

**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  $K_S \geq 7.6$  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" ( $t_S - t_P \sim 1\text{c}$ ), 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 большей оси эллипса хорошо совпадает с направлением глубинного магмоподводящего разлома. Из разрезов очаговой области, представленных на рис. 4, видно, что ее вертикальный размер  $\pm 20$  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<sup>h</sup>57<sup>m</sup> произошел за 1 час до главного толчка в северо-восточной части очаговой области.

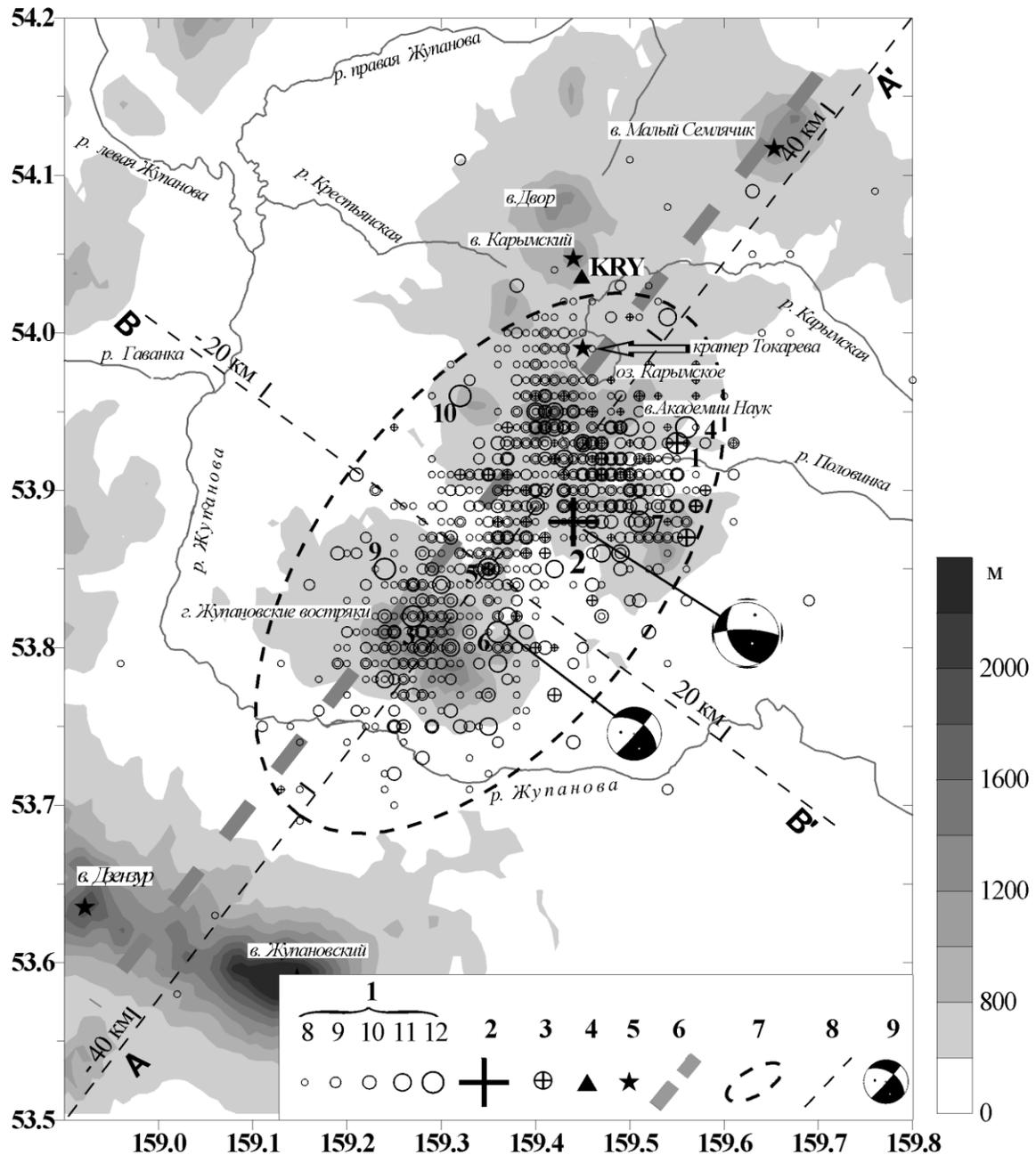
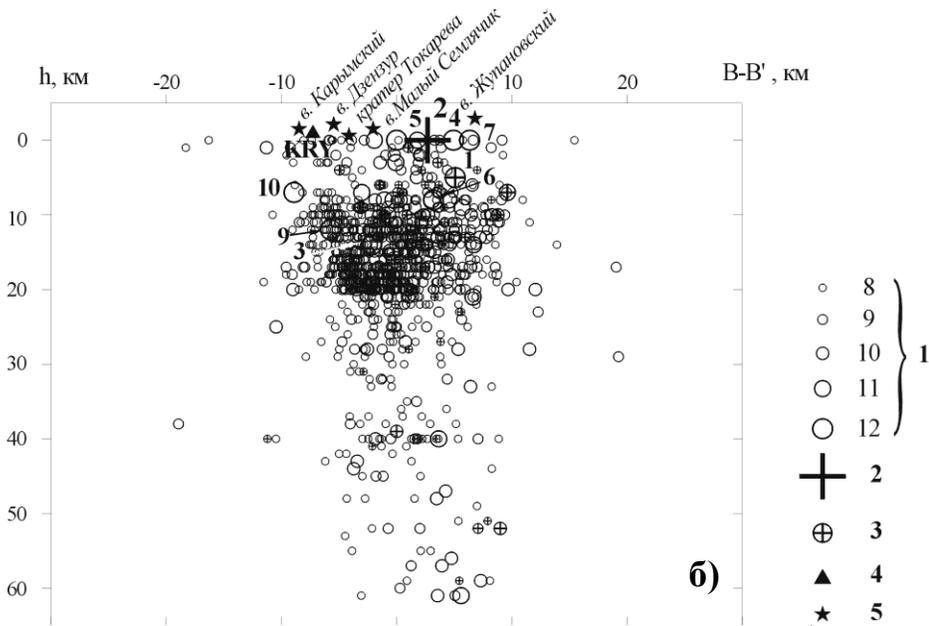
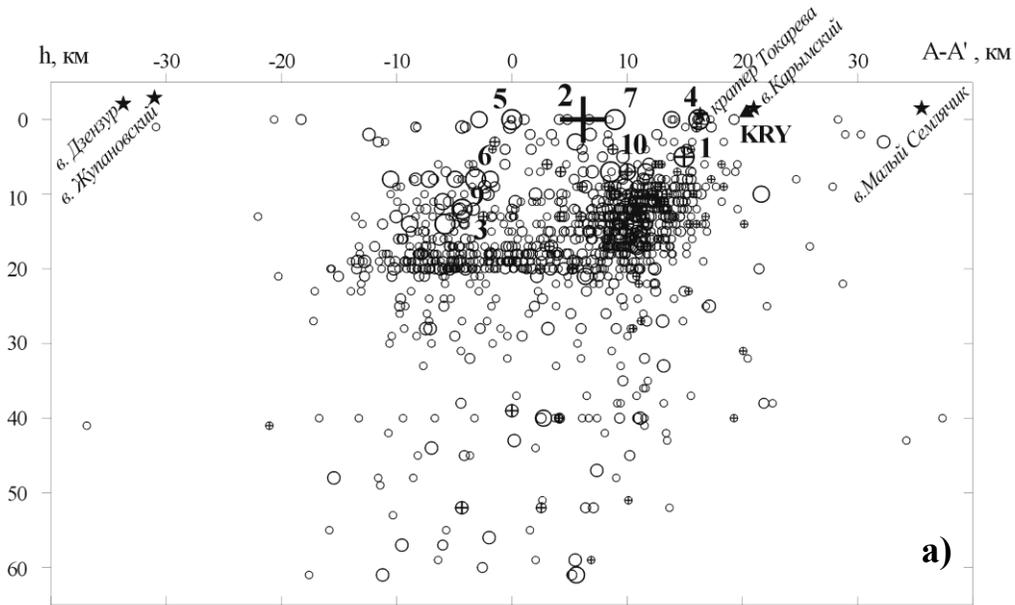


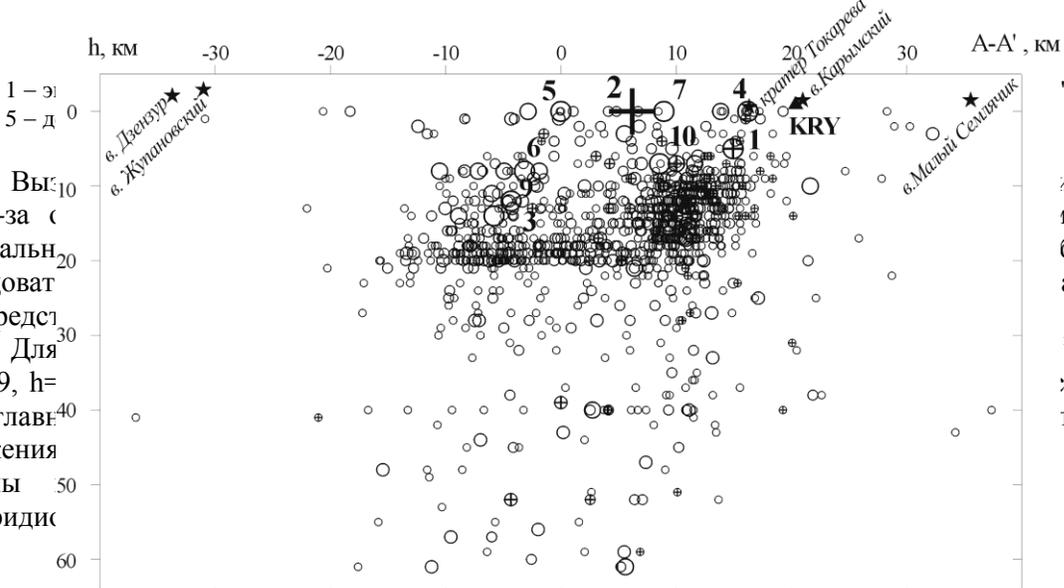
Рис. 3. Карта эпицентров форшоков и афтершоков Карымского землетрясения за 1996 г.

1 – энергетический класс  $K_S$ ; 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 1 регионального каталога [9].



- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- +
- ⊕ 3
- ▲ 4
- ★ 5



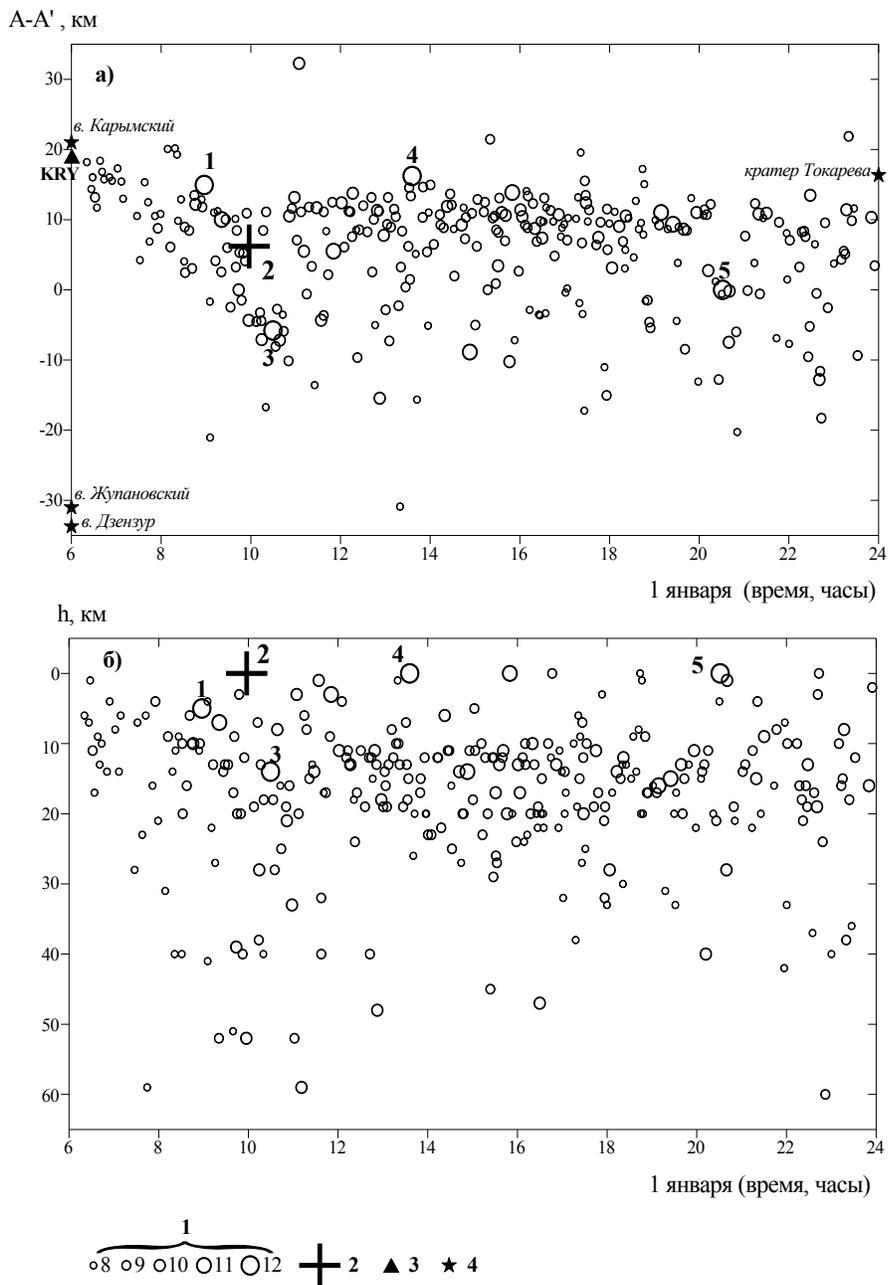
1 - э  
5 - д

Выс: 10  
[9] из-за с  
вертикальн  
последоват  
него предст  
Для  
MS=4.9, h=  
очаге главн  
растяжения  
системы  
субмеридик

':

ля h=0 км в  
иский". По  
бин очагов  
альной для  
m (K<sub>s</sub>=11.8,  
твующая в  
пльной осью  
указанной  
имеющей  
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  $K_5$ ; 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 ( $K_S=14.3$ ,  $MS=7.0$ )

№	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 станции "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, $cm/c^2$
Жупаново	ССРЗ-М	EW	57	44.4
		NS		30.5
Шипунский	АСЗ-2	EW	81	8.7
		NS		12.9
		Z		6.1
Петропавловск	LGVB	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). Борта 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  $\varepsilon=234.4 \cdot 10^{-6}$  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  $\delta\varepsilon=\pm(1.2-2.4) \cdot 10^{-6}$ .

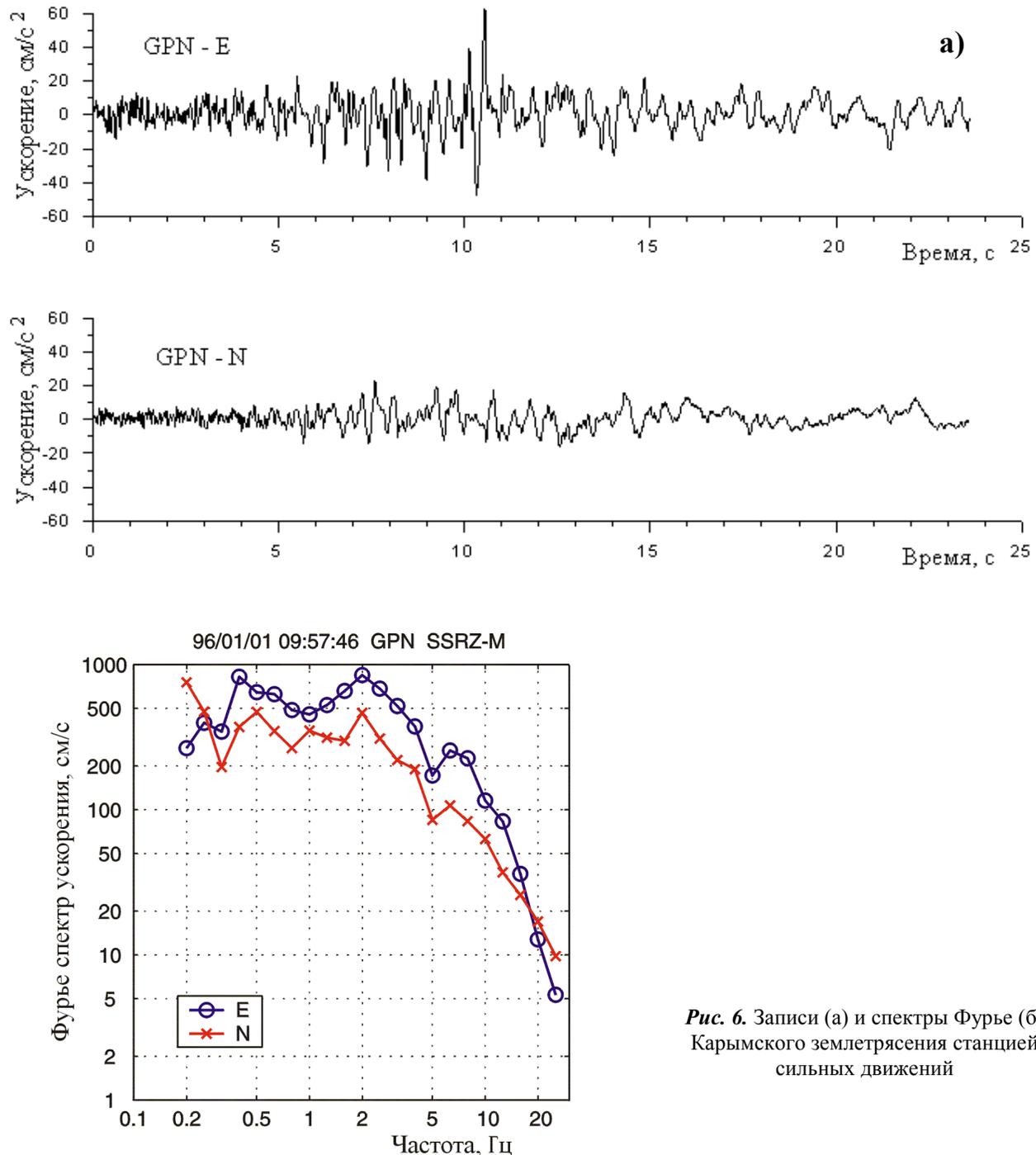
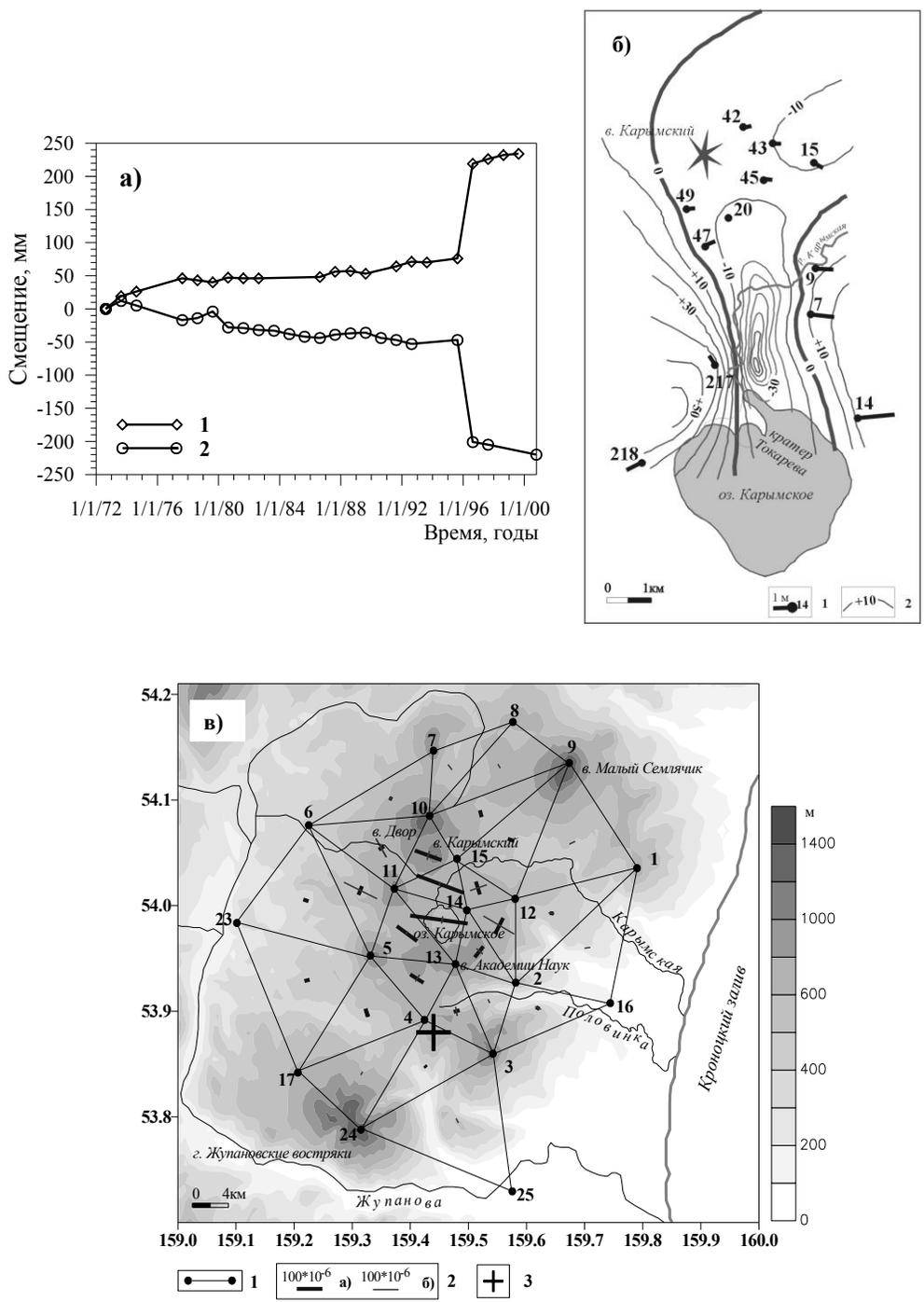


Рис. 6. Записи (а) и спектры Фурье (б) Карымского землетрясения станцией сильных движений



**Рис. 7.** Деформации земной поверхности в зоне очага Крымского землетрясения  
 а) – ход деформации смещения за 1972-2000 гг. у подножья вулкана Крымский  
 1 – горизонтальное движение (изменение среднееарифметического 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 Крымский  
 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., Каргашева 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., Сениуков 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., Бахтиаров 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.