

КАРЫМСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1 января 1996 года (MS=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^h57^m 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.

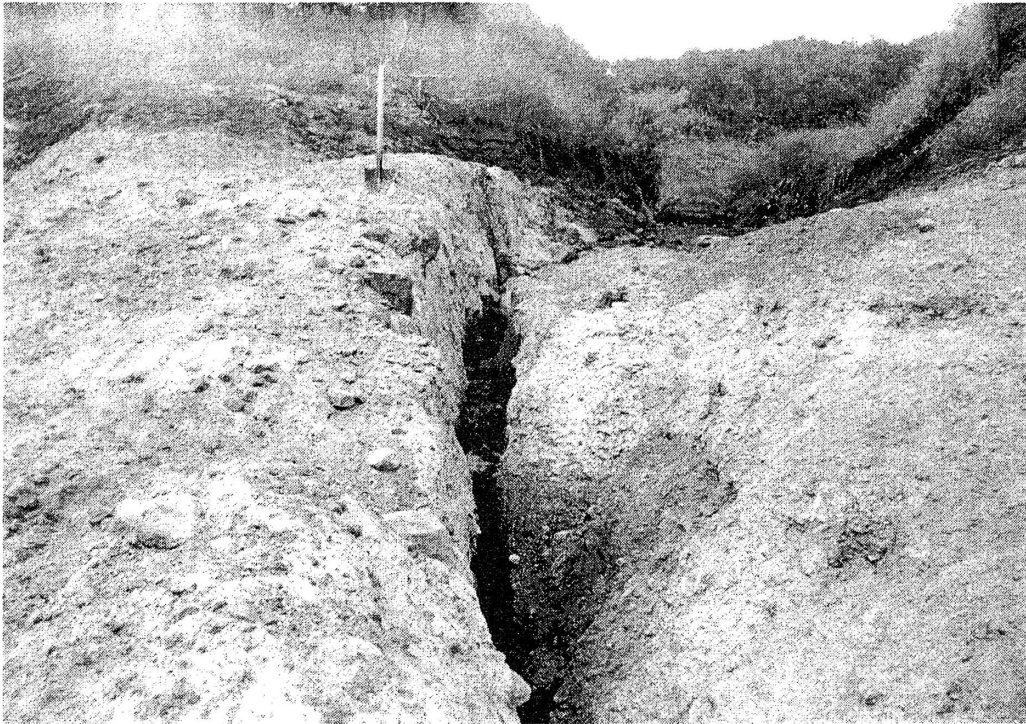


Рис. 2. Поверхностный разрыв в верховьях р. Карымская

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" ($t_S-t_P \sim 1\text{с}$), 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 20×40 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 ± 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.

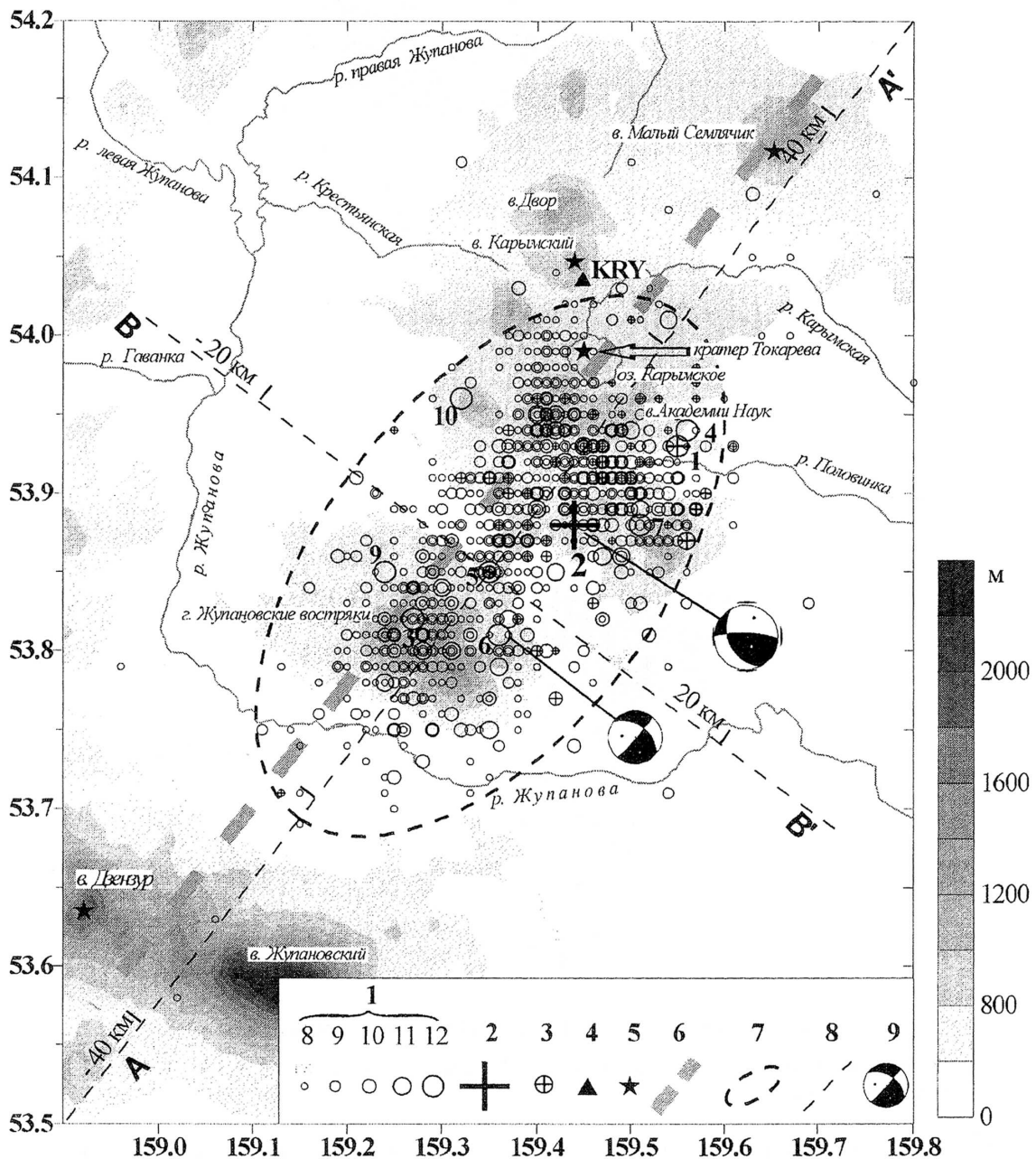


Рис. 3. Карта эпицентров форшоков и афтершоков Карымского землетрясения за 1996 г.

1 – энергетический класс K_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].

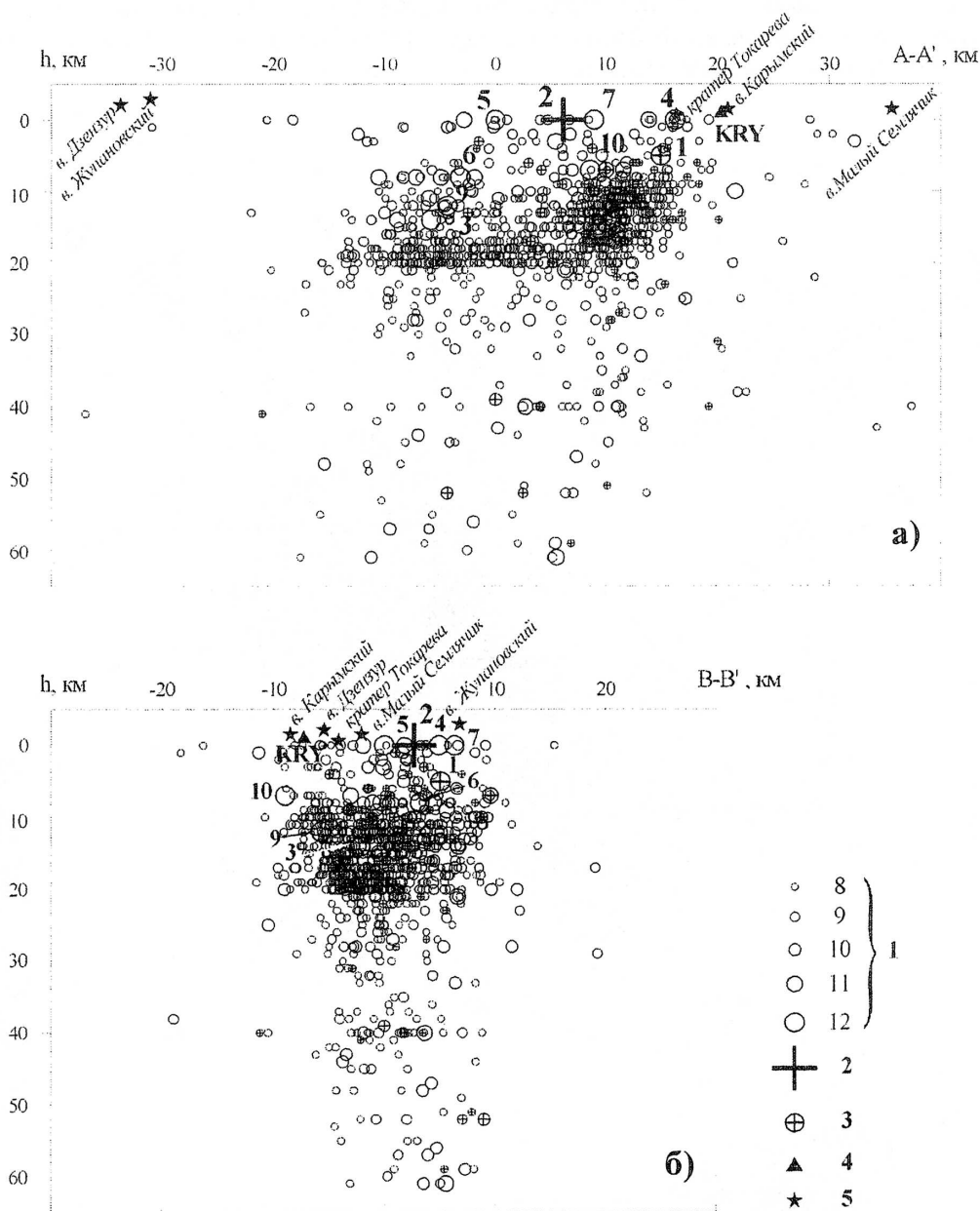


Рис. 4. Вертикальные разрезы совокупности землетрясений с рис. 3 по осям А-А' и В-В'

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,б) 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.

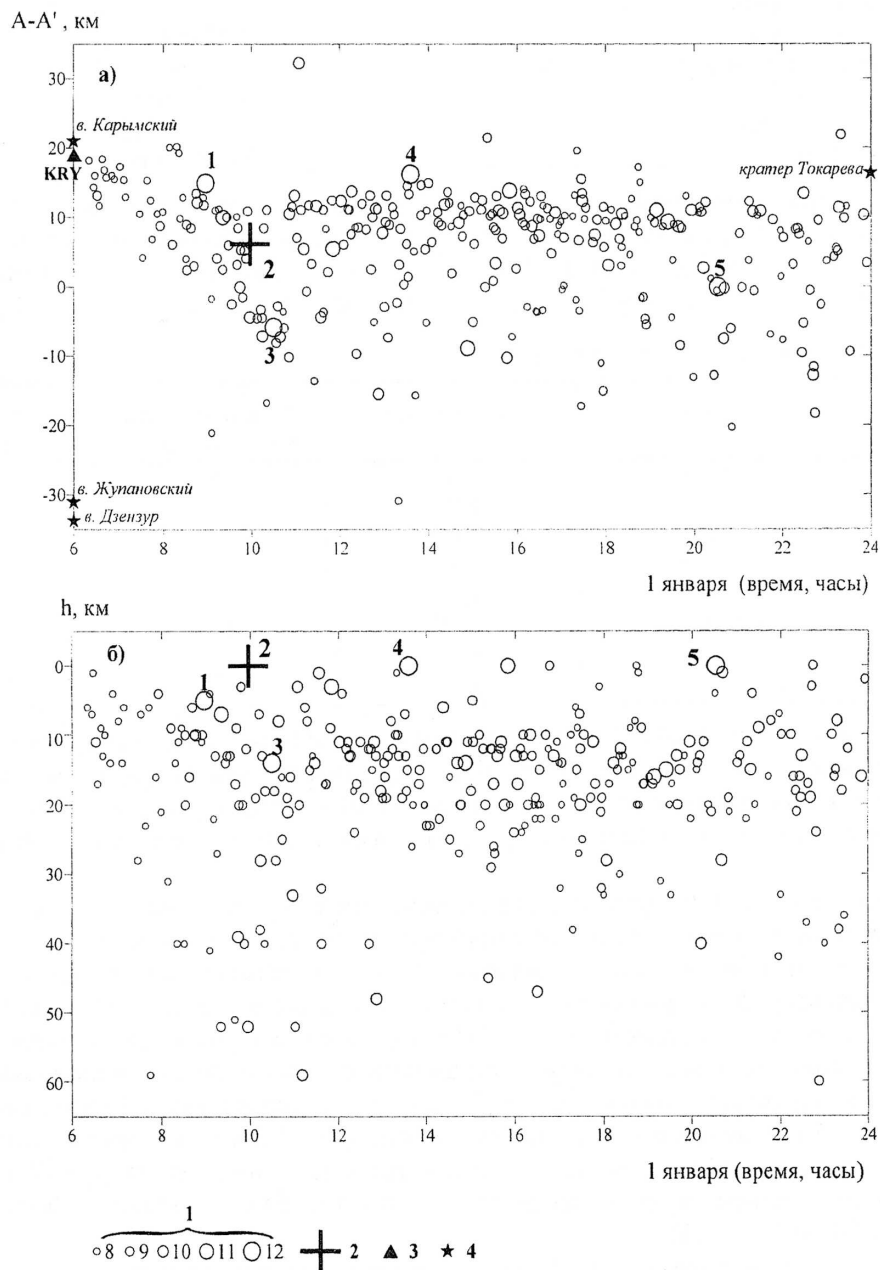


Рис. 5. Пространственно-временное распределение форшоков и афтершоков Карымского землетрясения за один день (1 января): а – в плане по линии А-А' (на рис. 3), б – по глубине

1 – энергетический класс 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 ($K_s=14.3$, $M_S=7.0$)

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

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, $\text{см}/\text{с}^2$
Жупаново	ССРЗ-М	EW	57	44.4
		NS		30.5
Шипунский	АСЗ-2	EW	81	8.7
		NS		12.9
		Z		6.1
Петропавловск	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). 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 $\delta\epsilon=\pm(1.2-2.4) \cdot 10^{-6}$.

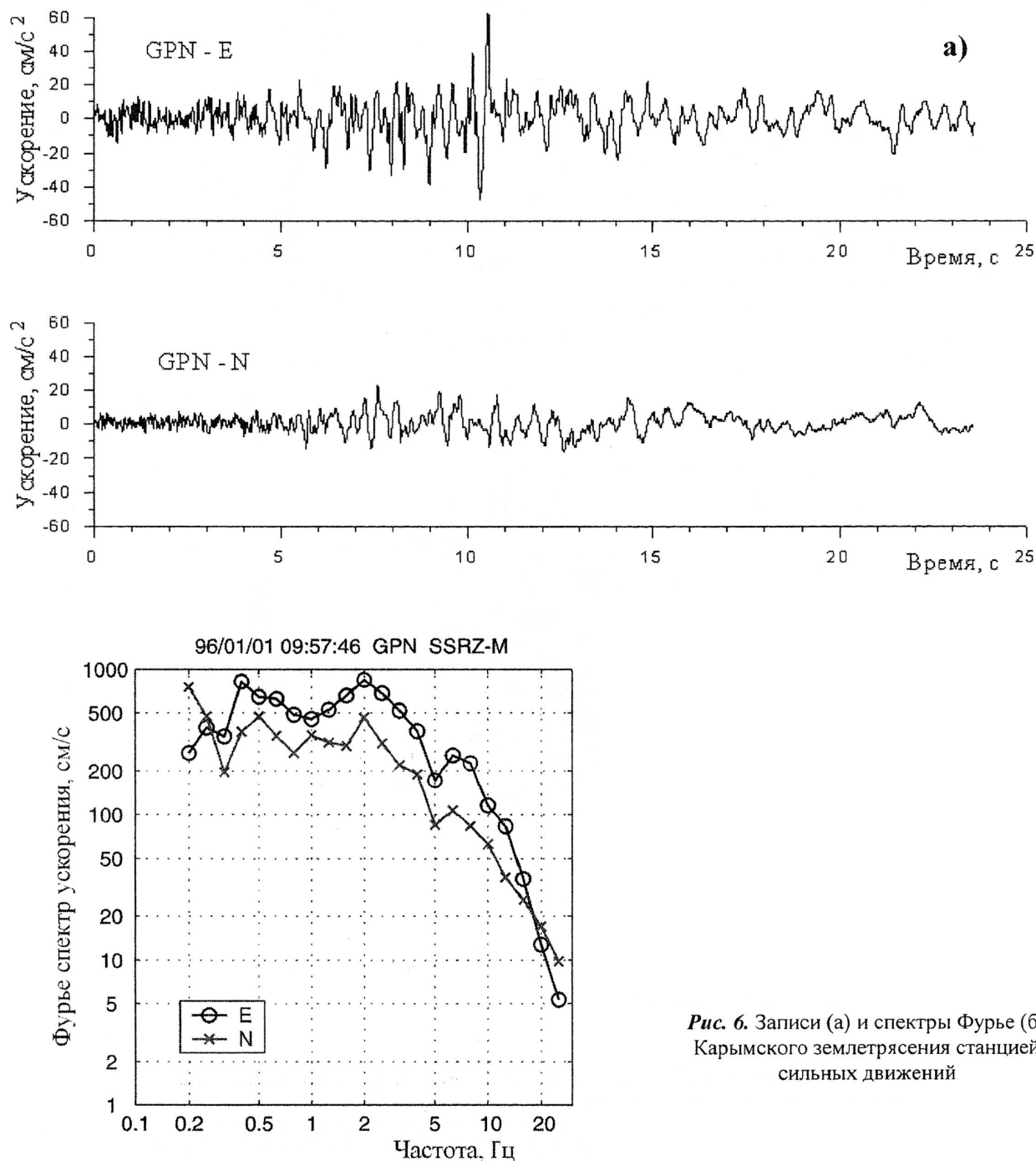


Рис. 6. Записи (а) и спектры Фурье (б) Карымского землетрясения станцией сильных движений

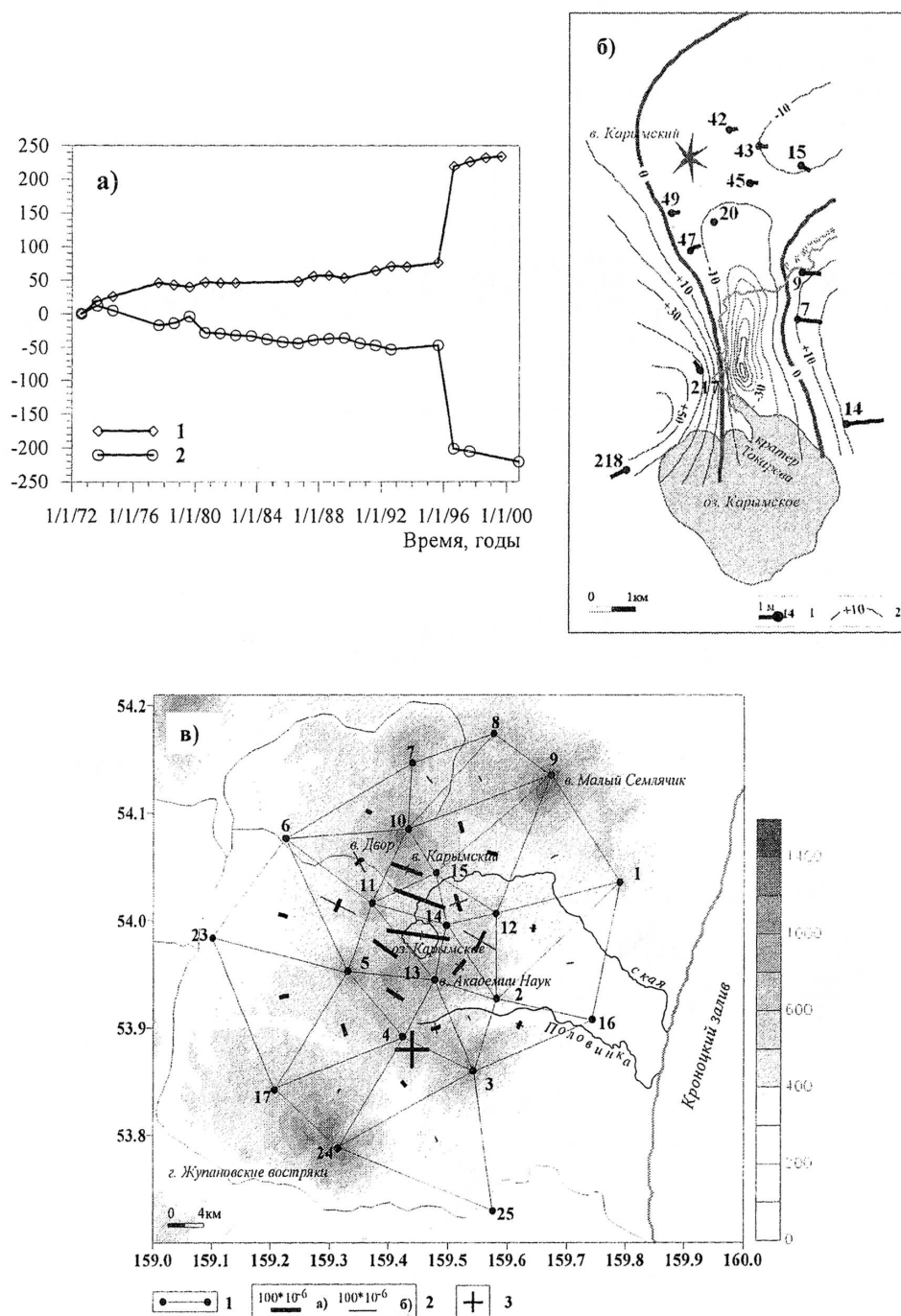


Рис. 7. Деформации земной поверхности в зоне очага Карымского землетрясения

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., 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., Дрознин Д.В., Касахара М., Левина В.И., Леонов В.Л., Миямачи Х., Окаяма Х., Салтыков В.А., Синицын 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.