

GPS МОНИТОРИНГ ВУЛКАНА КАРЫМСКИЙ

В.Ф. Бахтиаров¹, М.А. Магуськин²

¹Камчатский Филиал Геофизической Службы РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;
e-mail: vila@emsd.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;
e-mail: magma@kscnet.ru

Введение

С появлением в середине 90-ых годов XX века GPS приемников для высокоточного позиционирования в гражданских целях стало возможным изучение деформаций земной поверхности на основе новых прогрессивных технологий. GPS наблюдения на вулкане Карымский были начаты в 1996 году. Однако, принятая методика наблюдений не позволила получить корректные статические данные с субмиллиметровой точностью на труднодоступных, удаленных друг от друга на 20-25 км, пунктах Карымского полигона. 1996 год стал начальным, но малоэффективным с точки зрения геодинамики. Измерения повторялись в 1997, 1999-2005 и 2007-2008 гг.

Результаты и их обсуждение

Схема геодезических пунктов в районе вулкана Карымский, на которых проводились GPS наблюдения, представлена на рис. 1.

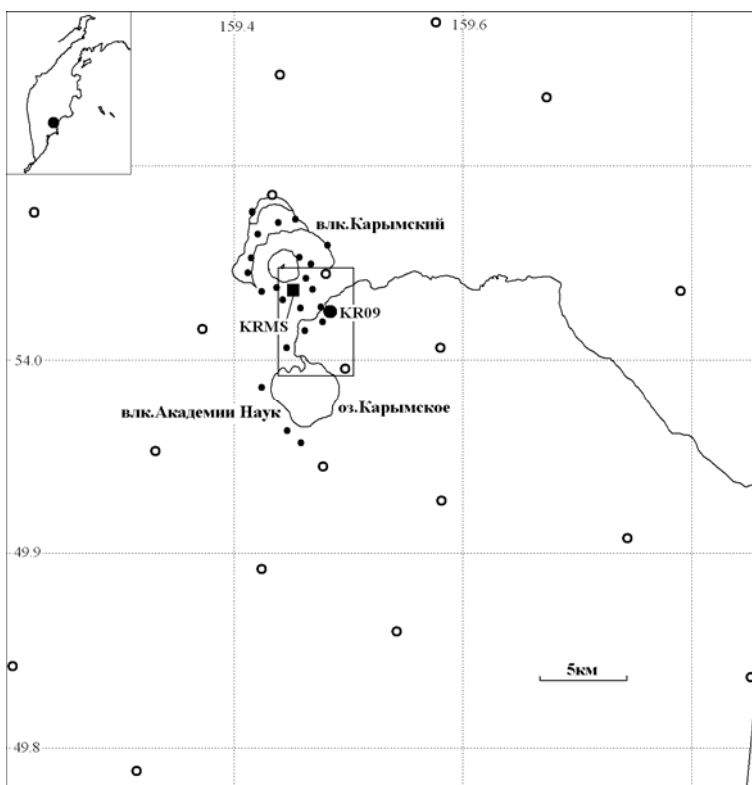


Рис. 1. Схема пунктов Карымского геодезического полигона. Не закрашенные кружки – пункты триангуляции. Точки – локальные марки и пилоны

В 1996 году, 01.01.1996, южнее Карымского озера произошло сильное ($M=6.9$) землетрясение и одновременное извержение двух вулканов – Академии Наук и Карымского. Эти события активизировали GPS наблюдения в Карымском вулканическом центре.

Измерения 1996, 1997, 1999, 2000 гг., проведенные на имеющихся пунктах триангуляции (рис.1, не закрашенные кружки), позволили вычислить дистанции между ними и сравнить их с результатами, полученными методами классической геодезии в 1988 году. Точности этих измерений невелики, порядка нескольких сантиметров, но на фоне больших горизонтальных деформаций, вызванных событиями 1996 года, сравнение одноименных дистанций дало хороший результат и позволило определить горизонтальные компоненты тензоров деформаций на площади 30 x 40 км (рис. 2). Эта картинка построена на основе 47 измеренных линий.

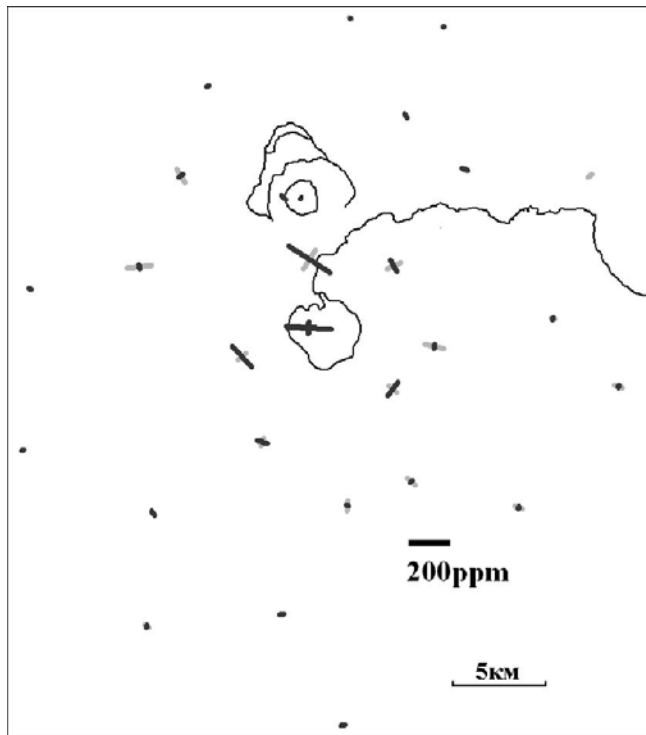


Рис. 2. Главные оси горизонтальных тензоров деформации. Черные линии – растяжение, серые линии – сжатие. $1\text{ppm}=10^{-6}$

Хорошо видно, что зона максимального растяжения (~ 270 ppm), расположена севернее озера. Зона растяжения начинается юго-западнее озера и простирается на северо-восток, направление на вулкан Малый Семлячик. Длина зоны порядка 25-30 км, ширина - около 5 км. На периферии деформации растяжения затухают. Здесь доминируют относительно небольшие деформации сжатия. Тензоры деформаций вычислялись по деформациям сторон геодезических треугольников соседних пунктов триангуляции (рис. 1) и помещались в арифметический центр треугольника.

Начало стабильных эпизодических GPS наблюдений со скорректированной методикой можно отнести к 2000 году. С этого времени регулярно, как правило 2 раза в год, проводились GPS наблюдения на 12-ти пунктах, представленных на рис. 1 в прямоугольнике юго-восточнее вулкана Карымский. Пункт KR09, расположенный рядом с

домом в долине р. Карымская является опорным, на нем измерения проводились во время всего периода наблюдений. Остальные пункты наблюдались не менее 20-ти часов, что позволяло вычислить их координаты с точностью 2-3 мм по горизонтали и 5-8 мм по вертикали. Вычисления проводились пакетом программ Gamit-Globk [1, 2] совместно с постоянными пунктами Камчатской GPS [3] сети и вписываются в глобальную сеть.

Измерения продолжались 10-12 дней. Это позволяло опросить все пункты микрополигона со временем наблюдения 20-50 часов. Расстановка станций производилась пешком. Весной по возможности использовался снегоход.

На рис. 3 представлен временной ряд изменения координат пункта KR09. Каждая точка – это осреднение за время наблюдений эпохи на микрополигоне. Хорошо виден глобальный тренд в юго-юго-западном направлении, связанный с геодинамикой Камчатки [3]. Вертикальные смещения имеют локальный характер и связаны, видимо, с вулканической деятельностью. Нижний график рис.3 представляет количество микроземлетрясений, которые были зарегистрированы сейсмостанцией KRM (KRMS, рис. 1). Данные любезно предоставлены группой оперативной обработки КФ ГС РАН. Возможно, вертикальные движения п. KR09 связаны с усилением активности вулкана в 2004-2007 годах.

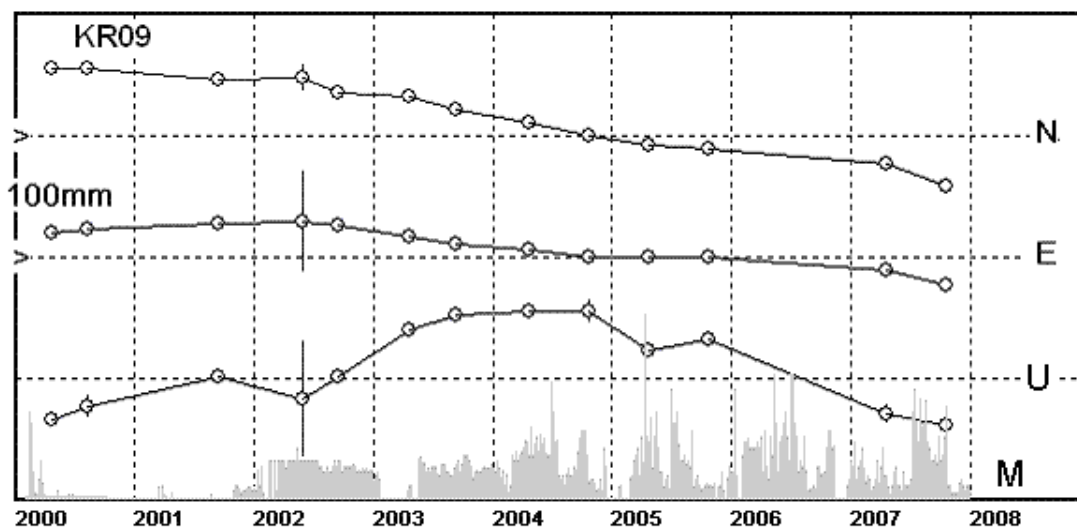


Рис. 3. Смещения пункта KR09 с 2000 по 2007 гг. N – направление на Север, E – направление на Восток, U – вертикальные. M – количество микроземлетрясений вулкана Карымский, 1000 событий в клетке по вертикали

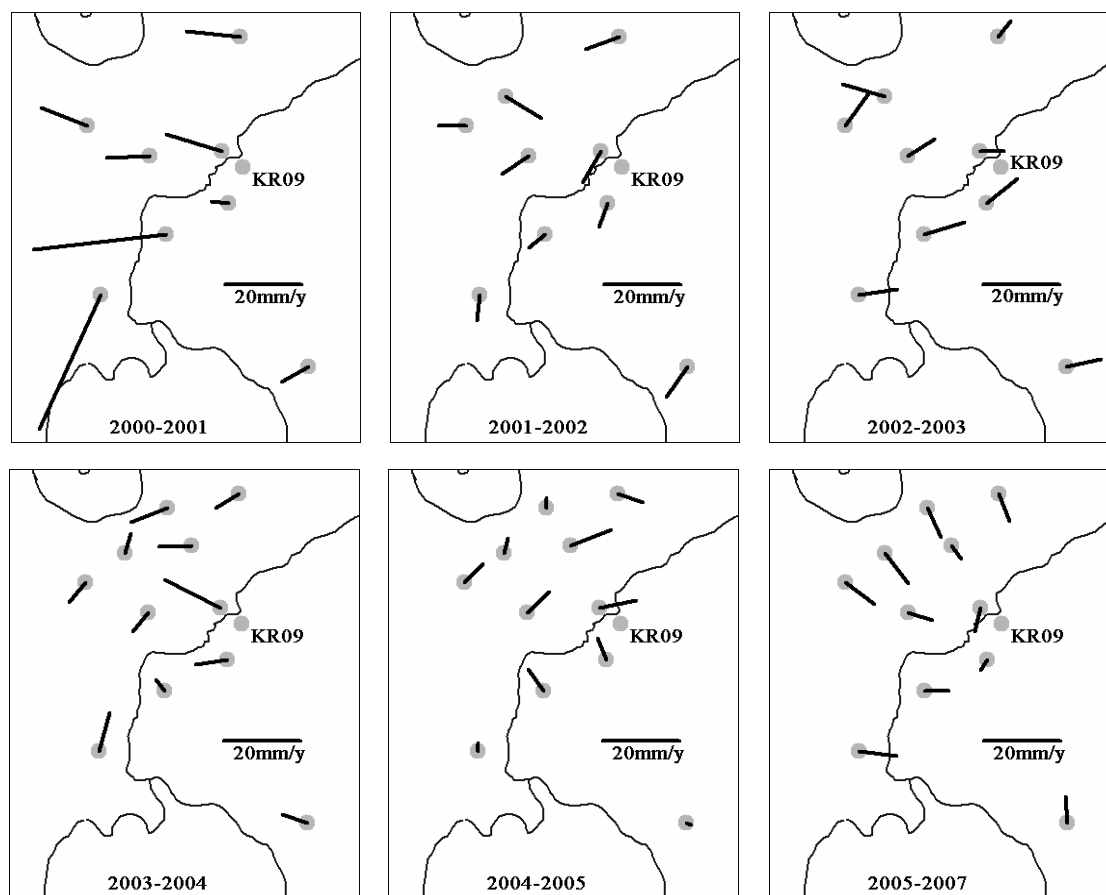


Рис. 4. Горизонтальные скорости пунктов относительно KR09. Серые кружки – пункты, линии - направление и скорость их смещения

На рис. 4 представлены горизонтальные скорости 12-ти пунктов, регулярно измеряемых с 2000 по 2007 гг. Измерения осреднялись в течение года, затем вычислялась скорость, из которой вычиталась скорость п. KR09. Наиболее интересна картинка 2005-2007, которая явно демонстрирует наличие некоторого источника напряжения в районе конуса, который создает сжатие измеряемого микрополигона. К сожалению, измерения

проводятся только на юго-востоке от вулкана и не дают общей деформационной картины вокруг него.

Изменения координат пунктов, показанные на рис. 4, можно представить в виде тензоров деформаций (рис. 5).

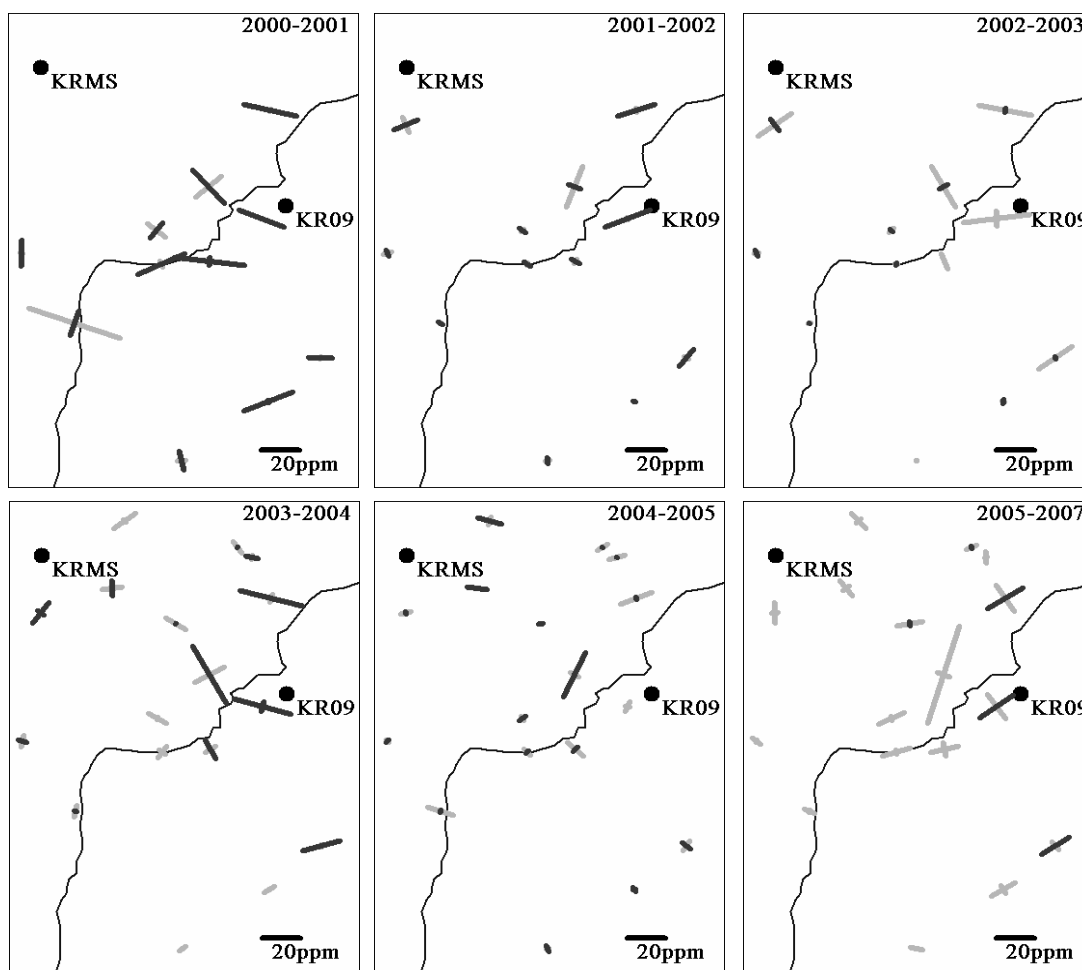


Рис. 5. Тензоры горизонтальных деформаций с 2000 по 2007 гг. Черные линии – растяжение, серые линии – сжатие

Рисунок 5 демонстрирует динамику горизонтальных деформаций. Преобладающие деформации растяжения 2000-2001 гг. сменяются сжатием в 2002-2003 гг. Интервал 2003-2004 гг. характерен растяжением, которое к 2007 году опять сменяется сжатием. Такая динамика деформаций неплохо согласуется с динамикой активности вулкана (рис. 3).

Методика вычисления главных осей плоского тензора деформаций

Пусть D_i - деформация с азимутом A_i , ($i \geq 3$). Методом наименьших квадратов вычисляем коэффициенты e_1, e_2, e_3 в функциональном пространстве $\{\sin^2, \cos^2, 2 \cdot \sin \cdot \cos\}$. Затем разворачиваем вычисленные компоненты на угол Φ так, чтобы $e_3 = 0$. Тогда деформация D в направлении A вычисляется по формуле $D = E_1 \sin^2(A - \Phi) + E_2 \cos^2(A - \Phi)$

E_1, E_2 – главные компоненты тензора, Φ – его азимут.

Непрерывные GPS измерения

До 2007 года все GPS измерения в районе Карымского вулкана проводились методом «выездных сессий» – разные антенны, приемники, работа в течение неполных суток. Все это приводит к понижению точности определения сравниваемых координат

пунктов и дистанций между ними, даже в случае принудительного центрирования антенн приемников, которое выполняется почти на всех пунктах Карымского полигона.

Многолетние эпизодические наблюдения дают возможность определить глобальные скорости пунктов, их тенденцию, но не позволяют увидеть тонкую структуру деформаций, которая становится доступной при непрерывном режиме наблюдений.



Рис. 6. Общий вид GPS станции KRMS

Осенью 2007 года в районе сейсмостанции KRM, на расстоянии 1,7 км от кратера вулкана Карымский был сооружен пилон для антенны и установлена автономная GPS станция KRMS (рис. 1,6) на базе приемника Trimble NetRS с антенной Zephyr Geodetic. Низкое энергопотребление приемника (~3 Вт) позволяет обеспечить его работу в течение года 60-тью батареями «Лиман» 2.5 в 320 а-ч (6 ящиков). Батареи соединены в два блока по 15 вольт (6x5) и подключены к разным портам приемника, устройство которого позволяет разрядить сначала один блок, а затем другой. Таким образом, раз в полгода необходима замена трех ящиков батарей для обеспечения непрерывной работы станции. Считывание информации и контроль про-

изводится с помощью мобильного компьютера по протоколу FTP или HTTP.

Ко времени написания статьи станция KRMS проработала немного больше полгода и еще не исчерпала первый блок батарей, что говорит о правильности выбора схемы питания станции.

Первые результаты, с 24.10.2007 г. по 8.04.2008 г. (рис. 7), показали хороший прием сигналов со спутников и относительную точность по внутренней сходимости порядка 1 мм по горизонтали и 3 мм по вертикали. Эта методика позволяет непрерывно следить за абсолютным смещением пункта, координаты которого вычисляются совместно с постоянными пунктами Камчатской GPS сети и последующим вписыванием в глобальную IGS сеть. Изменения координат пункта KRMS на фоне его глобального движения вероятнее всего будут связаны с активностью вулкана Карымский. На этом интервале времени уже виден глобальный тренд на Юго-Запад, характерный для этого региона. Обратим внимание на изменение характера смещений после 350-го дня 2007 года (16.12.2007), который выражается в изменении скорости движения пункта, особенно заметном на координате E и в изменении уровня высоты. Объяснять это явление пока еще рано ввиду короткого ряда измерений. Активность вулкана построена по данным страницы сайта КФ ГС РАН (красное-2, желтое-1, зеленое-0), пояснения в ссылке <http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>.

В статье не приводится довольно объемный цифровой материал, с которым можно ознакомиться, связавшись с авторами. Полевые измерения проводились авторами, сотрудниками лаб. Геодезии ИВиС ДВО РАН и сотрудниками лаб. Геодинамических Исследований КФ ГС РАН.

Выводы

С 1996 года в районе вулкана Карымский проводились эпизодические GPS наблюдения, которые позволили определить деформационную картину региона, связанную с землетрясением и извержениями вулканов Карымский и Академии Наук в 1996 году. Максимальные деформации растяжения порядка 270 ppm расположены севернее озера Карымское.

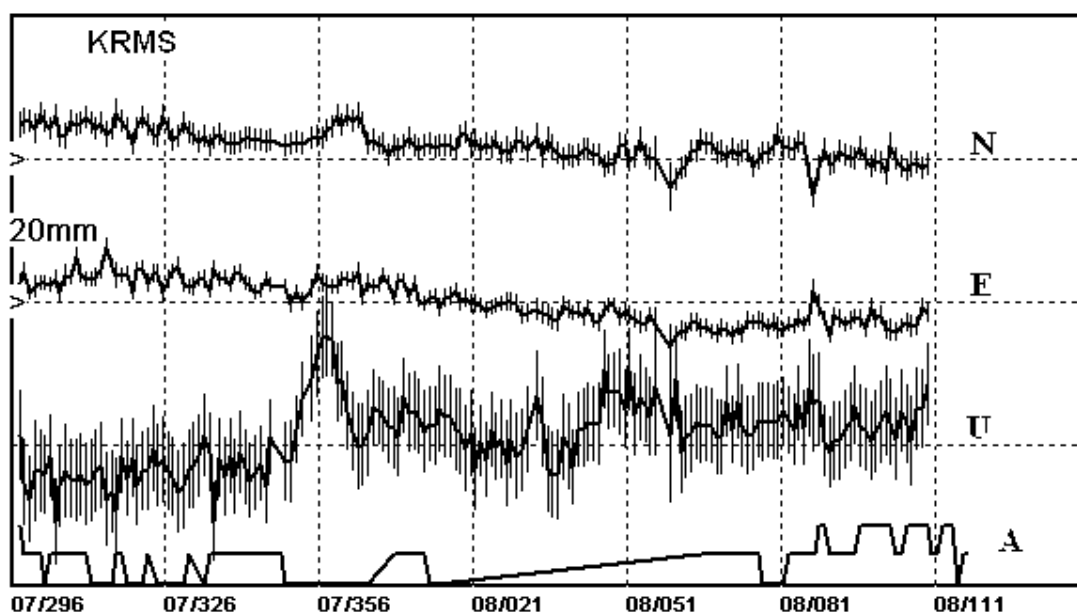


Рис. 7. Изменение координат пункта KRMS с 24.10.2007 г. по 19.04.2008 г. По горизонтальной оси – год и день года, 30 дней в клетке. Клетка по вертикали - 20мм. N, E, U – координаты: Север, Восток, Высота. А – активность вулкана Карымский. Вертикальные линии – ошибки, вычисленные GLOBK

Регулярные наблюдения 2000-2007 годов позволили выявить периодичность деформационного состояния микрополигона 4 x 6 км юго-восточнее вулкана Карымский, связанную с его активностью.

С конца октября 2007 года, рядом с сейсмостанцией (1.7 км от кратера), запущена автономная GPS станция, работающая в непрерывном режиме, результаты работы которой могут дать весьма ценную информацию для понимания процессов, связанных с жизнью вулкана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин В.Е., Магуськин М.А., Бахтиаров В.Ф., Павлов В.М., Титков Н.Н. Мультисистемный геодезический мониторинг современных движений земной коры на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 54-67.
2. Documentation for GAMIT GPS analysis software. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. Release 9.9. 2001.
3. Herring T.A. GLOBK. Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program. Vers. 10.1. Internal Memorandum.: Mass. Inst. Tech., Cambridge. 2003.

GPS MONITORING OF KARYMSKY VOLCANO

V. F. Bakhtiarov¹, M.A. Maguskin²

¹*Kamchatkan Branch of the Geophysical Survey of the RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, RUSSIA. e-mail vila@emsd.ru*

²*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006; e-mail: magma@kscnet.ru*

The results of episodic GPS measurements from 1996 to 2007 are represented here as a tensor of deformations and local movements. The time series, from 24.10.2007 to 19.04.2008, of permanent GPS station, not far from crater, is showed in this paper.