

**КАРЫМСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1 января 1996 года ( $M_S=7.0$ )**

***В.И. Левина, Е.И. Иванова, Е.И. Гордеев, А.А. Гусев, В.Е. Левин,***

***М.А. Магуськин, Ю.М. Хаткевич, Г.В. Рябинин***

Карымское землетрясение произошло 1 января в 09<sup>h</sup>57<sup>m</sup> в центре вулканических структур Камчатки, имеющих одноименное название. Одновременно с землетрясением в Карымском вулканическом центре (КВЦ) произошли уникальные природные явления - извержение центрального кратера Карымского вулкана и образование нового эруптивного центра в Карымском озере, в кальдере вулкана Академии Наук (рис. 1). Терминальное извержение Карымского вулкана явилось очередным после 1982 г. Это извержение ожидалось с марта 1995 г. [1,2], когда в КВЦ прошло два роя землетрясений [3]. Рой микроземлетрясений, начавшийся 1 января под вулканом, послужил сигналом готовящегося извержения вершинного кратера. Количество микроземлетрясений стремительно нарастало и вскоре превратилось в сплошной нераспознаваемый фон. Момент начала извержения точно установить невозможно, так как вулкан находится в безлюдном месте, а сейсмограммы станции "Карымский" "нечитаемы". Карымское землетрясение спровоцировало подводное извержение в кальдере вулкана Академии Наук. Момент начала этого извержения также точно установить невозможно по тем же причинам, но, по мнению исследователей [1], извержение началось 2 января между 13 и 14 часами местного времени. В результате извержения в Карымском озере образовались многочисленные цунами, изменились очертания берегов, образовался новый полуостров и кратер, который был назван именем П.И. Токарева [2].



**Рис. 1.** Фотография двух одновременных извержений: в кратере вулкана Карымский и кальдере Академии Наук  
Фото В.А. Подтабачного.

Сильное землетрясение и подъем магмы к поверхности в кальдере Академии Наук вызвали разрывные нарушения [4]. Основная зона разрывных нарушений расположена в верховьях реки Карымский и состоит из нескольких разрывов протяженностью 0.5-1 м каждый. Разрывы имеют меридиональное простирание. На поверхности разрывы представлены открытыми трещинами, рвами, провалами грунта. Раскрытие трещин в некоторых местах достигает 2-2.5 м. На рис. 2 показан один из поверхностных разрывов, возникших после Карымского землетрясения и двух извержений.



Рис. 2. Поверхностный разрыв в верховьях р. Карымская

Фото В.Л. Леонова.

Сейсмичность в КВЦ за предыдущие годы (1962-1995 гг.) характеризовалась возникновением, как одиночных землетрясений, так и роевых последовательностей [3], происходящих, как правило, к югу от вулкана Карымский и приуроченных к глубинному магмоподводящему разлому [5]. В частности, последняя активизация в КВЦ наблюдалась в предыдущем, 1995 г.: 27-28 марта и 26-31 мая 1995 г. были зарегистрированы рои слабых ( $K_s=7.6-9.0$ ) землетрясений [3]. Эту активизацию некоторые исследователи [1] считают предвестником терминального извержения вулкана Карымский в 1996 г. За прошлые годы наиболее мощный рой землетрясений был зарегистрирован в январе 1978 г., когда произошло 61 землетрясение с  $K_s > 7.6$  с максимальным толчком 29 января в  $21^{\text{h}}51^{\text{m}}$  с  $K_s=12.7$ ,  $MLH=5.5$  [6,7], локализованном в точке  $\varphi=53.86^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=159.47^{\circ}\text{E}$ .

Сейсмическая активизация очаговой зоны Карымского землетрясения началась в КВЦ в 4 часа 1 января роем микроземлетрясений с  $K_s < 5$ , регистрируемых только на станции "Карымский" ( $t_s\text{-tr}\sim\text{lc}$ ), с концентрацией очагов под Карымским вулканом [8]. Начиная с 6 часов на фоне микроземлетрясений стали регистрироваться форшоки будущего Карымского землетрясения, координаты которых стало возможным определить сетью сейсмических станций КОМСП. Примерно за 4 часа до главного землетрясения было зарегистрировано 57 форшоков с  $K_s=7.6-12.0$ , а после него в течение года 960 афтершоков с  $K_s=7.6-12.5$  (рис. 3). Очаговая область имеет вид эллипса с осями  $20 \times 40$  км, вытянутый в северо-восточном направлении. Направление большой оси эллипса хорошо совпадает с направлением глубинного магмоподводящего разлома. Из разрезов очаговой области, представленных на рис. 4, видно, что ее вертикальный размер  $\sim 20$  км, так как глубины очагов основной массы афтершоков  $h \leq 20$  км. Процесс форшоков и афтершоков в день землетрясения

распространялся от вулкана к месту будущего события (рис. 5,а) и, начавшись на поверхности, уходил в глубину (рис. 5,б). Самый сильный форшок 1 января в  $09^h57^m$  произошел за 1 час до главного толчка в северо-восточной части очаговой области.

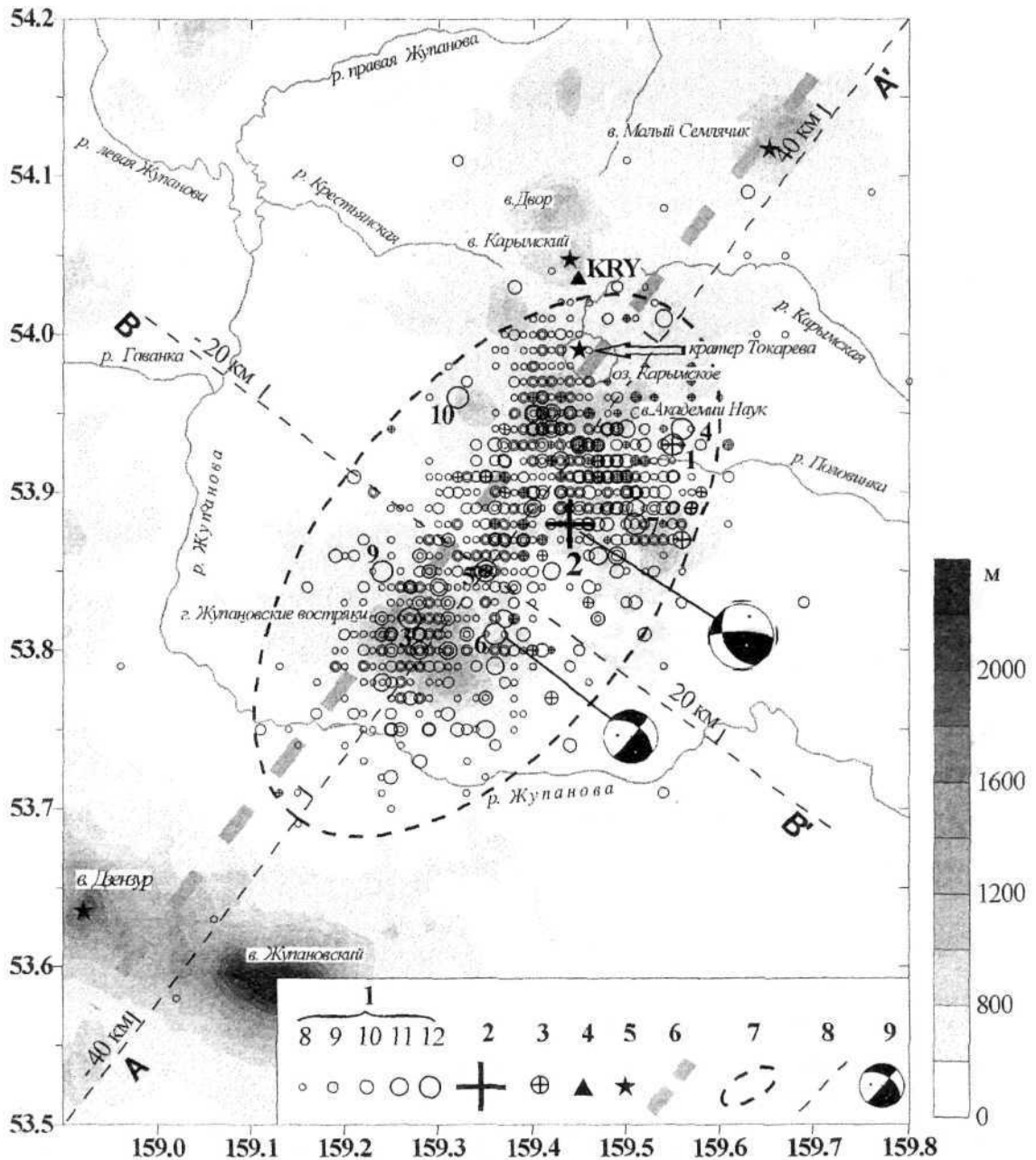


Рис. 3. Карта эпицентров форшоков и афтершоков Карымского землетрясения за 1996 г.

1 - энергетический класс  $K_2$ ; 2 - основной толчок; 3 - форшок; 4 - сейсмическая станция "Карымский"; 5 - действующий вулкан; 6 - глубинный магмоподводящий разлом; 7 - граница очаговой зоны Карымского землетрясения; 8 - осевые линии очаговой зоны А-А' и В-В'; 9 - диаграмма механизма очага.

Номера землетрясений здесь и на рис. 3,4 соответствуют таковым в графе I регионального каталога [9].

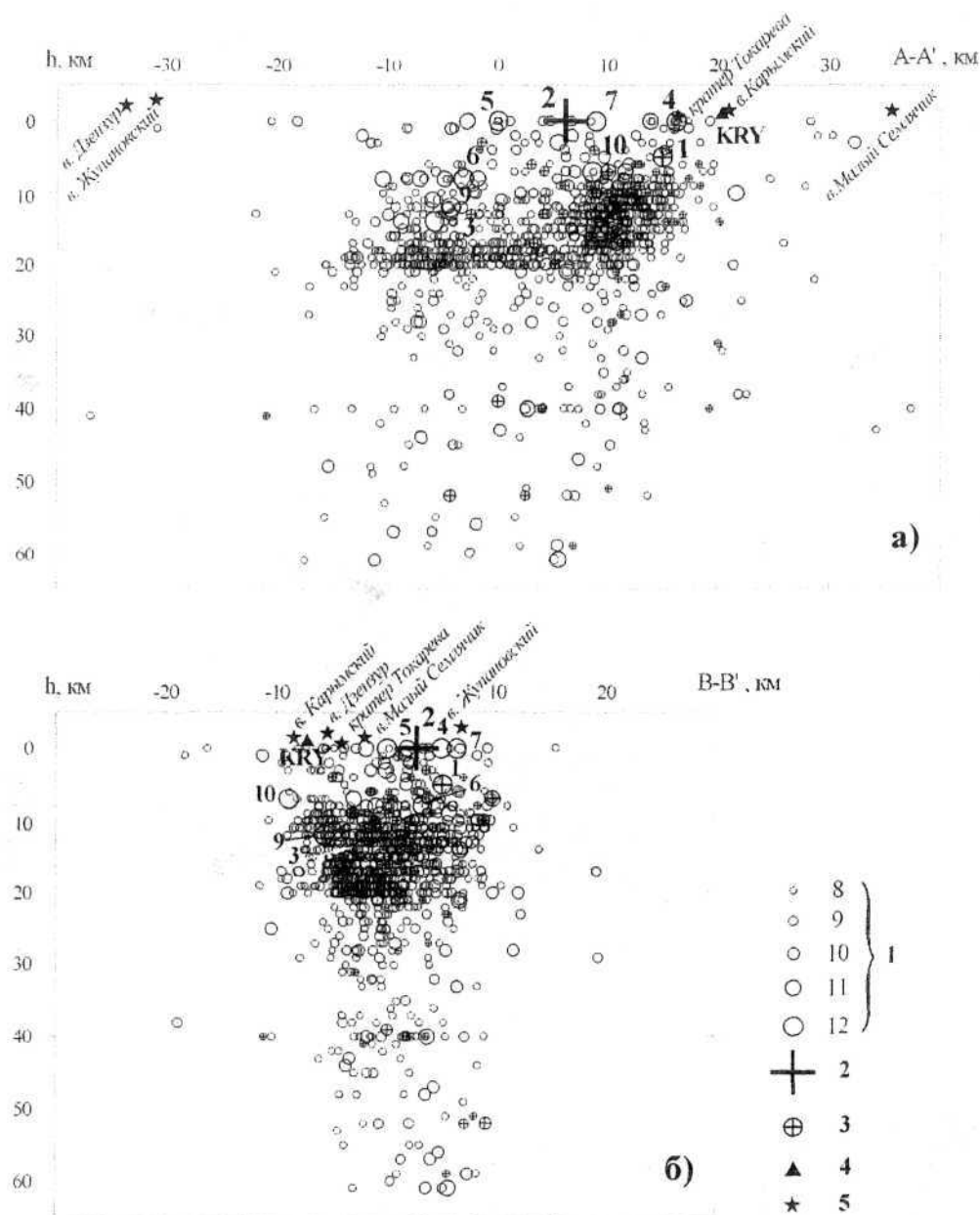


Рис. 4. Вертикальные разрезы совокупности землетрясений с рис. 3 по осям А-А' и В-В'

1 - энергетический класс  $K_s$ ; 2 - основной толчок; 3 - форшок; 4 - сейсмическая станция "Карымский"; 5 - действующий вулкан.

Вызывает сомнение инструментальное определение глубины очага главного события  $h=0$  км в [9] из-за отсутствия вступлений сейсмических волн на ближайшей станции "Карымский". По вертикальным разрезам очаговой области (рис. 4) и развертке во времени значений глубин очагов последовательно реализующихся форшоков (рис. 5,6) можно предположить, что более реальной для него представляется глубина  $h=10-20$  км.

Для Карымского землетрясения и его афтершока, происшедшего 2 января в  $09^h41^m$  ( $K_s=11.8$ ,  $M_S=4.9$ ,  $h=8$  км), удалось определить механизмы очагов [10]. Система напряжений, действующая в очаге главного события, характеризуется близгоризонтальной осью сжатия и близвертикальной осью растяжения ориентированными субмеридионально. Возможным результатом действия указанной системы напряжения в очаге является взбросовая подвижка по плоскости, имеющей субмеридиональное простирание, что подтверждается наличием взбросовых подвижек,

установленных в разрывных нарушениях в верховьях р. Карымской [4]. В расчете механизма использовались данные сейсмических станций КОМСП и мира ( $n=132$ ). Механизм очага Карымского землетрясения, приведенный в [10], заметно отличается от полученного ранее по данным всего 49 сейсмических станций [8]. Афтершок произошел несколько южнее основного землетрясения. Одна из возможных плоскостей разрыва в его очаге близвертикальна и имеет субмеридиональное простирание. Ось напряжения сжатия имеет субширотное простирание, растяжения - субмеридиональное. Тип подвижки в очаге — сбросо-сдвиг со значительной сдвиговой компонентой. Сравнение описанных выше типов подвижек в очагах с таковыми для землетрясений роя 1978 г. [7] показывает, что система напряжений, действовавшая в эпицентральной зоне в 1996 г., сохраняет основные тенденции, выявленные ранее.

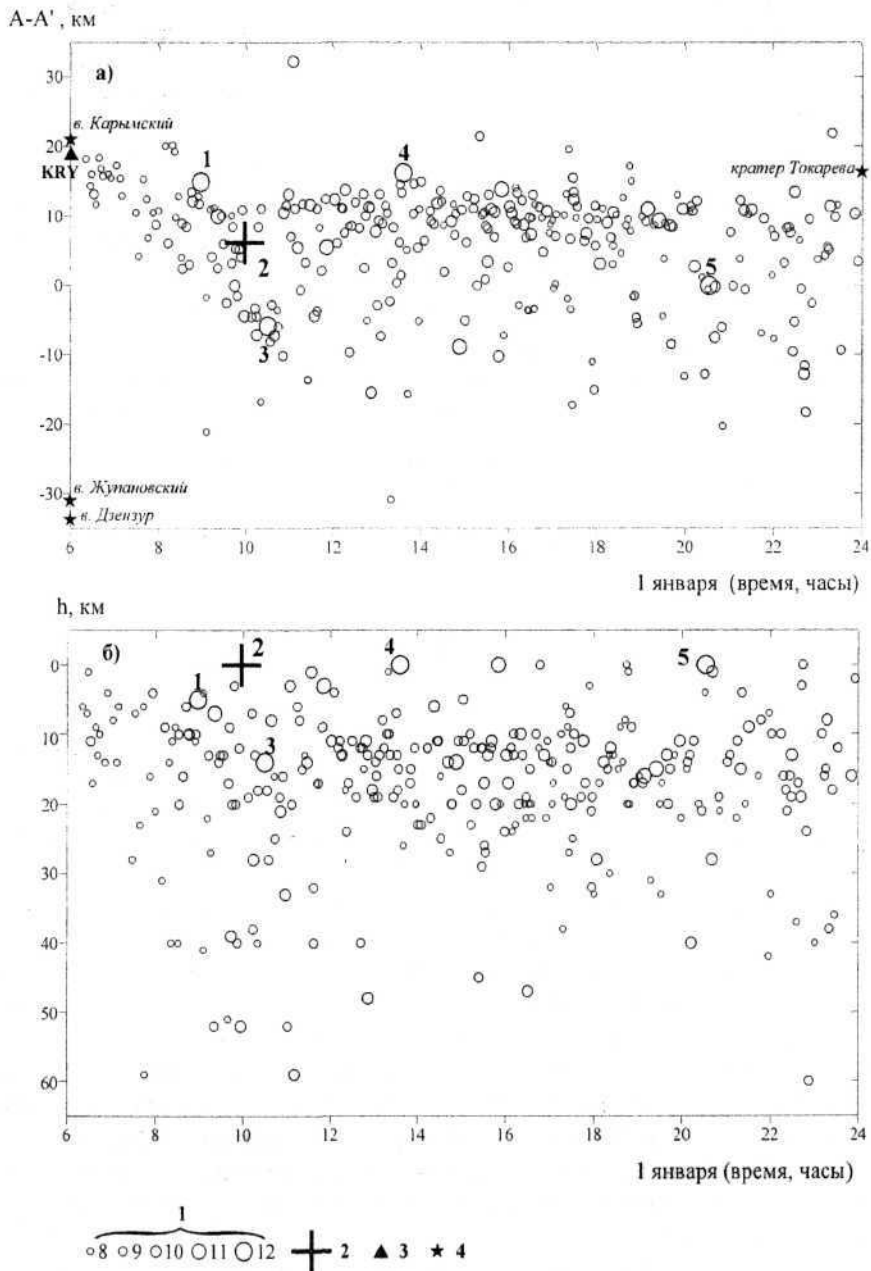


Рис. 5. Пространственно-временное распределение форшоков и афтершоков Карымского землетрясения за один день (1 января): а - в плане по линии А-А' (на рис. 3), б - по глубине  
1 - энергетический класс К; 2 - основной толчок; 3 - сейсмическая станция "Карымский"; 4 - действующий вулкан.

Карымское землетрясение произошло в ненаселенной местности в зимнее время, что сильно усложнило сбор макросейсмических данных. 2 января во время облета вулкана Карымский сотрудниками Института вулканологии была обследована эпицентральная зона землетрясения. Результаты этого обследования, а также макросейсмические данные из населенных пунктов представлены в табл. 1. Ввиду ограниченного числа пунктов наблюдений изосейсты построить не удалось.

Таблица 1. Макросейсмические данные о Карымском землетрясении ( $K_S=14.3$ ,  $M_S=7.0$ )

№	Пункт	$\Delta$ , км	№	Пункт	$\Delta$ , км
1	<u>7 баллов</u> Верховья р. Карымская	10		Петропавловск-Камчатский	106
	<u>6 баллов</u> База на р. Крестьянская			<u>4 балла</u> Жупаново	37
2	База в устье р. Гаванка	24		<u>3 балла</u> С/ст "Кроноки"	135
3	<u>4-5 баллов</u> Мильково 103	28		<u>2 балла</u> Пос. Ключи	283

**Записи сильных движений** получены на аналоговых станциях "Жупаново" и "Шипунский" и на цифровой станций "Петропавловск". В табл. 2 приведены зарегистрированные максимальные ускорения грунта (без коррекции формы АЧХ прибора). На рис. 6 показаны записи ближайшей станции "Жупаново" и их спектры Фурье. Запись имеет относительно низкочастотный характер.

Таблица 2. Максимальные ускорения грунта

Станция	Прибор	Компонента	Гипоцентральное расстояние, км	Максимальное ускорение, $\text{см/с}^2$
Жупаново	ССРЗ-М	EW	57	44.4
		NS		30.5
Шипунский	АСЗ-2	EW	81	8.7
		NS		12.9
		Z		6.1
Петропавловск	LGBB	EW	109	2.45
		NS		1.60
		Z		1.00

Деформации в очаговой зоне Карымского землетрясения обусловлены тремя причинами. Во-первых, это Карымское землетрясение, во-вторых, очередное извержение вулкана Карымский и, в-третьих, кратковременное фреато-магматическое извержение в кальдерном озере вулкана Академии Наук. Повторные геодезические измерения (рис. 7), выполненные после этих событий, показали следующее:

- В сравнительно длительном и равномерном процессе растяжения и опускания земной поверхности произошел резкий скачок деформаций того же направления (рис. 7,а).

- На местности обозначилась локальная область максимальных деформаций [11]. Она находится между кальдерами Карымской и Академии Наук, вытянута по направлению север-юг и имеет ширину несколько километров. В области максимальных деформаций произошли разнонаправленные горизонтальные подвижки по широтному направлению, наибольшая измеренная величина растяжения равна 2.3 м на базе 3.6 км. Здесь же имеется вытянутый вдоль реки Карымской участок шириной 1-1.5 км, который просел на величину до 1 м в 1.5 км к северу от центра подводного извержения в кальдерном озере вулкана Академии Наук (изолиния 0 на рис. 7,б). Борты зоны проседания испытали подъем, причем неодинаковый по амплитуде: западный борт на 60-70 см, восточный - на 20-30 см (рис. 7,б).

- GPS измерениями определена область значимых горизонтальных деформаций ( $\epsilon \geq 5 \cdot 10^{-6}$ ) земной поверхности, происшедших в связи с Карымским землетрясением и начавшимися извержениями вулканов Карымский и Академии Наук. Ориентировка главных осей плоской деформации в конечных элементах (в треугольниках) показывает, что разрывные нарушения от



землетрясения, подъем магмы в периферический очаг Карымского вулкана и последующее за ним вершинное извержение этого вулкана, а также прорыв магмы на дне кальдерного озера вулкана Академии Наук сопровождался растяжением земной поверхности по направлению запад-восток. Максимальные растяжения до  $\epsilon=234.4 \cdot 10^{-6}$  наблюдались на площади от места подводного извержения до южной границы кальдеры вулкана Карымский (рис. 7,в). Погрешности определения плоских деформаций по главным осям лежат в пределах  $\delta\epsilon=\pm(1.2-2.4) \cdot 10^{-6}$ .

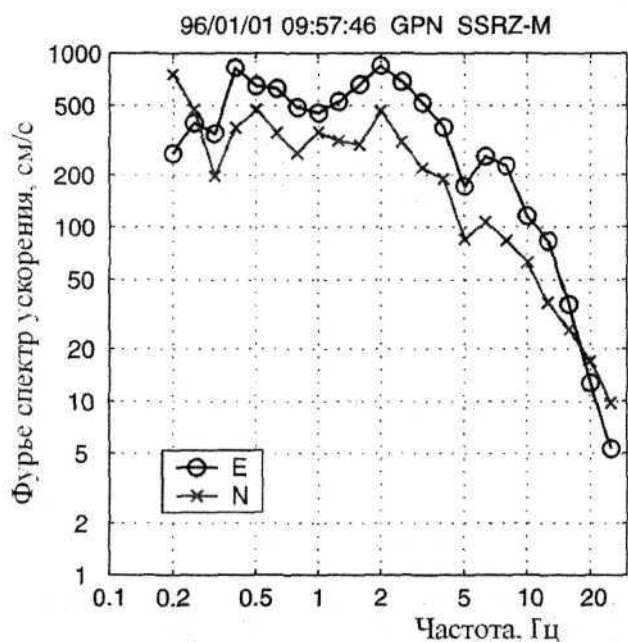
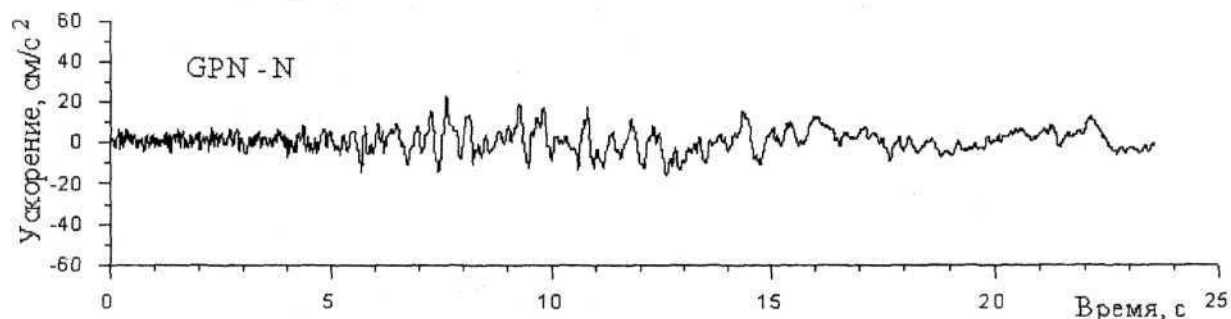
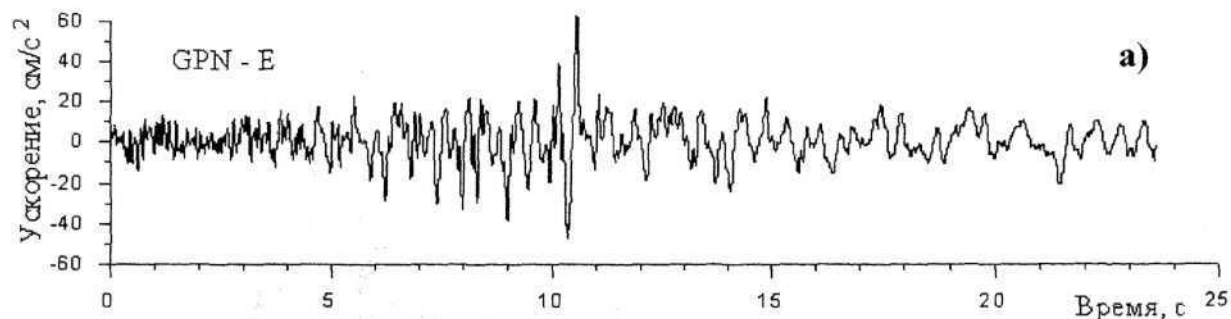


Рис. 6. Записи (а) и спектры Фурье (б) Карымского землетрясения станцией сильных движений

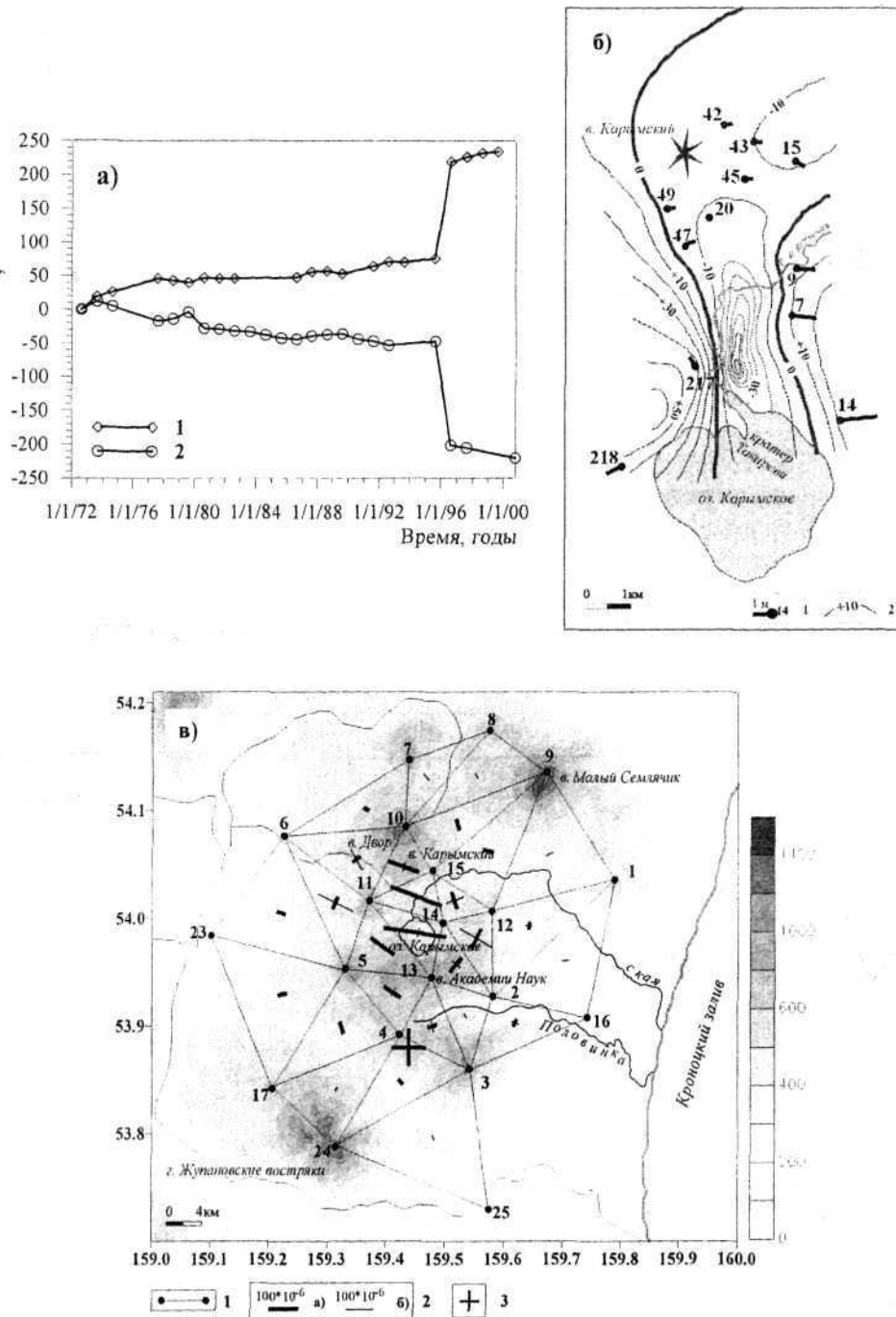


Рис. 7. Деформации земной поверхности в зоне очага Карымского землетрясения

- а) - ход деформации смещения за 1972-2000 гг. у подножья вулкана Карымский  
 1 - горизонтальное движение (изменение среднеарифметического значения длины линии в линейно-угловой сети вблизи вулкана); 2 - вертикальное движение репера 20 относительно репера 7 (см. реперы 20 и 7 на рис. 7,б);  
 б) - горизонтальные и вертикальные деформации после событий 1 января 1996 г. у подножья вулкана Карымский  
 1 - номер пункта, вектор и масштаб его горизонтальной подвижки; 2 - изолиния вертикальных движений;  
 в) - главные оси плоских деформаций растяжения и сжатия  
 1 - измеряемая линия; 2 - направление и величина растяжения (а) и сжатия (б); 3 - эпицентр основного толчка.  
 Цифрами на фрагментах (б,в) отмечены пункты наблюдений.



Л и т е р а т у р а

1. Муравьев Я.Д., Федотов С.А., Будников В.А., Озеров А.Ю., Магуськин М.А., Двигало В.Н., Андреев В.И., Иванов В.В., Карташева Л.А., Марков И.А. 1997. Вулканическая деятельность в Карымском центре в 1996 г.: вершинное извержение Карымского вулкана и фреатомагматическое извержение в кальдере Академии Наук // Вулканология и сейсмология. №5. С. 38-70.
2. Федотов С.А. 1997. Об извержениях в Кальдере Академии Наук и Карымского вулкана на Камчатке в 1996 г., их изучении и механизме // Вулканология и сейсмология. №5. С. 3-37.
3. Чубарова О.С., Левина В.И., Сенюков С.Л. 2001. Вулканические районы Камчатки // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. М: Изд-во ОИФЗ РАН. С. 105-111.
4. Леонов В.Л. 1997. Поверхностные разрывы, связанные с землетрясением и извержениями, произошедшими в Карымском вулканическом центре 1-2 января 1996 г. // Вулканология и сейсмология. №5. С. 113-129.
5. Масуренков Ю.П. 1991. Тектоническое положение и краткая история развития вулканов Восточной Камчатки // Действующие вулканы Камчатки. Т.2. М.: Наука. С. 8-13.
6. Федотов С.А., Симбирева И.Г. (отв. исп.), Лепская Т.С., Богатова Л.И., Борисова З.А., Березовская И.И., Ерохина Ж.В., Миндлина Т.В., Пасечко Н.И., Попкова Е.В., Прибылова Л.И., Феофилактов В.Д. 1982. Региональный каталог землетрясений Камчатки // Землетрясения в СССР в 1978 году. М: Наука. С. 196-203.
7. Зобин В.М., Фирстов П.П., Иванова Е.И. 1983. Рой землетрясений в районе вулкана Карымский в январе-феврале 1978 года // Вулканология и сейсмология. №5. С. 64-73.
8. Гордеев Е.И., Дроздин Д.В., Касахара М., Левина В.И., Леонов В.Л., Миямачи Х., Окаяма Х., Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. 1998. Сейсмические явления, связанные с извержениями в Карымском вулканическом центре в 1996 г. // Вулканология и сейсмология. №2. С. 28-48.
9. Левина В.И., Лепская Т.С. (отв. сост.), Зенина С.А., Кобзева А.А., Кривогорницына Т.М., Митюшкина С.В., Пасечко Н.П., Пилипенко Л.В., Шевченко Н.А. Камчатка и Командорские острова. См. раздел III (Каталоги землетрясений) в наст. сб.
10. Иванова Е.И. (отв. сост.). Камчатка и Командорские острова. См. раздел IV (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб.
11. Магуськин М.А., Федотов С.А., Левин В.Е., Бахтноров В.Ф. 1997. Деформации земной поверхности в связи с сейсмической и вулканической активностью в Карымском вулканическом центре в январе 1996 г. // Вулканология и сейсмология. №5. С. 97-112.