

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАРЫМСКОМ ВУЛКАНИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ (КАМЧАТКА) В 1972-2008 ГГ. ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

М.А. Магуськин¹, В.Е. Левин², В.Ф. Бахтиаров², Н.Н. Титков²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

²Камчатский филиал Геофизической Службы РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

Вулкан Карымский один из самых активных вулканов Камчатки в XX веке [Муравьев 1996]. Его извержения, как правило, продолжительные. Известные периоды активности 20-го века были в 1911–1912, 1920-х, 1934–1947, 1952–1966, 1970–1982 гг. [Иванов и др., 1991].

Очередное его извержение началось 02.01.1996г. и с перерывами продолжается до настоящего времени (сентябрь 2009 г.). Однако, на этот раз, произошли уникальные события. За несколько часов до начала извержения, в 15 км к югу от вулкана, произошло землетрясение $M_w=6.9$, $H=10$ км. Землетрясение такой силы не наблюдалось в вулканическом поясе Камчатки в течение предыдущих 50 лет. Через 12 часов после начала извержения вулкана Карымский на расстоянии 6 км от него произошло подводное извержение в Карымском озере, расположенном в кальдере считавшегося потухшим вулкана Академии Наук, которое длилось менее суток [Гордеев и др., 1998; Муравьев и др. 1997].

Исследования деформаций земной поверхности были начаты в 1971 г. Дальневосточным аэрогеодезическим предприятием и Институтом вулканологии.

Геодезические измерения 1972-1995 гг. охарактеризовали относительные деформации земной поверхности, связанные с деятельностью вулкана. Они имели следующие особенности.

1. В период с 1972 по 1995 гг. произошло общее относительное погружение площади (~ 40 км²), включающей вулкан Карымский. Оно, по-видимому, происходило симметрично относительно кратера вулкана в пределах его кальдеры. При таком допущении объем проседания за 23 года составляет около 0.057 км³ [Магуськин 2008].

2. Эксплозивная деятельность Карымского вулкана сопровождалась продолжительными колебаниями от 5 до 20 мм уровня земной поверхности у подножия его конуса на фоне относительного общего проседания земной поверхности в пределах кальдеры [Магуськин 2008].

3. Поле вертикальных подвижек вблизи вулкана Карымский, наблюдаемое на расстоянии от его кратера в пределах 1.7-3.5 км в период 1972–1995гг., удовлетворительно объяснялось любым изометричным или осесимметричным источником давления под вулканом, верхняя граница которого не ближе 1.5 км от поверхности земли [Магуськин и др., 2008].

4. В происхождении горизонтальных деформаций растяжения вблизи вулкана Карымский на расстоянии от 3 до 4 км от вершины его, трудно выделить главную причину. По-видимому, они связаны, в первую очередь, с более общим процессом - тектоническими движениями, охватывающими Восточный вулканический пояс Камчатки, и, во вторую очередь, с изменениями напряжений в магматической питающей системе вулкана и роями местных коровых землетрясений. Извержения с излияниями лавы в 1976, 1979, 1980 гг. происходили в период, когда наблюдалось растяжение земной поверхности примерно со скоростью 1.5×10^{-6} . В то же время в период 1989–1995гг., перед новым извержением 1996-2009 гг., у юго-восточного подножья, включая район выхода горячих источников вблизи истока реки Карымской, из Карымского озера происходило практически всестороннее растяжение земной поверхности с вдвое большей скоростью 3×10^{-6} в год. Это могло быть признаком поступления магмы с глубин в периферический очаг вулкана [Магуськин 2008].

Повторные геодезические измерения, выполненные в период февраль-сентябрь 1996 г. после событий 01-02.01.1996 г., показали следующие главные особенности деформаций.

1. На местности обозначилась локальная область измеренных максимальных деформаций. Она находится между кальдерами вулканов Карымский и Академии Наук, вытянута по направлению север-юг на ≈ 3.5 км [Магуськин 2008].

2. В области максимальных деформаций произошли разнонаправленные горизонтальные подвижки по широтному направлению, наибольшая измеренная величина растяжения равна 2.3 м. на базе 3.6 км. Измеренная повторным нивелированием величина относительного проседания репера, расположенного в 1.5 км к северу от центра подводного

извержения, равна 0.80 м. Борты зоны проседания испытали неодинаковый по амплитуде подъем: западный борт - на 60–70 см, восточный – на 20–30 см [Магуськин и др., 2008].

В 1997-2005 гг. GPS-наблюдениями определена область значимых горизонтальных деформаций (5×10^{-6} и более) земной поверхности в КВЦ на площади $\approx 30 \times 40$ км, происшедших в связи с землетрясением 01.01.1996 г. и начавшимися извержениями вулканов Карымский и Академии Наук. Максимальные растяжения до 2.34×10^{-4} зафиксированы на участке, расположенном между кратером подводного извержения и южной границы кальдеры вулкана Карымский. Погрешности определения плоских деформаций по главным осям лежат в пределах $\pm (1.2-2.4) \times 10^{-6}$.

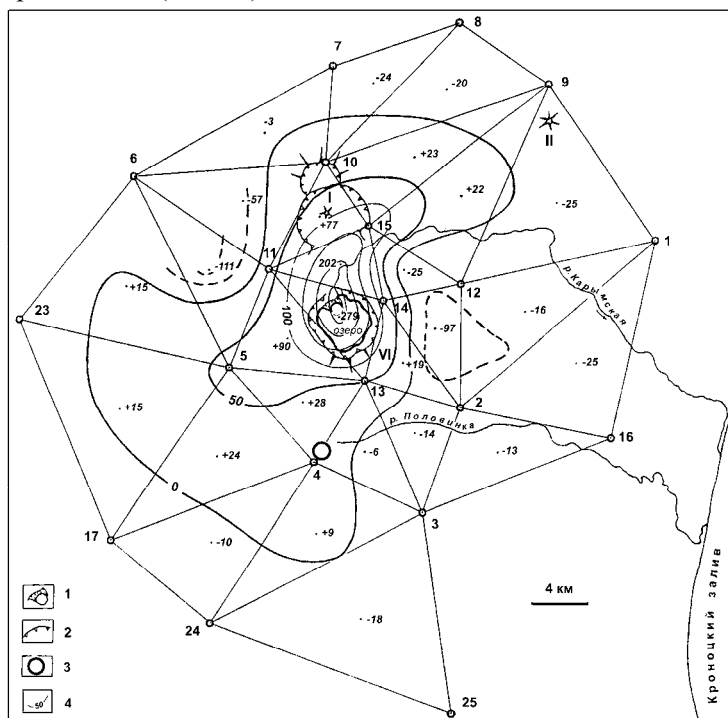


Рис. 1. Относительные изменения площадей плоских фигур (треугольников) – дилатации в КВЦ после извержений 01-02.01.1996г. в период от 1988 - 2000гг. в ед. 10^{-6} , указаны в центре треугольников и изолиниями по площади. 1 - кратер в озере и новый полуостров, образовавшийся при извержении; 2 - границы кальдер вулканов; 3 - эпицентр главного землетрясения; 4 - изолинии равных дилатаций в ед. 10^{-6} .

Рис. 1 иллюстрирует изменения площадей (дилатации) плоских фигур - треугольников. Эти данные очерчивают область положительных деформаций. Максимальное значение ее находится в районе подводного кратера в кальдере вулкана Академии Наук и составляет $2.8 \times 10^{-4} \pm 2.2 \times 10^{-6}$. Примечательно, что здесь же находились центры дилатации земной поверхности в 1975-1977 гг., 1977-1981 гг., 1981-1983 гг. и 1983-1988 гг., (рис.1) Средняя погрешность определения дилатаций в треугольниках составляет $\pm 2 \times 10^{-6}$. Граница нулевых деформаций (в данном случае граница между областями растяжения и сжатия) имеет неправильную форму и вытянута на юго-запад и северо-восток от центра подводного извержения. Минимальное удаление ее от центра извержения в кальдере Академии Наук в 1996-2000 гг. составляет 5.3 км, максимальное 17.6 км. В 1975-1988 гг. изолиния нулевых горизонтальных деформаций была более изометричной и ее расстояние от центра деформаций равнялось 13 ± 3.5 км [Федотов и др., 1996]. Это показывает, что центр или центры давления в 1996-2000 гг. находились на меньшей глубине (выше 18.3 ± 0.8 км), чем в 1975-1988 гг. [Федотов и др., 1996].

Вокруг области растяжения и положительных дилатаций простирается зона сжатия и отрицательных дилатаций (рис. 1). Они значимы, так как большая часть их значительно превышает погрешности определения, которые колеблются в пределах $\pm (1.2-2.4) \times 10^{-6}$. В восточном и северо-восточном направлениях область сжатия величиной -20×10^{-6} выходит за пределы Карымского геодинамического полигона и границы ее могут быть определены (в пределах чувствительности метода) при увеличении площади повторных измерений.

На рис. 2 представлены относительные изменения уровня земной поверхности вдоль замкнутой нивелирной трассы в разные периоды. Эти данные показали, что периоду интенсивной эффузивно-эксплозивной деятельности Карымского вулкана в 1996-2000 гг. соответствуют сравнительно большие, до 12 мм в год, вертикальные движения (преимущественно опускания) реперов.

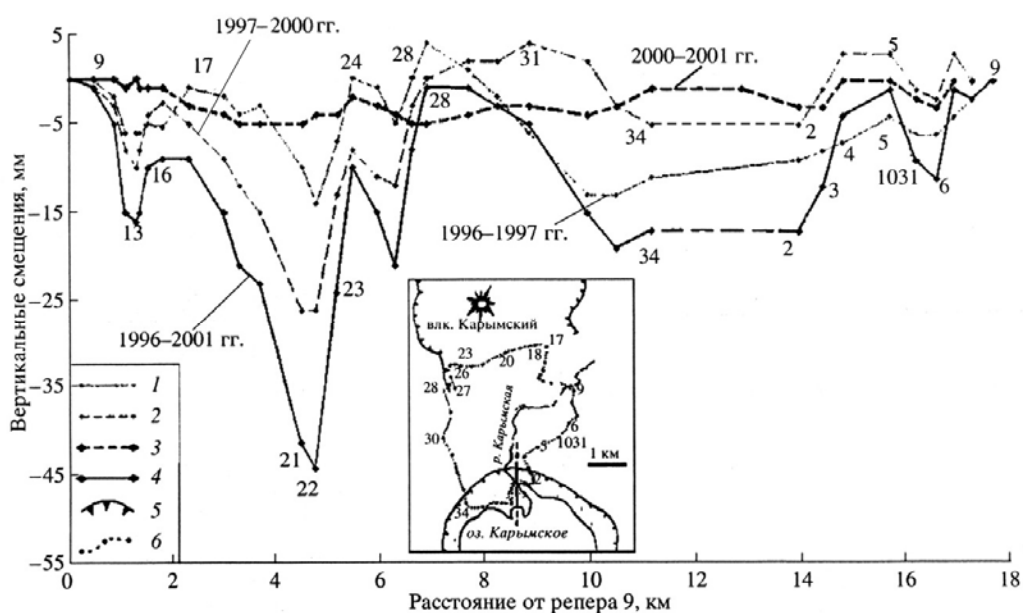


Рис. 2. Вертикальные движения вдоль нивелирного профиля в периоды: 1 – 1996-1997 гг.; 2 – 1997-2000 гг.; 3 – 2000-2001 гг.; 4 – 1996-2001 гг.; 5 – границы кальдер вулканов Карымский и Академии Наук; 6 – линия нивелирования и номера реперов.

Анализ результатов нивелирований 1996-2005 гг. показывает, что происходившие вертикальные подвижки имели следующие свойства.

1. Ближайшие к кратеру вулкана Карымский реперы, с 18 по 26 (рис. 3, вставка), в период 1996-2001 гг. опускались со средней скоростью 5-9 мм/г., однако не наблюдается прямой зависимости величин опусканий реперов от расстояния от кратера.

2. На участке от репера 23 до репера 28 в окрестности пересечения нивелирной трассы с западной границей кальдеры вулкана Карымский (рис. 3) наблюдаются из года в год наибольшие разнонаправленные вертикальные движения. Менее ярко выраженные контрастные движения присутствуют и на участке нивелирной трассы в районе реперов 3, 4, 5, 1031, 6 у северной границы кальдеры вулкана Академии Наук.

3. Характер вертикальных подвижек вдоль нивелирного профиля в периоды 1996-1997 гг. и 1997-2000 гг. был сходным: проседание в кальдере Карымского вулкана, реперы 17-24; сохранение уровня на перемычке между кальдерами, реперы 28-31 и 7-10; проседание у северного края кальдеры вулкана Академии Наук, реперы 33-3.

4. Результаты нивелирований за период 1996-2001 гг. показывают, что вертикальные подвижки вблизи подводного кратера в Карымском озере убывают по мере удаления от него и почти исчезают на расстоянии около 2.2 км от подводного кратера. То же самое происходит вблизи конуса вулкана Карымский, однако здесь граница "нулевых" подвижек находится дальше, на расстоянии примерно 3.2 км от кратера.

На рис. 3 сделана попытка установления взаимосвязи деформаций земной поверхности в пределах кальдеры вулкана Карымский с активностью вулкана и взрывными землетрясениями. Верхняя ломаная кривая "а₁" отражает ход средних значений относительных (в единицах 10⁻⁶) изменений длин линий в линейно-угловой сети вокруг конуса вулкана в 1973 – 1982 гг. на расстоянии 2-4 км от его вершины (рис. 3., вставка). Погрешность каждой точки по 1982 г. равна $\pm 3 \times 10^{-5}$. Начиная с 1986 г. аналогичные данные (ломаная кривая "а₂") показаны для участка местности находящемуся на ЮЮВ от кратера (район, ограниченный пунктами 20-45-44-9-62-63-217-47, рис. 3, вставка). Погрешность каждой точки здесь $\pm 3 \times 10^{-6}$, т.е. на порядок меньше, что объясняется использованием более высокоточной аппаратуры. На ломаной кривой вертикальных подвижек "б" данные однородны по точности, т.е. являются равноточными. Погрешность каждого определения (каждой точки) ± 2.4 мм. Кривая отражает вертикальные подвижки репера 20, наиболее близкого к действующему кратеру, относительно репера 9 (рис. 3, вставка) Рис. 3. показывает, что обобщенные за 33 года (с 1972 по 2005гг.) наклоны ломаных кривых горизонтальных и вертикальных составляющих деформаций земной поверхности в окрестностях конуса вулкана Карымский и его кальдеры не изменились после

скачкообразных подвижек во время событий 01-02.01.1996г. в Карымском вулканическом центре.

В целом, деформации земной поверхности Карымского вулканического центра произошли в результате увеличения давления в его магматическом очаге в 1972-1995 гг., центр которого находится на глубине примерно 18 км, и действия трех почти одновременных событий: сильного поверхностного землетрясения, $M=6.9$, начала очередного, после 13-летнего покоя, периода извержения андезито-дацитового вулкана Карымский, прорыва базальтов и кратковременного извержения в кальдере вулкана Академии Наук с образованием поверхностных разрывов (трещин).

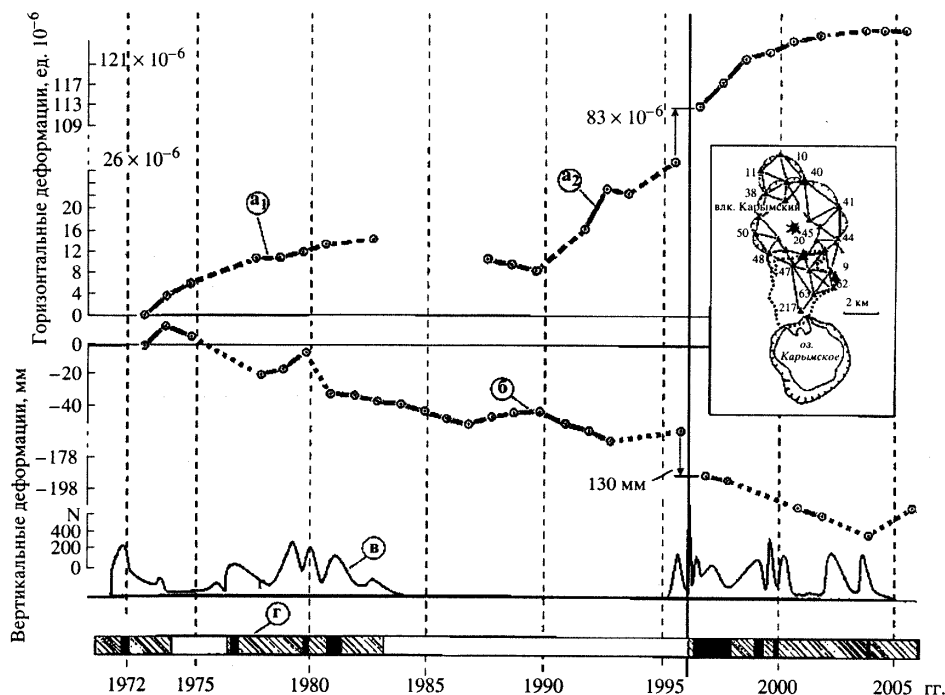


Рис. 3. Сопоставление подвижек земной поверхности с активностью вулкана в 1972-2005 гг. **а₁** - среднее значение измерений длин линий в ед. 10^{-6} в линейно-угловой сети вокруг конуса вулкана, ограниченной пунктами 48-50-38-11-10-40-41-44-9-47; **а₂** - то же на участке, ограниченной пунктами 20-45-44-9-62-63-217-47; **б** - вертикальные смещения репера 20 относительно пункта 40 с 1972 по 1996 гг. и далее относительно репера 9 с 1996 по 2005 гг.; **в** - ежесуточное число взрывных землетрясений; **г** - активность вулкана; **г** - фазы покоя; **II** - фазы эксплозивного извержения; **III** - фазы эффузивно-эксплозивного извержения. На вставке показана схема линейно-угловой сети геодезических пунктов и линия нивелирования.

Список литературы

Гордеев Е.И., Дрозин Д.В., Касахара М. и др. Сейсмические явления, связанные с извержениями вулканов Карымский и в кальдере Академии Наук // Вулканология и сейсмология, 1998. № 2. С. 28-48.

Иванов Б.В., Брайцева О.А., Зубин М.И. Вулкан Карымский // Действующие вулканы Камчатки, Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 182-203.

Магуськин М.А., Федотов С.А., Левин В.Е., Бахтиаров В.Ф. Деформации, связанные с сильным ($M = 6.9$) землетрясением, прорывом магм и извержениями в Карымском вулканическом центре в 1996 – 2005 гг. // Вулканология и сейсмология, 2008. №5. С. 22-40.

Муравьев Я.Д., Федотов С.А., Будников В.А. и др. Вулканическая деятельность в Карымском центре в 1996 г.: вершинное извержение Карымского вулкана и фреатомагматическое извержение в кальдере Академии Наук // Вулканология и сейсмология, 1997. № 5. С. 38-71.

Федотов С.А. Об извержениях в кальдере Академии Наук и Карымского вулкана на Камчатке в 1996 г., их изучении и механизме // Вулканология и сейсмология, 1997. № 5. С. 3-36.