

## МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗРЫВОВ, ОБРАЗОВАВШИХСЯ ВБЛИЗИ ВУЛКАНА КАРЫМСКИЙ (КАМЧАТКА) 1-2 ЯНВАРЯ 1996 г.

В.Л. Леонов

*Институт вулканологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, lvl@kcs.iks.ru*

В первых числах января 1996 года вблизи Карымского вулкана на Камчатке произошел рой сильных коровых землетрясений [Гордеев и др., 1998; Федотов, 1997]. Практически одновременно с землетрясениями началось извержение двух вулканов, расположенных в 6 км друг от друга: Карымского, последнее извержение которого было в 1982 году, и в кальдере Академии Наук, где извержения в историческое время не происходили [Муравьев и др., 1997; Федотов, 1997]. Извержение в кальдере, имеющей диаметр около 5 км и заполненной озером, закончилось через ~ 18 часов после начала. Извержение Карымского вулкана продолжается до настоящего времени. Обследование территории, произведенное в летний период 1996 года, показало, что в результате событий, произошедших в первых числах января, на поверхности сформировалось множество трещин и разломов [Леонов, 1997]. Была выявлена сложная геометрия некоторых разломов: пропеллерообразность плоскости сместителя, совмещение подвижек типа взброса и раздвига, изменение морфологических характеристик вдоль простирания нарушений и т.д. В настоящем сообщении рассматриваются особенности и вероятный механизм формирования этих разрывов.

На рис. 1 и 2 показано положение разрывов, основные их характеристики приведены в таблице 1. Большинство из выявленных нарушений по характеру произошедших по ним подвижек относятся к взбросам. В центре района в узкой меридиональной зоне размером 1,5 x 5 км, расположенной в верховьях реки Карымской, выявлены также разрывы с подвижкой типа сброса и раздвига. В этой меридиональной зоне зафиксированы и наиболее крупные горизонтальные и вертикальные перемещения по разрывам [Федотов и др., 1998; Леонов, 1999]. Надо отметить, что полученные данные о характере и амплитудах перемещений по выявленным нарушениям полностью совпали с инструментально измеренными горизонтальными и вертикальными деформация-

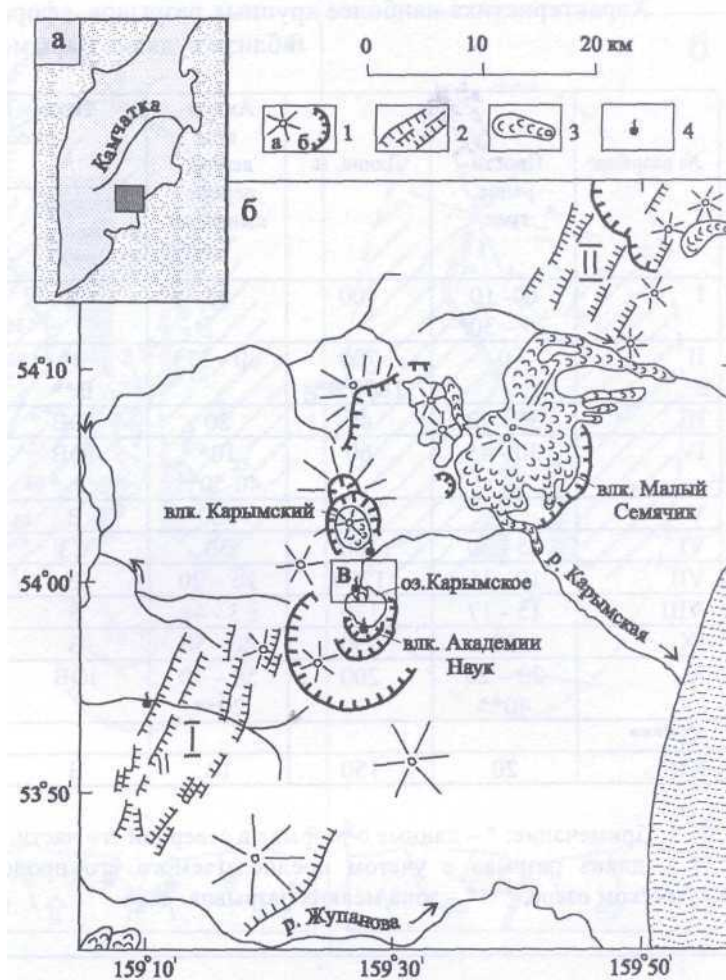
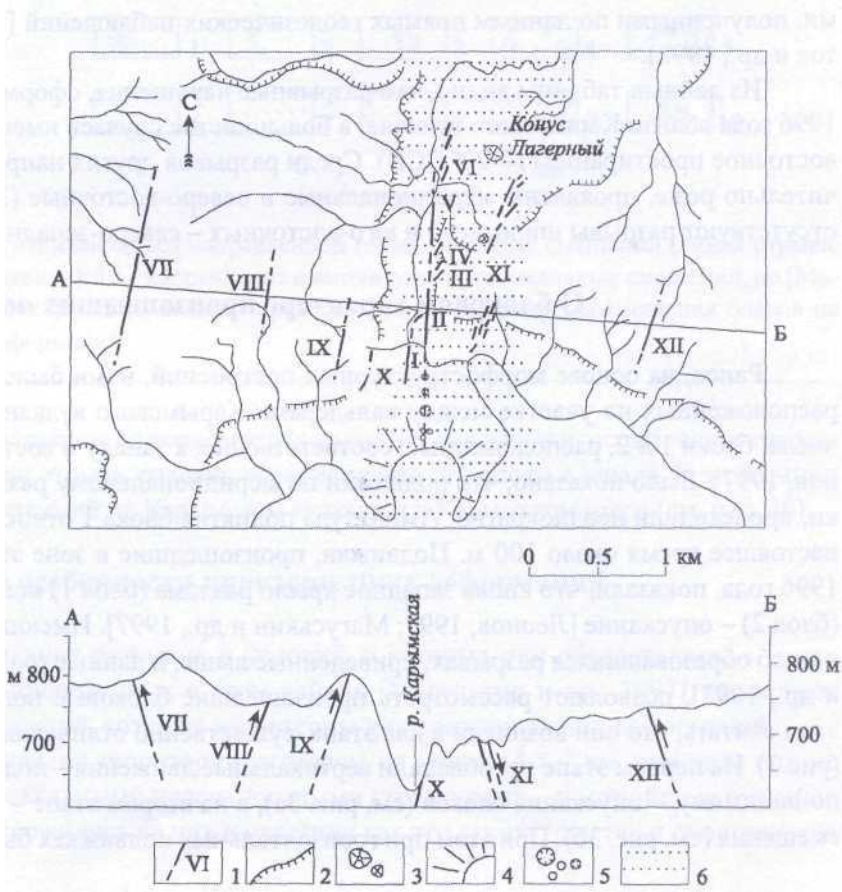


Рис.1. Обзорные схемы (а, б) района исследований.

1 - вулканы (а), кальдеры (б); 2 — разрывные нарушения позднплейстоцен-голоценового возраста (I, II — обособленные группы разрывов: I - Жупановско-Карымская, II - Мало-Большесемячичская); 3 - лавовые потоки позднплейстоцен-голоценового возраста; 4 - термальные источники. Прямоугольником в центре (в) показан участок, изображенный на рис.2.

Рис.2. Участок, где в начале января 1996 года сформировались наиболее крупные поверхностные разрывы.

1 - разрыв и его номер (характеристика наиболее крупных разрывов приведена в табл.); 2 - эрозионные уступы, ограничивающие кальдеры Карымскую (вверху), Академии Наук (внизу) и устье реки Карымской (в центре); 3 - шлаковые, лавовые конусы, некки; 4 - основной центр извержения, произошедшего в Карымском озере 2-3 января 1996 года; 5 - мелкие эксплозивные и провальные воронки, образовавшиеся вблизи основного центра извержения в Карымском озере; 6 - меридиональная зона растяжения и проседания (см. пояснения в тексте).



Характеристика наиболее крупных разрывов, сформировавшихся 1-2 января 1996 г.  
вблизи вулкана Карымский

№ разрыва	Прости- рание, град.	Длина, м	Ампли- туда вертик. переме- щения, см	Наклон плоскости сместителя		Тип разрыва	Раздви- говая состав- ляющая, см
				Направ- ление, румб	Угол, град.		
I	0 - 10 25 - 30*	400	85	В	80	сброс	20 - 50
II	0	700 1800***	80 - 375	З* В**	80 - 82	взброс* сброс**	До 250
III	30 - 70	40	20	ЮВ	80	сброс	До 60
IV	20 - 45	60	10* 40-50**	ЮВ	63 - 80	сброс	До 60
V	0	400	130	З	75 - 82	взброс	До 100
VI	25 - 30	100	30	СЗ	76	взброс	До 50
VII	10 - 15	1200	16 - 20	В	70 - 75	взброс	До 50
VIII	15 - 17	170	3 - 4	З	70 - 80	взброс	-
IX	20	250	40 - 50	З	70 - 80	взброс	-
X	20 - 25 40**	200	50 - 70 20**	ЮВ	70	взброс	-
XI****							
XII	20	150	10	В	81	взброс	-

Примечание: \* - данные о разрыве в северной его части, \*\* - данные о разрыве в южной его части, \*\*\* - длина разрыва с учетом предполагаемого его продолжения на юг, к центру извержения в Карымском озере, \*\*\*\* - зона мелких разрывов.

ми, полученными по данным прямых геодезических наблюдений [Магуськин и др., 1997; Федотов и др., 1998].

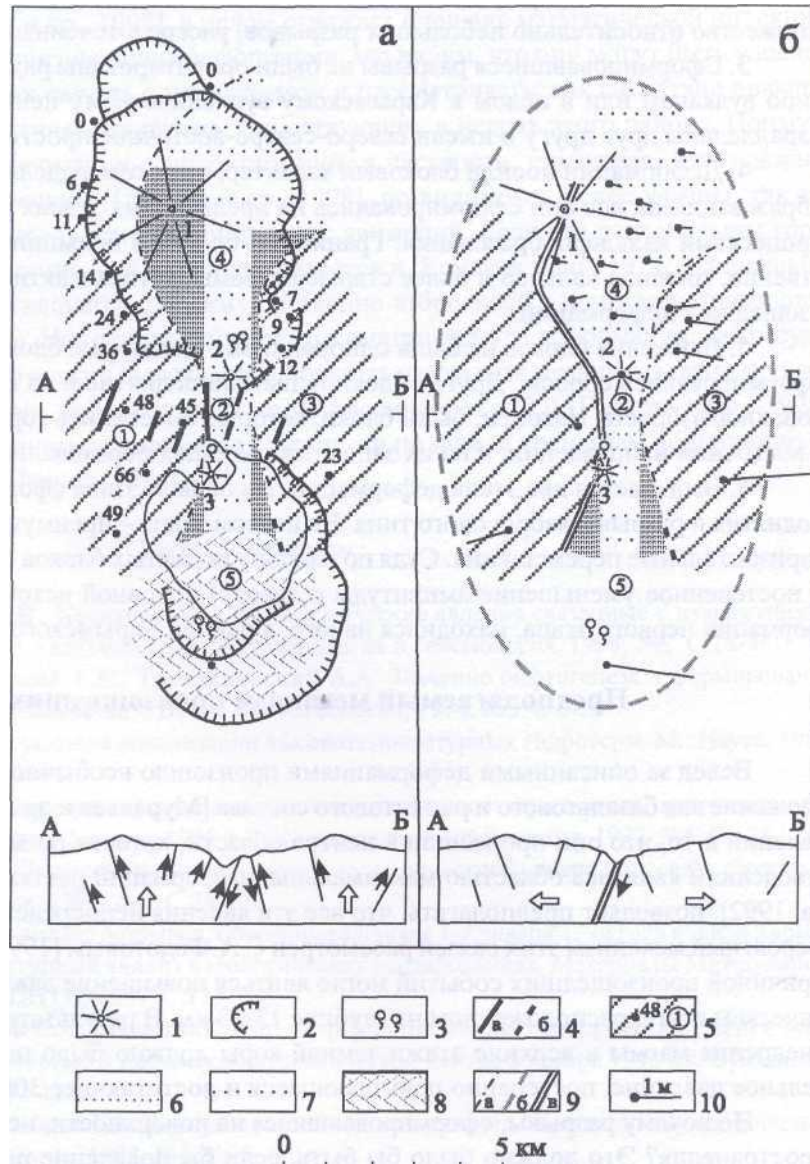
Из данных таблицы видно, что разрывные нарушения, сформировавшиеся в начале января 1996 года вблизи Карымского вулкана, в большинстве случаев имеют устойчивое северо-северо-восточное простирание (10-20° ССВ). Среди разрывов других направлений, встречающихся значительно реже, проявлены меридиональные и северо-восточные (30-70° СВ). Почти полностью отсутствуют разрывы широтного и юго-восточных - северо-западных направлений.

### О блоковом характере произошедших подвижек

Ранее, на основе морфоструктурных построений, нами было выделено несколько блоков, расположенных на участке между кальдерами Карымского вулкана и Академии Наук, и, в том числе, блоки 1 и 2, расположенные, соответственно, к западу и востоку от реки Карымской [Леонов, 1997]. Было показано, что подвижки по меридиональному разлому, разделяющему эти блоки, происходили неоднократно. Амплитуда поднятия блока 1 относительно блока 2 составляет в настоящее время около 100 м. Подвижки, произошедшие в зоне этого разлома в начале января 1996 года, показали, что вновь западное крыло разлома (блок 1) испытало поднятие, а восточное (блок 2) - опускание [Леонов, 1997; Магуськин и др., 1997]. Имеющиеся в настоящее время данные об образовавшихся разрывах, приведенные выше, и данные геодезических работ [Магуськин и др., 1997], позволяют рассмотреть произошедшие блоковые подвижки более широко, и при этом считать, что они возникли в два этапа, существенно отличающиеся по характеру смещений (рис.3). На первом этапе преобладали вертикальные движения - поднятия и значительно меньше, по-видимому, - опускания блоков (см. рис. 3а), а на втором этапе - опускания и горизонтальные смещения (см. рис. 3б). При этом при горизонтальных подвижках были одинаковым образом сме-

Рис.3. Блоковые подвижки, произошедшие в начале января 1996 года вблизи Карымского вулкана (а — поднятия и просадки, произошедшие на первом этапе деформаций; б - горизонтальные смещения, произошедшие на втором этапе деформаций).

1 - голоценовые вулканы (1 - Карымский, 2 - Лагерный, 3 - основной центр извержения 1996 года в Карымском озере); 2 - кальдеры; 3 - термальные источники; 4 - разломы: а - установленные, б - предполагаемые; 5-8 - участки, где были выявлены блоковые подвижки: 5 - поднятия и наклоны к северу (точка и цифра показывают амплитуду поднятия, по [Магуськин и др., 1997], цифра в кружке - номер блока), 6 - опускания с амплитудой до 1,5-2,0 м и наклоны к западу, 7 - опускания с амплитудой до 15 см [Магуськин и др., 1997], 8 - блок вулкана Академии Наук (по его границам образовалась серия дуговых трещин [Леонов, 1997], данные о вертикальных подвижках отсутствуют); 9 - линии, ограничивающие: а - поднятые и опущенные участки, по [Магуськин и др., 1997]; б —область, в которой были выявлены блоковые подвижки (обобщённо), в - участки, отличающиеся направлением горизонтальных смещений (линия отрыва, где наиболее ярко проявились раздвиги); 10 - направление и амплитуда горизонтальных смещений, по [Магуськин и др., 1997]. На разрезах стрелками показан предполагаемый характер перемещения блоков на первом (а) и втором (б) этапах деформаций.



цены к востоку как блоки, испытавшие на первом этапе поднятие, так и блоки, испытавшие опускание. Обозначилась как бы линия отрыва, раздвиг, ограничивший эти блоки с запада. К этой линии были приурочены центры извержений на Карымском вулкане и в Карымском озере (см. рис. 36).

### Основные особенности произошедших деформаций

Приведенные выше описания разрывов и условий, в которых они образовались, а также данные геодезических работ, проведенных в этом районе [Магуськин и др., 1997], позволяют говорить о целом ряде особенностей, которые характерны для произошедших деформаций.

1. Деформации проявились на территории размером не менее 14 x 7 км, при этом они не были ограничены какими-то локальными поверхностными структурами - постройками вулканов или кальдерами, они как бы наложались на них и охватили как эти структуры, так и пространства между ними.

2. В результате произошедших событий на поверхности сформировался не один разлом, а множество относительно небольших разрывов, рассредоточенных на большой площади.

3. Сформировавшиеся разрывы не были ориентированы радиально по отношению к каким-либо вулканам или в целом к Карымскому вулканическому центру. Большинство из них были параллельны друг другу и имели северо-северо-восточное простирание (около  $20^\circ$  ССВ).

4. Деформации носили блоковый характер, при этом выделившиеся блоки не были новыми образованиями, все они сформировались на предыдущих этапах развития, в основном, в связи с процессами кальдерообразования. Границами блоков в большинстве случаев явились, соответственно, границы кальдер и более старые разломы, которые активизировались в результате произошедших деформаций.

5. Движения блоков не были однородными. Некоторые блоки опустились и на их границах сформировались сбросы. Другие блоки испытали поднятие и на их границах (и на них) сформировались взбросы. Наконец, были блоки, которые сместились горизонтально, преимущественно в восточном направлении, и на их западных границах образовались раздвиги.

6. Выделяется два этапа деформаций. На первом этапе сформировались преимущественно поднятия и разрывы взбросового типа. На втором этапе - преимущественно опускания, сбросы и горизонтальные перемещения. Судя по наклону поднятых блоков (максимальное поднятие на юге и постепенное уменьшение амплитуды к северу) основной источник давления, вызвавшего деформации первого этапа, находился на юге, в районе Карымского озера.

### **Предполагаемый механизм произошедших деформаций**

Вслед за описанными деформациями произошло необычное явление - одновременное извержение лав базальтового и риолитового состава [Муравьев и др., 1997]. Несомненная связь этих явлений и то, что они произошли в центре области, которая по многолетним геодезическим наблюдениям являлась областью максимальных деформаций растяжения [Магуськин, Шароглазова, 1992], позволяет предполагать, что все эти явления непосредственно связаны с магматизмом. Вероятный механизм этих связей рассмотрен С.А.Федотовым [1997], который показал, что первопричиной произошедших событий могло явиться повышение давления в промежуточном магматическом очаге, расположенном на глубине 13-23 км. В результате последовавшего вслед за этим внедрения магмы в верхние этажи земной коры должно было появиться избыточное дополнительное давление, постепенно повышающееся и достигающее 300 бар на глубине 5 км.

Но почему разрывы, сформировавшиеся на поверхности, не имели осесимметричного пространства? Это должно было бы быть, если бы появление разрывов было связано только с действием избыточного давления в очаге. Большинство вновь сформировавшихся разрывов имеет устойчивое северо-северо-восточное простирание и это, скорее всего, связано с действием регионального поля напряжений, имеющего на Камчатке северо-северо-восточную ориентировку оси максимального горизонтального сжатия [Леонов, 1989]. Это позволяет представить поле напряжений, существовавшее на первом этапе деформаций, в следующем виде: ось максимального напряжения ( $y_1$ ) его была ориентирована вертикально (её направление определялось избыточным давлением магмы); оси среднего и наименьшего напряжения ( $y_2$  и  $y_3$ ) были ориентированы горизонтально, при этом ось максимального горизонтального напряжения ( $y_1$  Н max), соответствующая  $y_2$ , имела северо-северо-восточное простирание (около  $20^\circ$  ССВ).

На втором этапе деформаций, по-видимому, произошла переориентировка осей главных напряжений. Возникшие на этом этапе просадки свидетельствуют, что избыточное давление магмы в очаге исчезло. Судя по тому, что на этом этапе ясно проявились горизонтальные перемещения и при этом были образованы пологие сбросы и раздвиги, ось максимального напряжения в это время приобрела, по-видимому, горизонтальную ориентировку (стала соответствовать  $y_1$  Н max). Эти вновь возникшие условия, когда горизонтальное сжимающее напряжение оказалось выше, чем вертикальные напряжения, должны были остановить распространение магмы вверх и способствовать её внедрению по горизонтали. При этом, поскольку ось максимального сжимающего напряжения имела северо-северо-восточную ориентировку (около  $20^\circ$  ССВ), то горизонтальные внедрения магмы должны были происходить в направлении, перпендикулярном к этой оси. Можно предпо-

лагать, что территория, на которой проявилось упорядоченное горизонтальное смещение геодезических реперов [Магуськин и др., 1997], в целом отражает площадь магматической инъекции.

Рассматривая в целом произошедшие деформации, мы видим, что они могут быть удовлетворительно объяснены, если их связать с магматизмом и рассматривать, как следствие повышения давления в системе магматических очагов, существующих в недрах этого района. Попытки объяснить произошедшие деформации с иных позиций, в частности, признавая, что основное событие было чисто тектоническим [Гордеев и др., 1998], по-видимому, менее удачны, так как остаётся не ясным, какова природа этих тектонических движений. Если это региональное горизонтальное поперечное растяжение, как это предполагается в [Ермаков и др., 1974; Флоренский, Трифионов, 1985], то это не согласуется с преимущественно взбросовой подвижкой, произошедшей в рассматриваемом районе. Нет оснований также рассматривать эти деформации, как результат левостороннего сдвига, что можно было бы предполагать из анализа механизма очага произошедшего одновременно с этими деформациями землетрясения с  $M = 7.0$  [Гордеев и др., 1998]. Сдвиговых перемещений в данном районе ни по старым, ни по новым трещинам обнаружено не было [Леонов, 1997; Леонов, Иванов, 1994].

#### *Список литературы*

**Гордеев Е.И., Дроздин 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.

**Ермаков В.А., Милановский Е.Е., Таракановский А.А.** Значение рифтогенеза в формировании четвертичных вулканических зон Камчатки // Вестн. МГУ. Геология, 1974, №3. С.3-20.

**Леонов В.Л.** Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1989. 104с.

**Леонов В.Л.** Поверхностные разрывы, связанные с землетрясением и извержениями, произошедшими в Карымском вулканическом центре 1-2 января 1996 г. // Вулканология и сейсмология, 1997, №5. С.113-129.

**Леонов В.Л., Иванов В.В.** Землетрясения Карымского вулканического центра и их связь с тектоникой // Вулканология и сейсмология, 1994, №2. С.24-40.

**Леонов В.Л.** Структурный анализ разрывов, сформировавшихся 1-2 января 1996 года вблизи Карымского вулкана (Камчатка) // Структурный анализ в геологических исследованиях. Материалы Международного научного семинара. Томск: ЦНТИ, 1999. С.133-136.

**Магуськин М.А., Федотов С.А., Левин В.Е.** и др. Деформации земной поверхности в связи с сейсмической и вулканической активностью в Карымском вулканическом центре в январе 1996 г. // Вулканология и сейсмология, 1997, №5. С.97-112.

**Магуськин М.А., Шароглазова Г.А.** Деформации земной поверхности Карымского вулканического центра // Вулканология и сейсмология, 1992, №4. С.90-110.

**Муравьёв 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.38-70.

**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.3-37.

**Федотов С.А., Муравьёв Я.Д., Иванов В.В.** и др. Извержения в кальдере Академии Наук и Карымского вулкана в 1996-1997 гг. и их воздействие на окружающую среду // Глобальные изменения природной среды. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 1998. С.127-145.

**Флоренский И.В., Трифионов В.Г.** Новейшая тектоника и вулканизм Восточной вулканической зоны Камчатки // Геотектоника, 1985, №4. С.78-87.