

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/321426437>

# March 2, 1991, earthquake (MLH = 7.1) in the Gulf of Avacha, Kamchatka, and associated phenomena

Article · January 1997

CITATIONS

3

READS

11

11 authors, including:



**Vyacheslav Zobin**

Universidad de Colima

225 PUBLICATIONS 1,086 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**E. I. Gordeev**

Institute Of Volcanology And Seismology

167 PUBLICATIONS 2,957 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**D. V. Droznin**

Kamchatka branch of the Geophysical Service of Russian Academy of Sciences

32 PUBLICATIONS 340 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Anatoly Petukhin**

Geo-Research Institute

84 PUBLICATIONS 340 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Modelling of the long-period ground motions [View project](#)



Seismic risk in Colima state [View project](#)

УДК 550.34

© 1996 г. **ЗОБИН В.М., ГОРДЕЕВ Е.И., ЛЕВИНА В.И.,  
БАХТИАРОВ В.Ф., ГУСЕВА Е.М., ДРОЗНИН Д.В., ИВАНОВА Е.И.,  
ЛЕВИН В.Е., ПЕТУХИН А.Г., ХАТКЕВИЧ Ю.М., ЧИРКОВА В.Н.**

**КАМЧАТСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 2 МАРТА 1992 г.  
(МАГНИТУДА  $MLH = 7,1$ ) В АВАЧИНСКОМ ЗАЛИВЕ  
И СВЯЗАННЫЕ С НИМ ЯВЛЕНИЯ**

В ночь со 2 на 3 марта 1992 г. по местному времени (2 марта в 12 ч 29 мин по Гринвичу) в 108 км от города Петропавловска-Камчатского произошло землетрясение с магнитудой  $MLH = 7,1$ . Его эпицентр располагался в Авачинском заливе в 40 км к югу от мыса Шипунского. Это землетрясение ощущалось силой до 5–6 баллов на побережье юго-восточной Камчатки и явилось сильнейшим по магнитуде толчком у берегов юго-восточной Камчатки за последние три десятилетия. Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками. Землетрясение 2 марта 1992 г. продолжило сейсмический процесс, начатый землетрясением 6 октября 1987 г. (магнитуда 6,6) в Авачинском заливе. Оно предварялось аномальным ходом деформаций и аномальными вариациями ряда гидрогеохимических параметров. Примечательно, что некоторые геохимические компоненты повторили тип аномального поведения, наблюдаемого ранее перед землетрясением 1987 г., но с большей амплитудой и продолжительностью.

THE AVACHA BAY, KAMCHATKA, MAGNITUDE  $MLH$  7.1 EARTHQUAKE OF MARCH 2, 1992 AND RELATED PHENOMENA, by Zobin V.M.\*, Gordeev E.I.\*, Levina V.I.\*, Bakhtiarov V.F.\*\*, Guseva E.M.\*\*\*, Droznin D.V.\*, Ivanova E.I.\*, Levin V.E.\*\*, Petukhin A.G.\*\*\*, Khatkevich Yu.M.\* and Chirkova V.N.\* A magnitude  $MLH$  7.1 earthquake occurred at a distance of 108 km from the town of Petropavlovsk-Kamchatsky during the night of March 2–3, 1992 local time (12 h 29 min GT, March 2). The epicenter was located in the Avacha Bay 40 km south of Cape Shipunskii. The earthquake was felt with shaking intensities as high as V–VI on the coast of southeastern Kamchatka and has the highest magnitude for shocks occurring off southeastern Kamchatka for the last three decades. The earthquake was followed by numerous aftershocks. It continued the seismic process which started with the Avacha Bay magnitude 6.6 earthquake of October 6, 1987. The precursory phenomena include anomalous strains and anomalous variations in some groundwater and geochemical parameters. It is noteworthy that some of the geochemical components have mimicked the type of anomalous behavior that was observed before the 1987 event, but the amplitudes and duration were greater.

(Received January 6, 1995)

\* *Technique Testing Seismological Team, Institute of Volcanology, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

\*\* *Institute of Volcanology, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

\*\*\* *Institute of Volcanic Geology and Geochemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

В ночь со 2 на 3 марта 1992 г. по местному времени (2 марта в 12 ч 29 мин по Гринвичу) в 108 км от города Петропавловска-Камчатского произошло землетрясение с магнитудой  $MLH = 7,1$ . Его эпицентр располагался в Авачинском заливе в 40 км к югу от мыса Шипунского (рис. 1). Это землетрясение ощущалось силой до 5–6 баллов

некоторых землетрясений эту волну удастся увидеть после специальной фильтрации и масштабных преобразований записей. Природа и характеристики этого явления обсуждаются на уровне гипотезы в работе [3].

На рис. 5 и 6 приведены примеры записи таких землетрясений. На рис. 5 представлены результаты обработки программой ПАВС цифровой записи землетрясения 29 мая 1982 г. (12 ч 21 мин 13 с). Отчетливо видно появление новой составляющей сейсмического процесса за 30 с до прихода *P*-волны на *EW*- и *NS*-компонентах. На *NS*- и *Z*-компонентах ПАВС отмечено также изменение сигнала (добавление низкочастотной составляющей) между приходом *P*- и *S*-волн. На рис. 6 дан еще один пример записи землетрясения, обработанного ПАВС, на котором отчетливо выделяется *N*-волна. Запись приведена с 1000-кратным увеличением сигнала, оставлены только первые вступления продольных волн. В данном случае опережение зафиксировано за 19 мин 05 с.

В настоящее время и в зарубежных публикациях появились работы (например, [7]), описывающие присутствие низкочастотного предвестника землетрясения (так называемые "медленные землетрясения"), причем близкие результаты получены совершенно другими методами.

Для работы использованы цифровые сейсмические записи землетрясений Курило-Охотского региона, полученные из архивов Института морской геологии и геофизики ДВО РАН в г. Южно-Сахалинске. В настоящее время продолжается обработка материалов цифровых станций IRIS, функционирующих в Южно-Сахалинске и в Обнинске.

Автор благодарит И.Е. Волкова и А.И. Иващенко за помощь и любезно предоставленные цифровые записи землетрясений.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 93-05-8051).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альшулер С.В.* Методы оценки параметров процессов авторегрессии – скользящего среднего // Автоматика и телемеханика. 1982. № 8. С. 5–18.
2. *Жирмунская Е.А., Дубнер П.Н., Гутман С.Р.* Перспективы применения моделей типа авторегрессии – скользящего среднего для анализа ЭЭГ // Успехи физиол. наук. 1984. Т. 15. № 4. С. 6–19.
3. *Левин Б.В., Сасорова Е.В.* Сейсмоволновый низкочастотный предвестник подготовки землетрясения // Вулканология и сейсмология. 1994. № 4–5. С. 128–133.
4. *Моттль В.В., Мучник И.Б., Яковлев В.Г.* Алгоритмическая реализация лингвистического подхода к анализу экспериментальных кривых // Автоматика и телемеханика. 1984. № 4. С. 6–25.
5. *Никифоров И.В.* Применение кумулятивных сумм для обнаружения изменения характеристик случайного процесса // Автоматика и телемеханика. 1979. № 2. С. 48–58.
6. *Торгов Ю.И., Сасорова Е.В., Кравченко Т.А.* Непрерывный анализ низкочастотных сигналов на МИКРОЭВМ // Сообщения по прикладной математике. М.: Вычислительный Центр АН СССР, 1988. 34 с.
7. *Pierre F. Ihmlé, Thomas H. Jordan.* Teleseismic search for slow precursors to large earthquakes // Science. 1994. V. 266. 2 September. P. 1547–1551.

Государственный океанографический институт,  
Москва

Поступила в редакцию  
20.01.1996

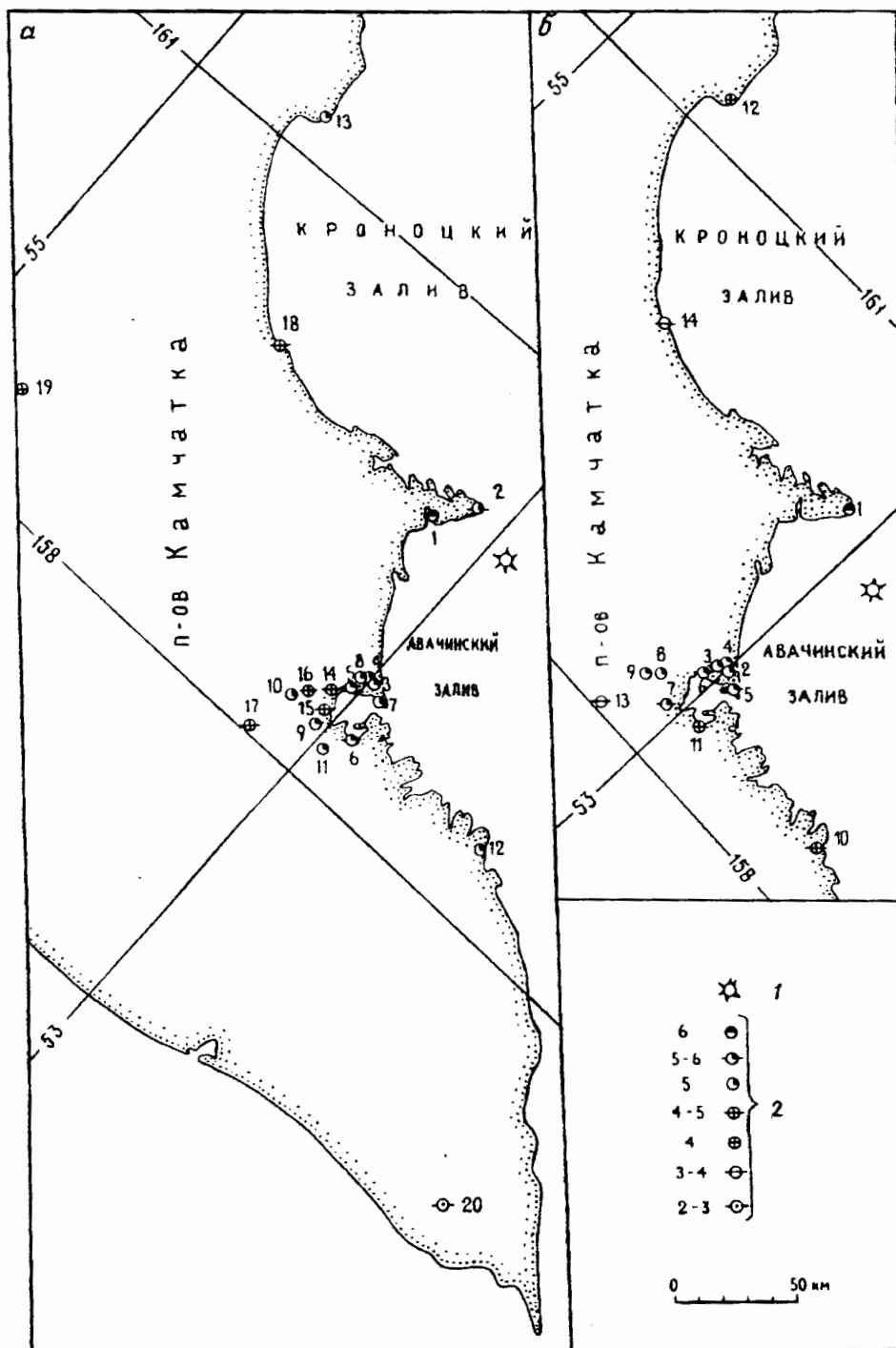


Рис. 1. Макросейсмические данные о землетрясениях 2 и 5 марта 1992 г. (а и б соответственно): 1 – эпицентр землетрясения; 2 – балльность. Номера соответствуют пунктам наблюдения по мере снижения балльности;  $M = 7,1$  и  $6,2$  (а и б соответственно)

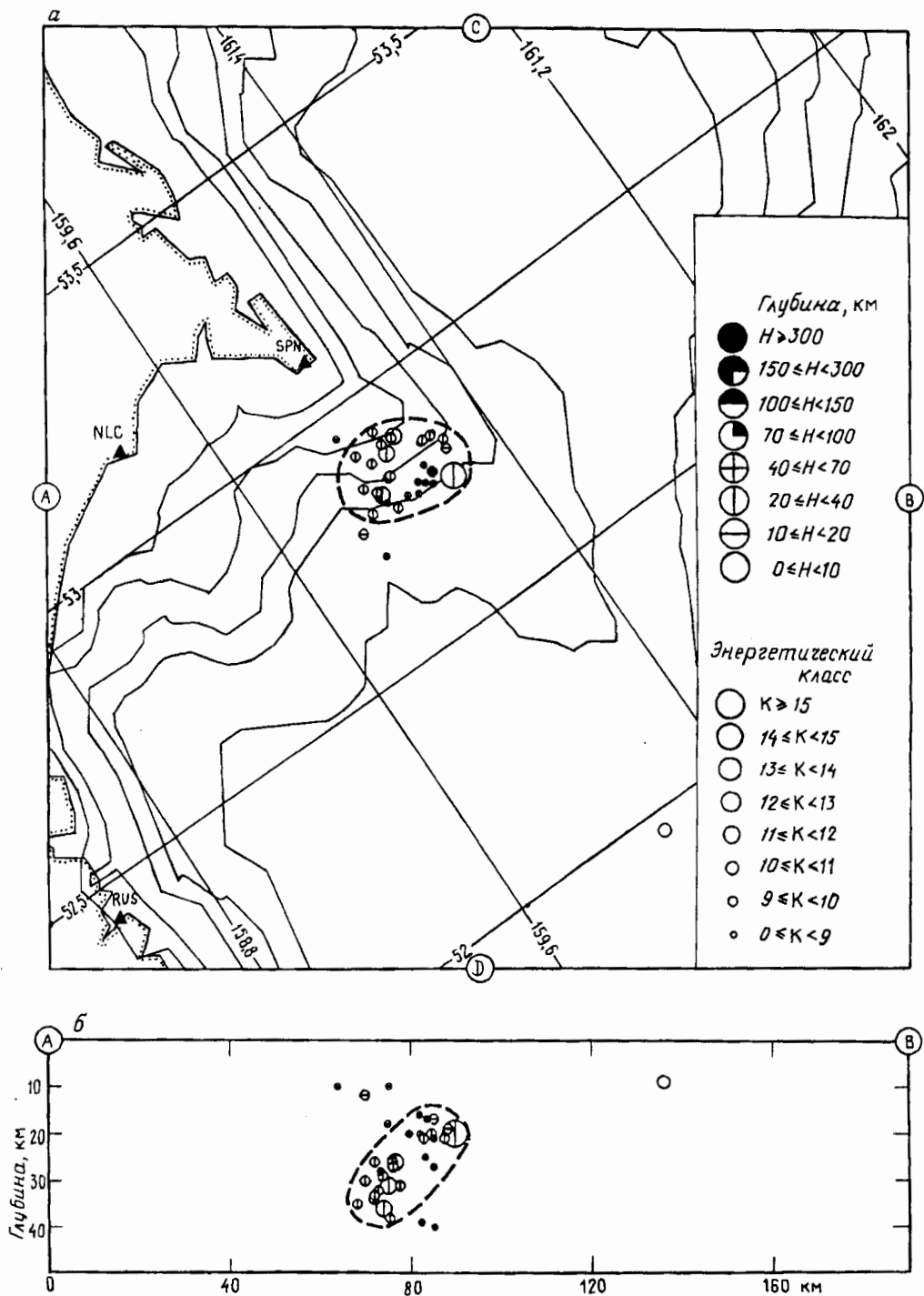


Рис. 2. Эпицентры (а) и гипоцентры (б) афтершоков первых суток (12 ч 2.03.1992 г. – 12 ч 3.03.1992 г.) активности ( $K \geq 8,5$ ). Прерывистой линией показаны условные очертания зоны активности первых суток; SPN – Шипунская, NLC – Налычев, RUS – бухта Русская

Таблица 1

## Сводка определений параметров главного толчка и сильнейшего афтершока 5 марта 1992 г.

Дата, мес – день	Время, ч-мин-с	Координаты, град		Глубина, км	Энергетические оценки						Сейсмический момент, Н · м		Источник
		с.ш.	в.д.		класс	магнитуды			P-волны	R-волны			
						K <sub>ф</sub>	<i>m</i> b	<i>m</i> s			MLH	MPVA	
03-02	12-29-38,5	52,76	160,20	20	14,6	-	-	-	-	-	1,9 E19	1,5 E19	I
	12-29-59,3	52,92	159,89	41	-	-	-	7,1	6,8	7,1	-	-	II
	12-29-39,6	52,92	159,89	39	-	6,5	6,8	-	-	-	-	-	III
ТМЦ	12-29-47,3	52,85	160,36	50	-	-	-	-	-	-	-	2,3 E19	III
	14-39-10,9	52,77	159,90	31	14,0	-	-	-	-	-	2,6 E18	1,8 E18	I
03-05	14-39-10,4	52,86	159,58	56	-	-	-	6,2	6,7	6,8	-	-	II
	14-39-10,3	52,90	159,62	45	-	6,3	6,1	-	-	-	-	-	III
	ТМЦ 14-39-18,0	52,88	160,17	52	-	-	-	-	-	-	-	3,7 E18	III

Примечание. I – настоящая работа; II – Сейсмологический бюллетень Ин-та физики Земли, Обнинск; III – Earthquake Data Report, USA; ТМЦ – тензор момента центра.

Таблица 2

## Параметры механизма очага главного толчка и афтершоков

Номер на рис. 3	Дата, мес-день	Время, ч-мин	Оси главных напряжений						Нодальные поверхности					
			T		N		P		NP1			NP2		
			PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
1	03-02	12-29	62	191	28	11	0	281	-346	51	+53	+216	51	+127
2	03-02	14-08	43	50	41	194	19	301	-181	76	+48	+76	44	+159
3	03-05	14-39	66	158	24	338	0	248	-316	50	+58	+180	50	+122
4	04-09	21-14	58	205	29	0	11	96	-343	62	+56	+218	42	+137
5	05-05	00-33	73	147	11	18	13	286	+205	58	+102	-2	34	+71

на побережье юго-восточной Камчатки и было сильнейшим по магнитуде толчком у берегов юго-восточной Камчатки за последние три десятилетия. Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками. В настоящей работе рассмотрены характеристики главного толчка, афтершоковый процесс и явления, предварявшие сильное землетрясение.

**Главный толчок. Макросейсмика.** Макросейсмические данные о проявлении главного толчка на п-ове Камчатском недостаточно представительны (рис. 1). Ближайшие к эпицентру пункты расположены на мысе Шипунском в 40–50 км от эпицентра (1 и 2 на рис. 1). Здесь землетрясение ощущалось силой 5–6 баллов. Далее плотная группа населенных пунктов, включая города Петропавловск-Камчатский и Елизово, расположена по берегам Авачинской бухты (3–11 и 14–17, рис. 1). Здесь, на расстоянии 100–150 км от эпицентра, землетрясение ощущалось силой от 4–5 до 5–6 баллов. Максимальные ускорения, записанные в Петропавловске-Камчатском в 5-балльной зоне на средних грунтах, равны  $52 \text{ см/с}^2$  на частоте 0,8 Гц. Информация о 2–3-балльных сотрясениях поступила из пунктов, удаленных до 360–420 км.

**Очаговая зона.** На рис. 2 показано распределение эпицентров (а) и гипоцентров (б) 33 афтершоков первых суток активности энергетического класса  $K_{\phi} \geq 8,5$ , обрисовывающих очаговую зону главного толчка. Зона афтершоков находится на осевой части подводного продолжения п-ова Шипунского и имеет эллипсообразную форму с осями 25 и 20 км, с эпицентром главного толчка, расположенным на восточной оконечности зоны. Афтершоки зарегистрированы в диапазоне глубин от 10 до 40 км, они погружаются вниз и на запад от очага главного толчка, расположенного на глубине 20 км. При этом три наиболее сильных афтершока первых суток располагались на глубинах 26–36 км.

**Параметры очага главного толчка.** Сводка параметров главного толчка приведена в табл. 1. Магнитуда  $MLH = 7,1$ , это самое сильное землетрясение с нормальной глубиной очага в районе юго-восточной Камчатки с 1959 г., когда севернее мыса Шипунского произошло землетрясение с магнитудой 7,6. Примечательна высокая величина магнитуд  $MPVA$  и  $MPVB$ , определяемых по интенсивности  $P$ -волн, фактически соизмеримая с магнитудой  $MLH$  (6,8 и 7,1 соответственно). Это указывает на относительно высокую степень излучения объемных сейсмических волн очагом землетрясения по сравнению с обычным землетрясением, очаг которого располагается в пределах нормальных глубин.

Из-за плохого качества записей объемных сейсмических волн сильного землетрясения на близких станциях энергетический класс  $K_{\phi}$  определен путем пересчета из магнитуды  $mb$  по корреляционной формуле

$$K = 1,71mb + 3,46,$$

рассчитанной для камчатских землетрясений.

Оценки сейсмического момента, полученные по спектрам продольных и рэлеевских волн, а также путем определения тензора момента центроида, близки между собой. Тем не менее следует отметить, что значение  $M_0$ , полученное по  $P$ -волнам, несколько выше, чем по волнам Рэлея.

**Характеристики подвижки.** На рис. 3 показан фокальный механизм главного толчка. В очаге отмечена взбросовая подвижка по круто падающим поверхностям разрыва. В качестве предпочтительной из двух возможных может быть выбрана нодальная поверхность 1 (табл. 2), падающая под п-ов Камчатский под углом  $51^\circ$ . Положение этой плоскости в пространстве соответствует уходящей на глубину зоне афтершоков первых суток активности (рис. 2).

Подвижка в очаге оценивается величиной  $\sim 11$  см. Сброшенное напряжение 0,3 МПа.

**Афтершоковый процесс. Пространственно-временное распределение афтершоков.** На рис. 4 показаны эпицентры и вертикальные разрезы очагов афтершоков, отме-

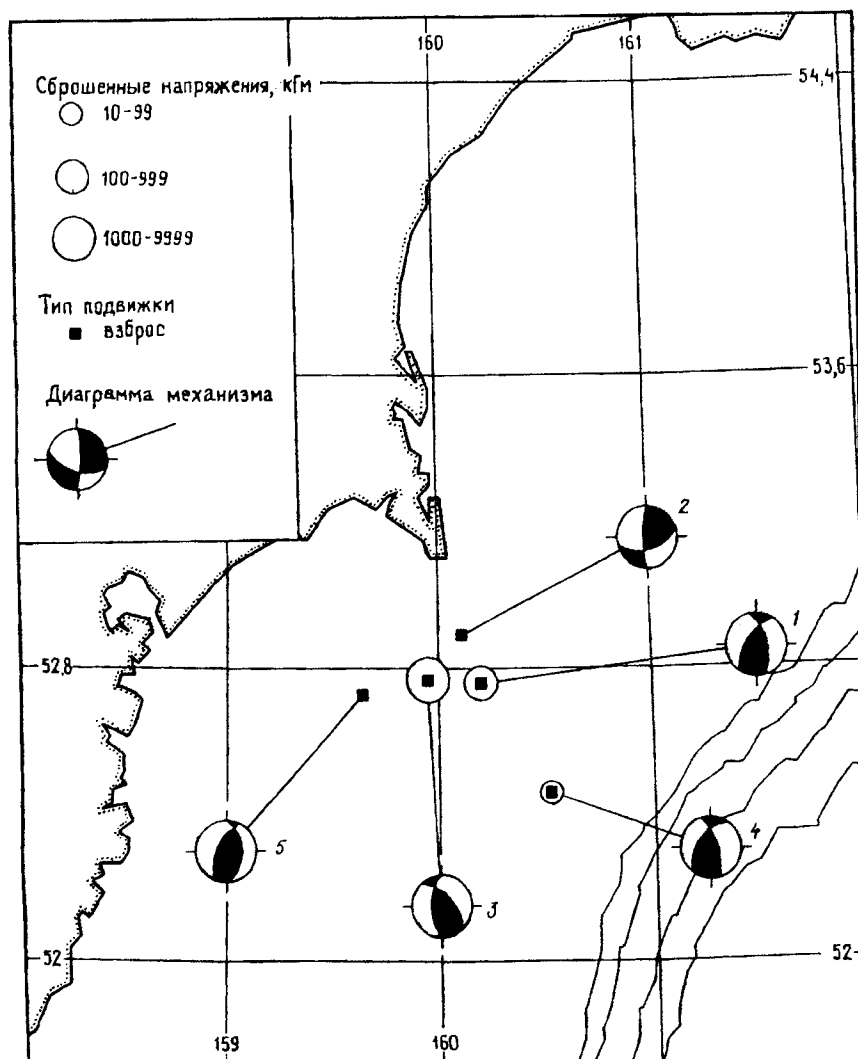


Рис. 3. Диаграммы механизма очагов главного толчка и сильнейших афтершоков землетрясения 2 марта 1992 г.

ченных в течение 10 мес 1992 г. Видно, что зона афтершоков первых суток активности оставалась активной и в последующее время. Одновременно наблюдается расширение зоны афтершоковой активности в основном на восток и юго-восток, в сторону склона Курило-Камчатского глубоководного желоба и вдоль Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны. Расширение афтершоковой зоны шло главным образом за счет слабых землетрясений, основная часть сильных афтершоков ( $K \geq 10,5$ ) группировалась в пределах зоны активности первых суток, располагаясь полосой северо-восточного простираения к северо-западу от главного толчка (рис. 4, в). Большая часть сильных афтершоков располагалась глубже очага главного толчка (рис. 4, з).

Серия главный толчок – афтершоки характеризуется относительно низким числом сильных толчков, что отражается на нелинейности графика повторяемости в районе энергетического класса 13–14, построенного для первых трех месяцев активности (рис. 5). Дефицит сильных афтершоков может свидетельствовать о незавершенном процессе разрядки напряжений в очаговой зоне.



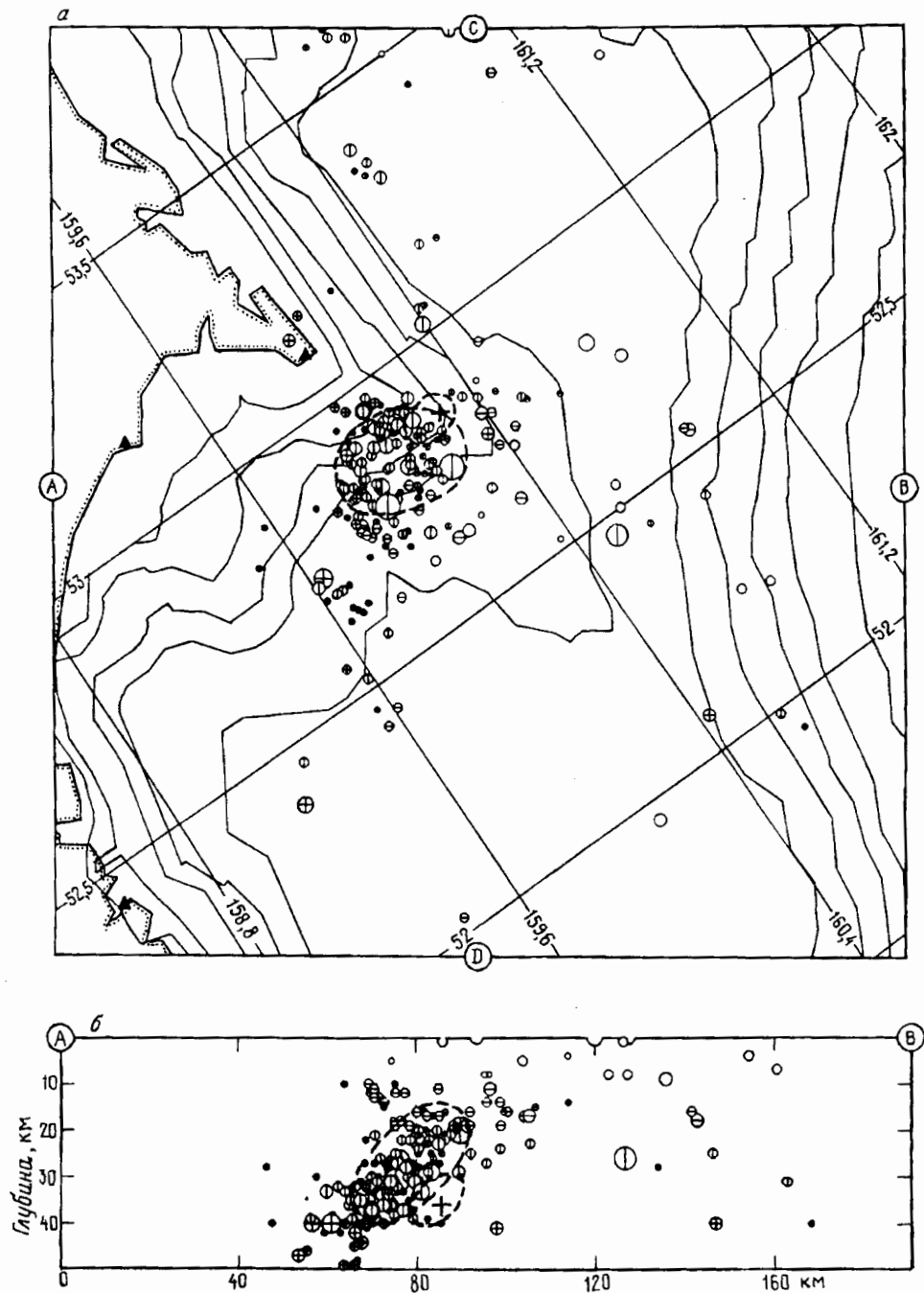


Рис. 4, а и б

Спад афтершоков во времени. На рис. 6 показан спад числа афтершоков  $N$  во времени для событий энергетического класса 8,5 и выше. Поле точек может быть аппроксимировано линией регрессии

$$\log N = 1,15 - (0,746 \pm 0,071)\log T,$$

где  $T$  измеряется в сутках.

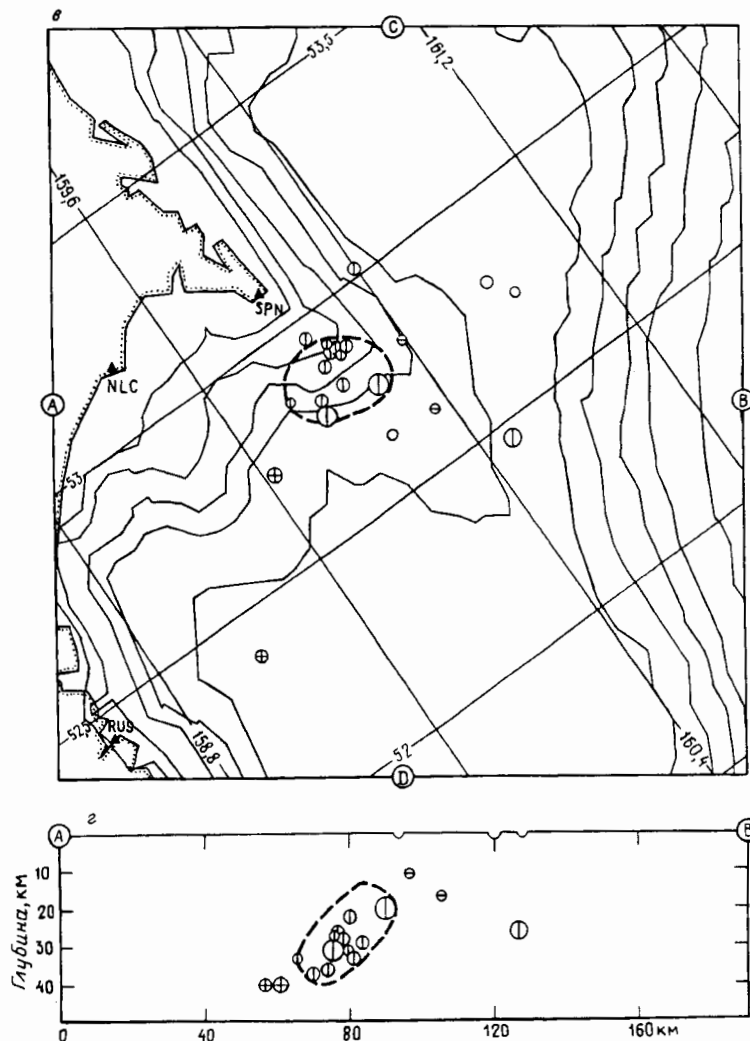


Рис. 4. Эпицентры и гипоцентры афтершоков 10 мес активности (2.03.1992 г. – 31.12.1992 г.): а, б – для землетрясений  $K \geq 8,5$ ; в, г – для более сильных землетрясений  $K \geq 10,5$ . Прерывистой линией показаны условные очертания очаговых зон землетрясений 6 октября 1987 г. и 2 марта 1992 г. Крестом показан эпицентр землетрясения 1987 г. Остальные обозначения, как на рис. 2

*Характеристика сильнейших афтершоков.* Сильнейший афтершок произошел 5 марта на юго-западной окраине очаговой зоны первых суток на глубине 31 км (рис. 4, в). Его характеристики приведены в табл. 1. Хотя этот афтершок и характеризуется меньшей магнитудой  $MLH$ , равной 6,2, он ощущался в г. Петропавловске-Камчатском фактически с такой же силой, что и главный толчок (рис. 1). По-видимому, это связано с близкой величиной магнитуд  $MPVA$  обоих толчков. Показанные на рис. 7 спектры  $P$ -волн демонстрируют фактическое совпадение амплитуды спектров в диапазоне частот выше 0,5 Гц. Примечательно, что величина сброшенных напряжений в очаге этого афтершока на порядок выше, чем у главного толчка.

На рис. 3 приведены диаграммы механизма очага четырех сильнейших афтершоков, в том числе и землетрясения 5 марта. Все они характеризуются механизмом, близким механизму главного толчка: взбросы по круто падающим поверхностям.

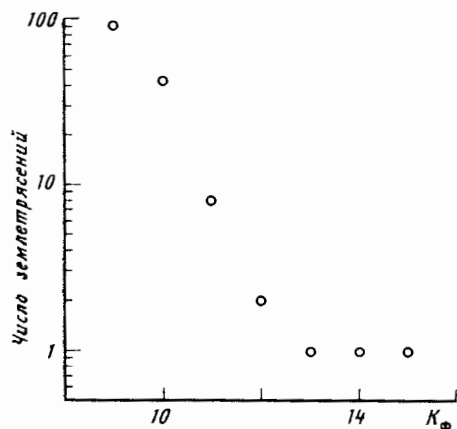


Рис. 5. Распределение землетрясений серии главных толчков – афтершоки по энергетическим классам

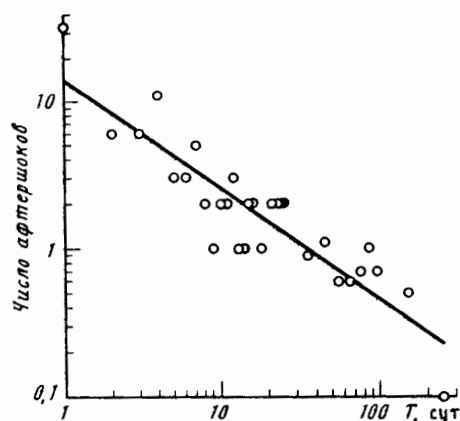


Рис. 6. Спад афтершоков во времени;  $K \geq 8,5$

**Явления, предвалявшие сильное землетрясение. Сейсмотектоническая обстановка.** Очаговая зона землетрясения 2 марта 1992 г. располагается в пределах осевой части подводного продолжения п-ова Шипунского вдоль изобаты 600 м при ее пересечении основной фокальной зоной камчатских землетрясений (см. рис. 4). Подводное продолжение п-ова Шипунского, наиболее активной поперечной структуры Восточной Камчатки, подходит вплотную к склону Курило-Камчатского желоба. В пределах пересечения этой поперечной структуры с Курило-Камчатской сейсмофокальной зоной зарождались очаговые зоны двух крупнейших землетрясений Камчатки второй половины века: 1952 г. с магнитудой 8,5 и 1959 г. с магнитудой 7,6.

Землетрясение 2 марта 1992 г. продолжило развитие очаговой зоны землетрясения 6 октября 1987 г. с магнитудой  $MLH = 6,6$  (рис. 4 и 8). Сейсмичность, предвалявшая землетрясение 1987 г., подробно описана в работе [1]: землетрясение 1987 г. произошло в зоне, где прежде, в течение 25 лет детальных наблюдений, не происходили землетрясения, сопровождаемые афтершоками; землетрясению предшествовало усиление активности верхнемантийных землетрясений; поверхностные землетрясения энергетического класса 10,5 и выше отсутствовали в пределах очаговой зоны землетрясения 1987 г. в течение года до события. Рисунок 8 и таблица 3 позволяют проследить, как развивалась эта зона вплоть до землетрясения 2 марта на уровне землетрясений с  $K \geq 12,5$ . Верхнемантийные землетрясения отсутствовали, все восемь отмеченных землетрясений произошли на глубинах 15–51 км. Наблюдается определенная тенденция в пространственно-временном распределении предшествовавших сильных событий. В течение почти двух лет после землетрясения 1987 г. сильные землетрясения в рассматриваемом районе отсутствовали. Затем с июля 1989 по декабрь 1990 г. произошли пять землетрясений к востоку и северо-востоку от мыса Шипунского. Три землетрясения 1991–1992 гг. располагались уже существенно южнее. Примечательно при этом, что два последних землетрясения этой группы (16 декабря 1991 г. и 17 января 1992 г.) с магнитудой  $MLH = 4,9$  произошли в непосредственной близости от очаговой зоны готовящегося сильного землетрясения. Главный толчок 2 марта 1992 г. завершил заполнение асейсмичной полусферы (рис. 8, б).

Рисунки 4, а, б и 8, а, б показывают пространственное соотношение очаговых зон землетрясений 6 октября 1987 г. и 2 марта 1992 г. Очаговая зона землетрясения 1987 г. располагается на северо-восточной окраине зоны афтершоков очага 1992 г. При этом эпицентр главного толчка и восточная часть очаговой зоны землетрясения 1987 г. расположены в области, свободной от афтершоков землетрясения 1992 г.

Рис. 7. Спектры *P*-волн землетрясений 2 марта (1) и 5 марта (2). Сейсмическая станция Северо-Курильск, аппаратура СКД

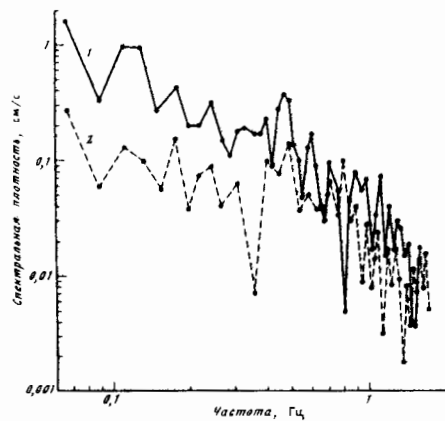


Рис. 7

Рис. 8. Сейсмичность района Авачинского залива в 1962–1992 гг. ( $K \approx 12,5$ ): а – карта эпицентров; б – разрез по линии С–D. Условные обозначения, как на рис. 4. Заштрихованы эпицентры землетрясений, произошедших до 6 октября 1987 г. Нумерация соответствует табл. 3

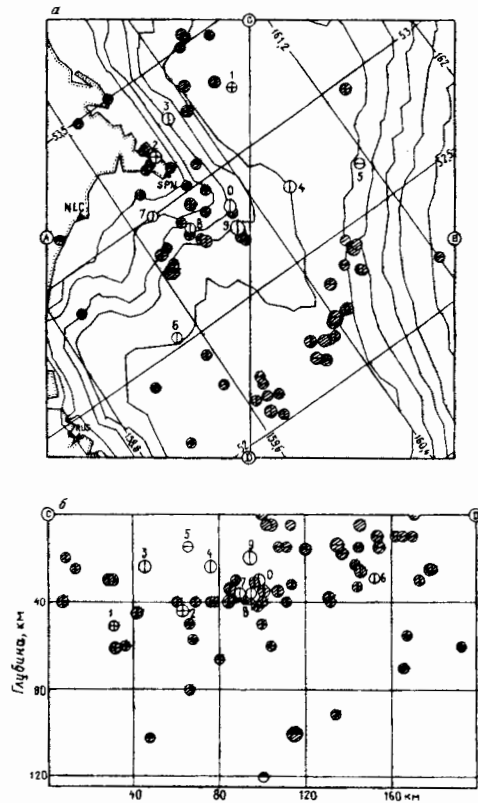


Рис. 8

В разрезе очаговая зона 1987 г. расположена непосредственно под и параллельно зоне афтершоков 1992 г. В целом рисунки 4 и 8 демонстрируют, что пространственно очаги 1987 и 1992 гг. могут рассматриваться как единый процесс разрядки напряжений в данном регионе.

*Ход деформаций земной поверхности.* На рис. 9 показаны вариации деформаций по 9 линиям светодальномерных наблюдений длиной от 7 до 50 км, проводимых в 1986–1992 гг. из обсерватории "Мишенная" в створе  $230^\circ$ . Обсерватория расположена в 150 км от эпицентра главного толчка в центре г. Петропавловска-Камчатского на высоте 320 м над уровнем моря. Главному толчку предшествовали "бухты" деформаций сжатия с амплитудой  $\sim 3$  ррт, появившиеся фактически одновременно по всем линиям за 8–9 мес до главного толчка. Землетрясение произошло за несколько недель до завершения "бухты" деформаций сжатия. Максимальная амплитуда бухты в несколько раз превышает ошибку измерений, величина которой 0,5–0,7 ррт. Отметим, что аналогичная картина поведения напряженно-деформированной среды наблюдалась и при главном толчке землетрясения 6 октября 1987 г.

*Вариации гидрогеохимических параметров.* На рис. 10 показаны вариации гидрогеохимических параметров подземных вод на двух гидрогеологических станциях, расположенных вблизи г. Петропавловска-Камчатского и в 100–110 км от эпицентра землетрясения 2 марта. Отмечены аномалии концентрации  $\text{Cl}^-$ -иона за 210 сут до землетрясения (рис. 10, а) и компонентов  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Ca}^{2+}$  за 29 сут до землетрясения (рис. 10, б–д). Впервые отмечено появление перед землетрясением углеводородных газов, регистрация которых начата в конце 1991 г. (рис. 10, е и ж). Харак-

Таблица 3

**Каталог землетрясений, произошедших в районе мыса Шипунский за период  
с 6 октября 1987 г. по 2 марта 1992 г. ( $K_{\phi} \geq 12,5$ )**

Номер на рис. 8	Дата, год-мес-день	Время, ч-мин-с	Координаты, град		Глубина, км	Класс, $K_{\phi}$	Магнитуды			
			с.ш.	в.д.			<i>m<sub>b</sub></i>	<i>m<sub>s</sub></i>	<i>MLH</i>	<i>MPVA</i>
0	1987-10-06	20-11-36,2	52,85	160,24	34	13,9	6,1	6,3	6,6	6,4
1	1989-07-18	10-41-15,5	53,24	160,72	51	12,9	5,4	4,8	5,0	5,6
2	1989-09-15	18-34-15,4	53,19	160,01	44	13,0	5,6	-	4,9	5,6
3	1990-03-01	2-23-23,6	53,29	160,23	24	13,5	5,4	5,6	5,8	5,5
4	1990-12-19	13-48-25,8	52,77	160,65	24	13,5	5,9	5,6	6,1	6,3
5	1990-12-28	7-40-9,9	52,68	161,13	15	12,7	5,1	5,0	5,2	5,6
6	1991-08-11	12-18-25,3	52,41	159,54	29	12,6	-	-	-	-
7	1991-12-16	4-47-47,3	53,00	159,76	36	12,9	-	-	4,9	5,3
8	1992-01-17	0-15-29,2	52,87	159,93	36	12,6	5,5	4,7	4,9	5,6
9	1992-03-02	12-29-38,5	52,76	160,20	20	14,6	6,5	6,8	7,1	6,8

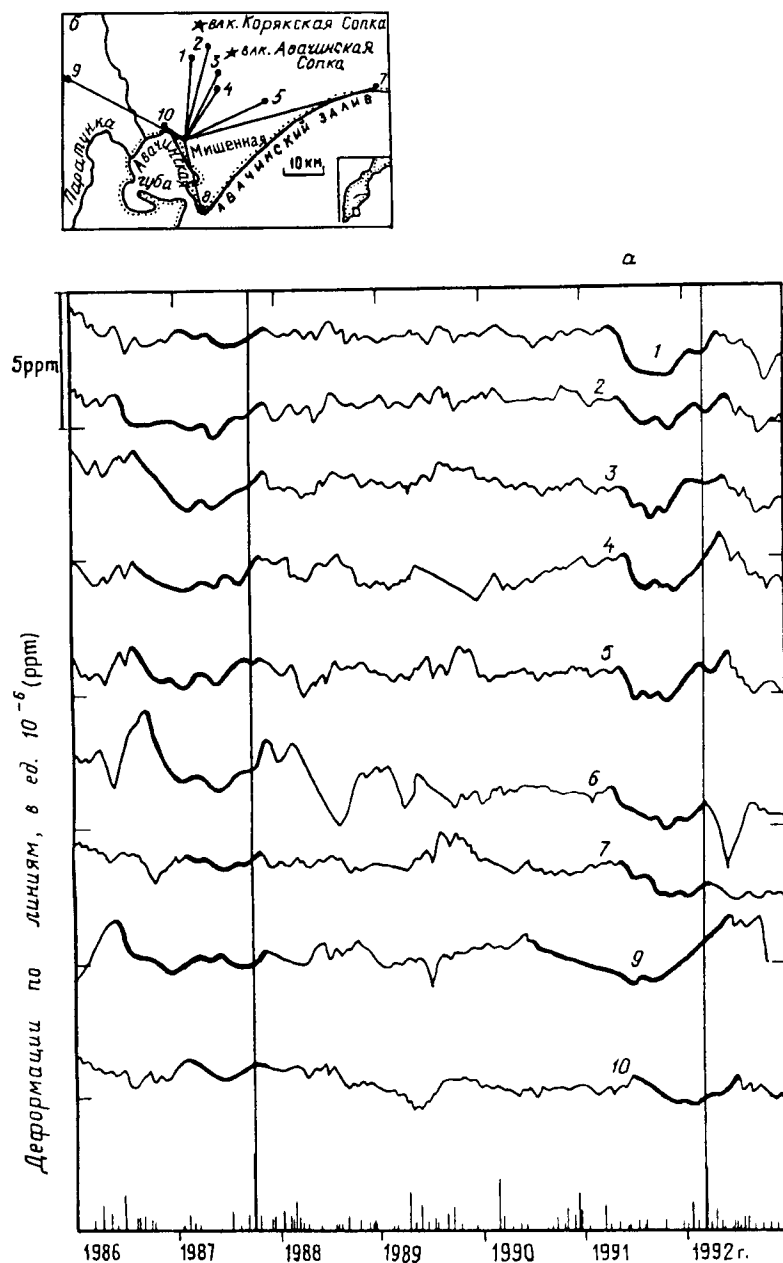


Рис. 9. Горизонтальные деформации (а), измеренные из обсерватории Мишенная в 1986–1992 гг.; б – схема измерений. По оси абсцисс показаны моменты возникновения землетрясений в виде вертикальных линий, величина которых пропорциональна энергии, деленной на квадрат расстояния от Мишенной до эпицентра. Временные вариации (б) светодальномерных измерений линий – в 1986–1992 гг.

теристики гидрогеологических наблюдательных пунктов опубликованы в работе [1]. Оценки аномалий приведены в табл. 4, оценка аномалии по углеводородным газам не проводилась из-за короткого периода наблюдений.

Аномалии Си-иона наблюдались на фоне постоянного увеличения его концентрации, что затрудняет определение величины аномалии. Тем не менее длительное бухто-

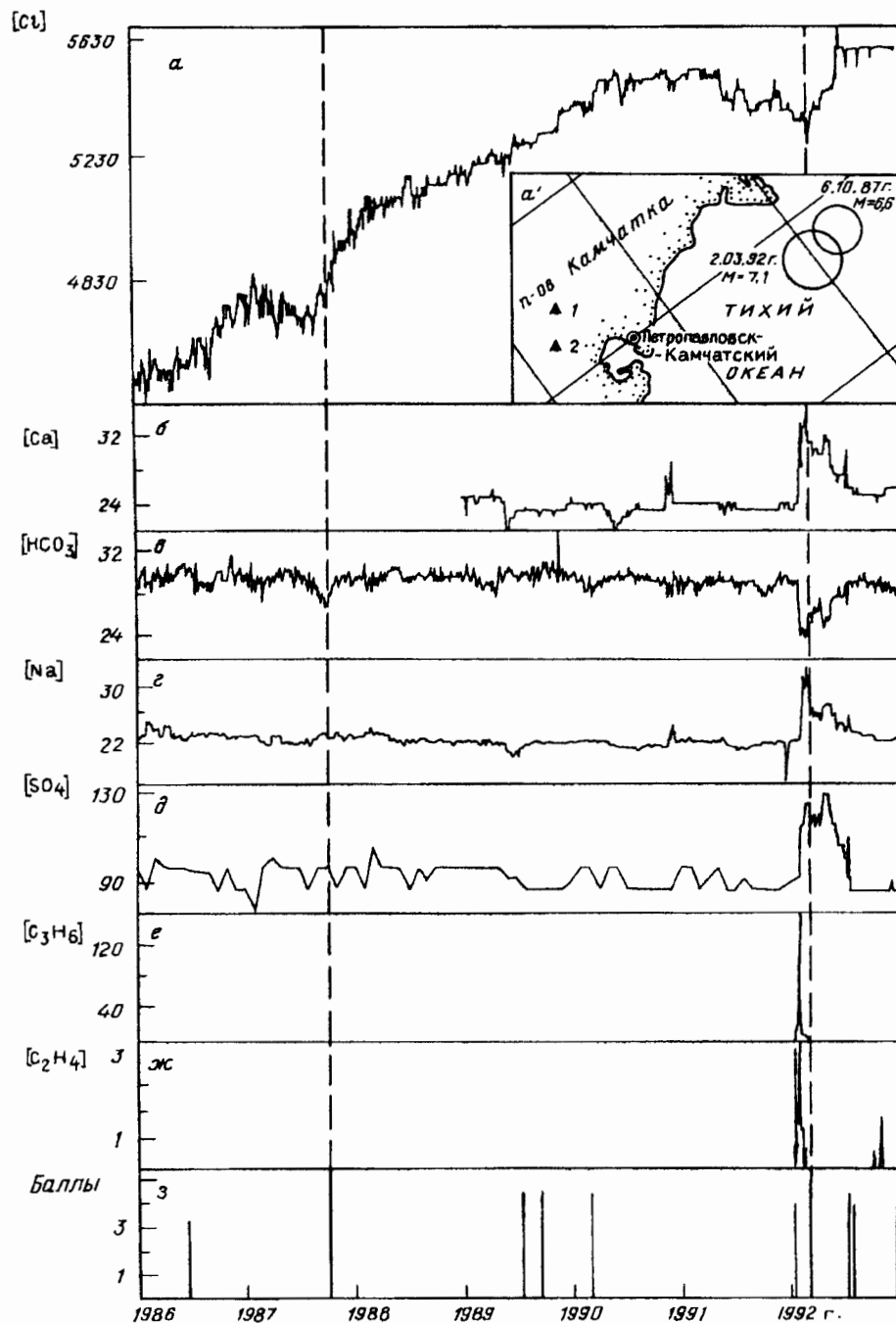


Рис. 10. Вариации химического и газового состава подземных вод в процессе подготовки землетрясений 1987 и 1992 гг. *a* – Изменение концентрации Si-иона в воде самоизливающейся скважины ГК-1 (Пиначево); здесь и далее концентрация химических параметров в мг/л; *a'* – схема расположения гидрогеологических станций (1 – станция Пиначево; 2 – станция Морозная). *б–д* – Изменения концентрации отдельных химических компонентов в самоизливающейся скважине 1 (Морозная). *е, ж* – Характер поведения отдельных углеводородных газов (*е* – растворенных в воде скважины 1, Морозная; *ж* – растворенных в воде источника 1, Пиначево). Концентрация углеводородов в  $10^{-6}$  мл/л; *з* – интенсивность землетрясений в г. Петропавловске-Камчатском в баллах MSK-64

Таблица 4

## Аномальные вариации режима подземных вод перед землетрясением 2 марта 1992 г.

Название пункта	Параметры режима	Точность измерения, %	Фоновое значение параметра, мг/л	Величина аномалий, %	Продолжительность аномалий, сут	
					всего	периода подготовки
Пиначево, скважина ГК-1	Cl	3	–	–	330	210
Морозная, скважина 1	HCO <sub>3</sub>	2	30	–30	120	29
	Ca	5	23	+43	150	29
	Na	10	23	+43	150	29
	SO <sub>4</sub>	5	90	+45	150	29

*Примечание.* В скважине ГК-1 наблюдалось постоянное увеличение концентрации Cl и величину аномалии определить затруднительно.

образное снижение фонового роста концентрации выделяется достаточно уверенно. Землетрясение произошло в период минимальной скорости роста концентрации Cl-ионов. Следует отметить, что подобного типа, но менее продолжительная аномалия наблюдалась и перед землетрясением 6 октября 1987 г. с магнитудой  $MLH = 6,6$ .

Аномальное содержание компонентов HCO<sub>3</sub>, Na, SO<sub>4</sub> и Ca в самоизливающейся скважине пункта Морозная проявилось одновременно для всех элементов, величины аномалий отличались от фоновых на 30–45%. Следует отметить существенно меньшую продолжительность аномалии (29 сут против 210) по сравнению с аномальным поведением Cl-ионов в пункте Пиначево. В связи с этим отметим также, что если для концентрации Cl-ионов в воде скважины ГК-1 (Пиначево) и концентрации HCO<sub>3</sub>-иона в воде скважины 1 (Морозная) ранее отмечена аномалия и для землетрясения меньшей магнитуды 6 октября 1987 г., то для компонентов Na, SO<sub>4</sub> и Ca, имевших кратковременные аномалии при землетрясении 2 марта, аномалий перед землетрясением 6 октября не зарегистрировано.

**Выводы.** Землетрясение 2 марта 1992 г. (магнитуда 7,1) продолжило сейсмический процесс, начатый землетрясением 6 октября 1987 г. (магнитуда 6,6) в Авачинском заливе. Землетрясение предвлялось аномальным ходом деформаций и аномальными вариациями ряда гидрогеохимических параметров. Примечательно, что некоторые геохимические компоненты повторили тип аномального поведения, наблюдаемого ранее перед землетрясением 1987 г., но с большей амплитудой и продолжительностью.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зобин В.М., Гордеев Е.И., Бахтиаров В.Ф. и др. Шипунское землетрясение 6 октября 1987 года // Землетрясения в СССР в 1987 г. М.: Наука, 1990. С. 116–133.

Опытно-методическая сейсмологическая партия  
Института вулканологии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский

Поступила в редакцию  
06.01.1995

Институт вулканологии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский

Институт вулканической геологии  
и геохимии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский