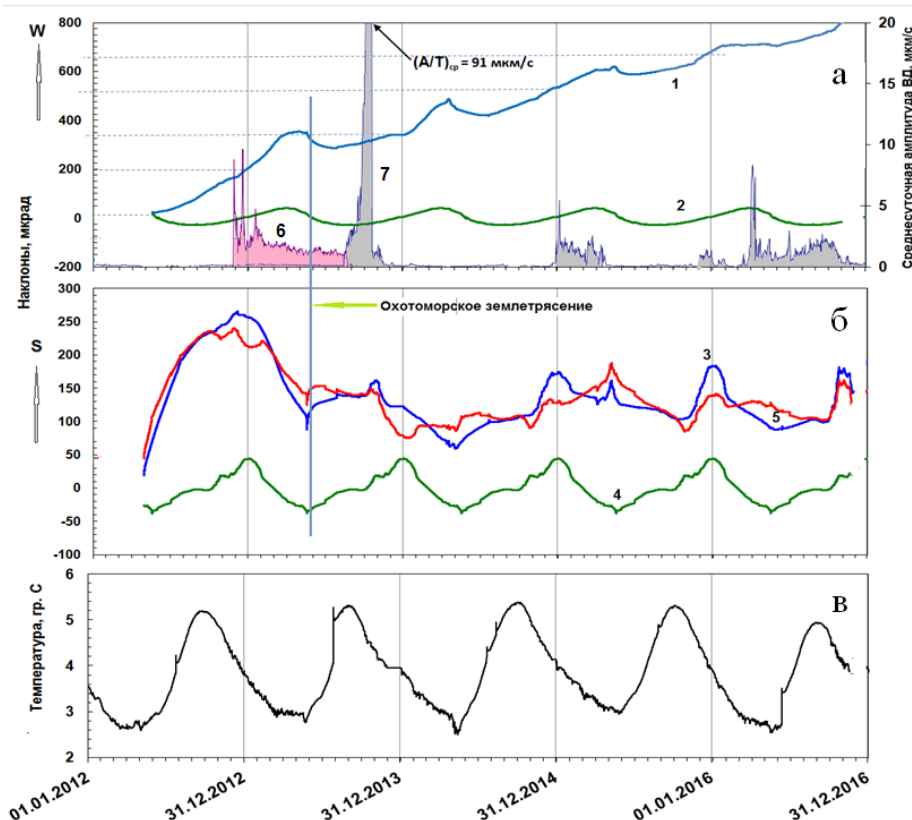


Рис. 3. Изменения амплитуды ВД и наклонов в пункте АРНТ по двум составляющим (а, б) и температуры в бункере (в) за период 2012-2016 гг.

1, 2 – наклон и его сезонная составляющая направления W-E; 3, 4 – среднесуточная амплитуда ВД, сопровождавшего ТТИ-50 и извержения вулкана Ключевской на РТСС СIR; 5 – наклон направления S-N без сезонной составляющей; 6, 7 – среднесуточная амплитуда ВД, сопровождавшего ТТИ-50 и извержения вулкана Ключевской на РТСС СIR.

Отражение сильных геодинамических событий района КГВ в наклонах земной поверхности

Данные наклономера в пункте АРНТ охватывают период март 2012 г. – ноябрь 2016 г. На обоих составляющих наклономера четко выделяется сезонный ход, так же как в кривой температуры в бункере, для которой двойная амплитуда была не более $\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ (рис. 3). Осредненный сезонный ход за пятилетний интервал был выделен с помощью математических средств, двойная амплитуда которого составила ~ 75 мкрад и ~ 68 мкрад на каналах W-E и S-N, соответственно. Рассчитывался максимальный коэффициент корреляции (r_{\max}) для осредненных сезонных ходов и температуры в бункере со сдвигом до ± 6 месяцев. Разнобой в r_{\max} (W-E – $r_1 = -0.94$ при сдвиге -34.3 сут; $r_2 = 0.89$ при сдвиге 161.3 сут; S-N – $r_1 = 0.82$ при сдвиге -69.7 сут; $r_2 = -0.93$ при сдвиге 128.9 сут) для обоих составляющих говорит о незначительном влиянии вариаций температуры в самом бункере. Однако, из-за небольшой глубины бункера, вырытого в рыхлых породах, деформационные процессы, связанные с промерзанием и оттаиванием верхнего слоя, могут играть значительную роль в сезонных вариациях наклонов, причем на обеих составляющих они выражены по-разному.

Обращает на себя внимание значительный тренд на канале W-E, который составил за рассматриваемый период 800 мкрад. Так как для этого канала направление близко к азимуту на вулкан Ключевской, то, на взгляд авторов, данный факт может быть объяснен его высокой активностью в 2012-2016 гг.

На канале S-N, с учетом сезонной вариации с середины 2012 г. до ноября 2012 г., наблюдается рост наклона в направлении S. После чего наблюдалось уменьшение наклона до мая 2013 г., амплитуда которого составила ~70 мкрад. Амплитуда этой длительной аномалии, по-видимому, связана с извержением ТТИ-50, что согласуется с данными о вертикальных смещениях, полученными на локальной сети пунктов GPS [3].

Заключение

На ближайшем пункте к извержению ТТИ-50 АРНТ на составляющей S-N наклономера наблюдается аномалия со временем упреждения не менее 5 месяцев, которая указывает положительный наклон не менее 70 мкрад перед извержением. Это указывает на сложные геодинамические процессы, происходящие перед извержением ТТИ-50.

Как показали многолетние наблюдения за движениями земной поверхности с помощью наклономеров в районе КГВ, полученные данные могут быть весьма существенным дополнением к современным методам наблюдений за движениями земной поверхности с помощью GPS технологий.

Авторы выражают благодарность С.Л. Сенюкову за предоставление графика вулканического дрожания.

Работа выполнялась в рамках государственного задания № АААА-А19-119031590060 и при частичной 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 // Изв. АН СССР Физика Земли. 1978. № 1. С. 54-62.
3. *Кугаенко Ю.А., Титков Н.Н., Салтыков В.А. и др.* 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, регистрации поверхностных деформационных процессов, обусловленных сейсмической и вулканической активностью Камчатского региона // Четвертая научно-техническая конференция. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский. 30 сентября – 4 октября 2013 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 108-112.
5. *Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дроздина С.Я. и др.* Сейсмичность района Плоский Толбачик в 2000-2013 гг. // Четвертая научно-техническая конференция. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский. 30 сентября – 4 октября 2013 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 103-108.
6. *Фирстов П.П., Глухов В.Е., Макаров Е.О. и др.* Геодинамические процессы, предшествующие глубокому Охотоморскому землетрясению 24 мая 2013 г. с магнитудой $M_w = 8.3$ // Доклады Академии наук. 2019. Т. 489. № 3. С. 83-86.
7. *Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А., и др.* Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой $M_w=8.3$ – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических исследований // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 1. Вып. 21. С. 17-24.