

## КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА

В.И. Левина, Е.И. Иванова, Е.И. Гордеев, Е.И. Гусева

Сеть сейсмических станций Камчатки в 1999 г. несколько изменилась, по сравнению с таковой в 1998 г. [1]. В Ключевском кусте радиотелеметрических станций с 1 сентября начала работать сейсмическая станция «Логинов» (LGN). Информацию о параметрах этой и других сейсмических станций можно получить из [2]. Станция LGN играет существенную роль лишь в определении параметров землетрясений, гипоцентры которых находятся в Ключевской группе вулканов, поэтому ее появление практически не изменило контуры изолиний надежной регистрации землетрясений в регионе, которые были приведены в [3]. Методика определения параметров землетрясений не изменилась и изложена в [4–6].

Всего в 1999 г. определены эпицентры 3606 землетрясений с  $K_S=5.8-14.3$ , включенных в каталог [7]. Из них 51 имеют  $K_S \geq 11.6$ , что несколько выше их среднегодового числа. На рис. 1 представлены графики распределения во времени ежесуточного числа землетрясений и накопленной величины высвобожденной сейсмической энергии. Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в очагах всех землетрясений 1999 г., составляет  $\Sigma E=5.6 \cdot 10^{14}$  Дж, что ниже ее среднегодового значения ( $\Sigma E=12 \cdot 10^{14}$  Дж), рассчитанного по материалам наблюдений за 1962–1998 гг. Распределение землетрясений по энергетическим классам  $K_S$  приведено в табл. 1, по глубинам – в табл. 2. Максимальная глубина гипоцентра составила 597 км для землетрясения с  $K_S=10.2$ , произошедшего 1 марта в  $10^h49^m$  [7]. Для 40 землетрясений определены механизмы очагов [8] по знакам первых вступлений  $P$ -волн на станциях Камчатской опытно-методической партии и мировой сети.

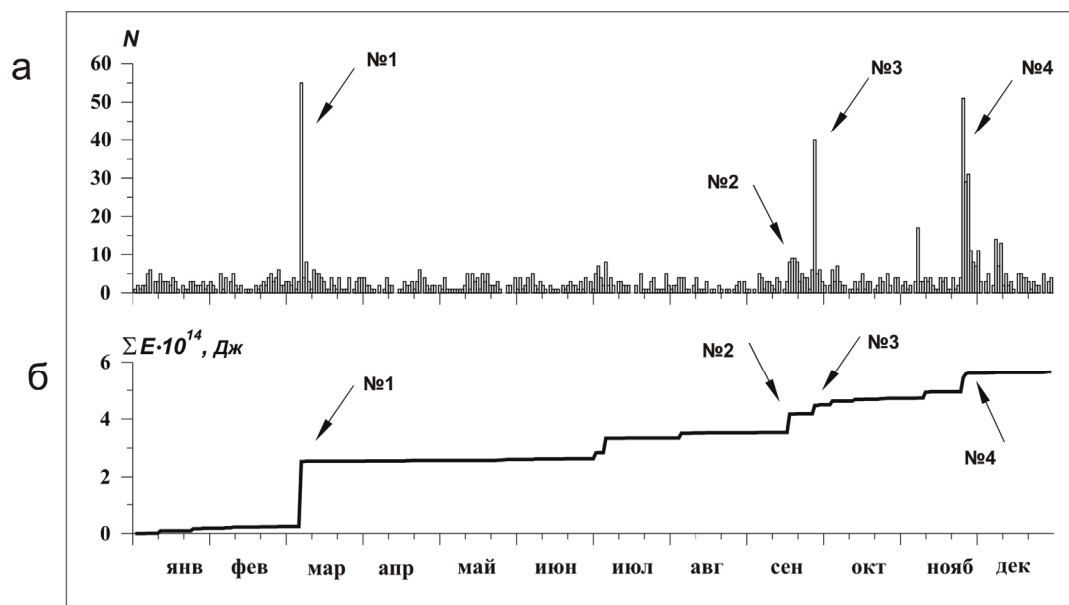


Рис. 1. Графики изменения суточных чисел  $N$  землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  (а) и высвобожденной сейсмической энергии  $\Sigma E$  (б) за 1999 г.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений  $N$  по энергетическим классам  $K_S$

$K_S$	$\leq 8.5$	9	10	11	12	13	14	$\Sigma E \cdot 10^{14}$ , Дж
$N$	2489	668	294	104	34	14	3	5.6

Примечание.  $K_S$  здесь и далее соответствует  $K_{S1.2}^{\Phi 68}$  из [6].

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по интервалам глубин очагов

$h_1 - h_2, км$	$N(h)$	$h_1 - h_2, км$	$N(h)$	$h_1 - h_2, км$	$N(h)$
0 – 10	550	81 – 90	80	251 – 300	5
11 – 20	642	91 – 100	86	301 – 350	6
21 – 30	569	101 – 120	125	351 – 400	0
31 – 40	798	121 – 140	71	401 – 450	1
41 – 50	243	141 – 160	50	451 – 500	0
51 – 60	142	161 – 180	33	501 – 550	2
61 – 70	98	181 – 200	16	551 – 600	6
71 – 80	72	201 – 250	11		

Самое сильное ( $K_S=14.3, M_w=6.9$ ) землетрясение (13) реализовалось 8 марта в 12<sup>h</sup>25<sup>m</sup> [7] и ощущалось в Петропавловске-Камчатском с интенсивностью 5 баллов. Однако максимальная интенсивность сотрясений до 6 баллов наблюдалась при другом землетрясении 14-го класса ( $K_S=13.8, M_w=6.0$ ), зарегистрированном 18 сентября в 21<sup>h</sup>28<sup>m</sup>. Еще одно из трех землетрясений подобной энергии ( $K_S=13.7, M_w=6.0$ ) произошло 7 июля в 18<sup>h</sup>52<sup>m</sup> на крайнем юге исследуемой территории (21 на рис. 2). Оно ощущалось с интенсивностью 3–4 балла в Северо-Курильске (189 км) и 3 балла – в Паужетке (286 км). Общее же число ощутимых землетрясений с интенсивностью от 2 до 6 баллов составило 84 [7].

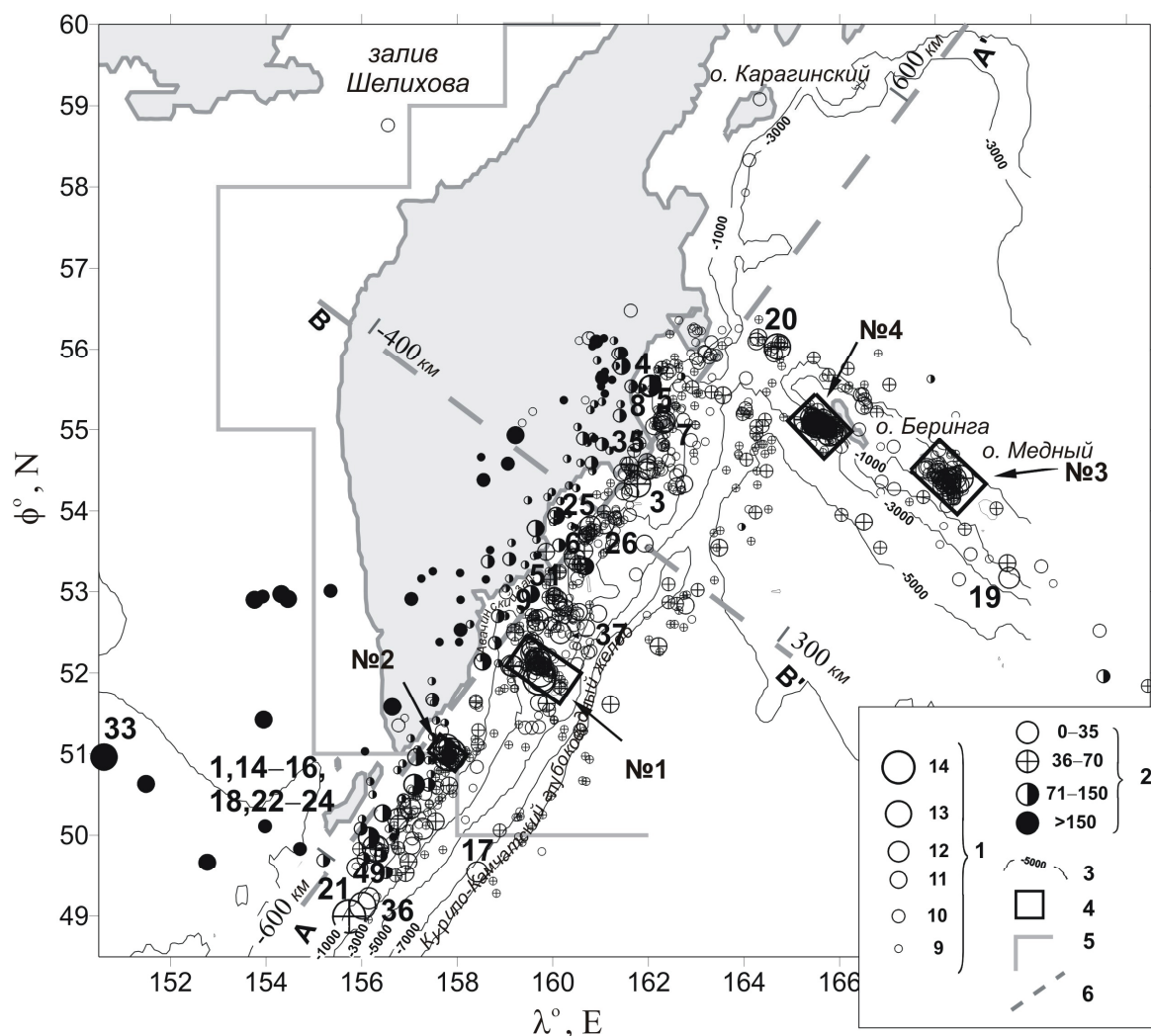
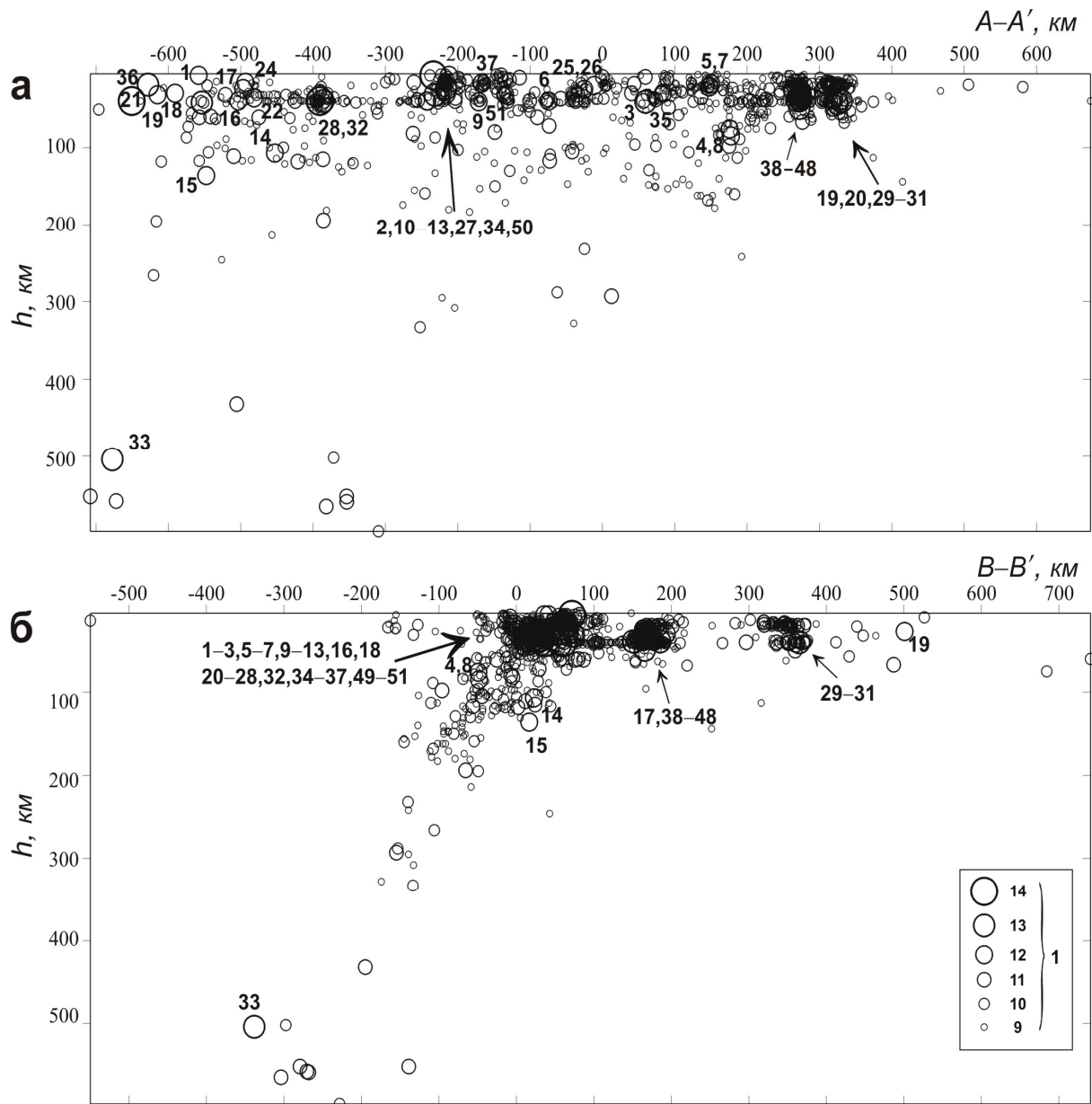


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Камчатки за 1999 г.

1 – энергетический класс  $K_S$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – изобата, м; 4 – эпицентральные зоны №№ 1–4; 5 – граница региона; 6 – линии вертикальных разрезов фокальной зоны. Цифрами обозначены землетрясения с  $K_S \geq 11.6$ , согласно [7].

На рис. 2, 3 представлены карта эпицентров землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  и вертикальные разрезы фокальной зоны вдоль и вкrest нее (по линиям А–А' и В–В'). Из рисунков хорошо видны две известные крупные сейсмоактивные зоны – северо-восточного простирания вдоль побережья Камчатки (рис. 2) с крутым падением очаговой области под полуостров (рис. 3, б) и северо-западного, вдоль Алеутского глубоководного желоба (рис. 2).



**Рис. 3.** Глубинные разрезы по вертикальным плоскостям по направлениям А–А' и В–В' для землетрясений, показанных на рис. 2

1 – энергетический класс  $K_S$ .

В течение 1999 г. наблюдалось четыре всплески сейсмической активности за периоды 8–23 марта (№ 1), 18–19 сентября (№ 2), 19 сентября–12 ноября (№ 3) и 26 ноября–22 декабря (№ 4). Контуры площадок, где они локализованы, показаны на рис. 2, а соответствующие карты эпицентров – на рис. 4. Рассмотрим их во временной последовательности.

**№ 1.** Самый мощный всплеск сейсмической активности (рис. 1) произошел с 8 по 23 марта в юго-восточной части Авачинского залива (рис. 2) с главным толчком с  $K_S=14.3$ ,  $M_w=6.9$ , упомянутым выше.

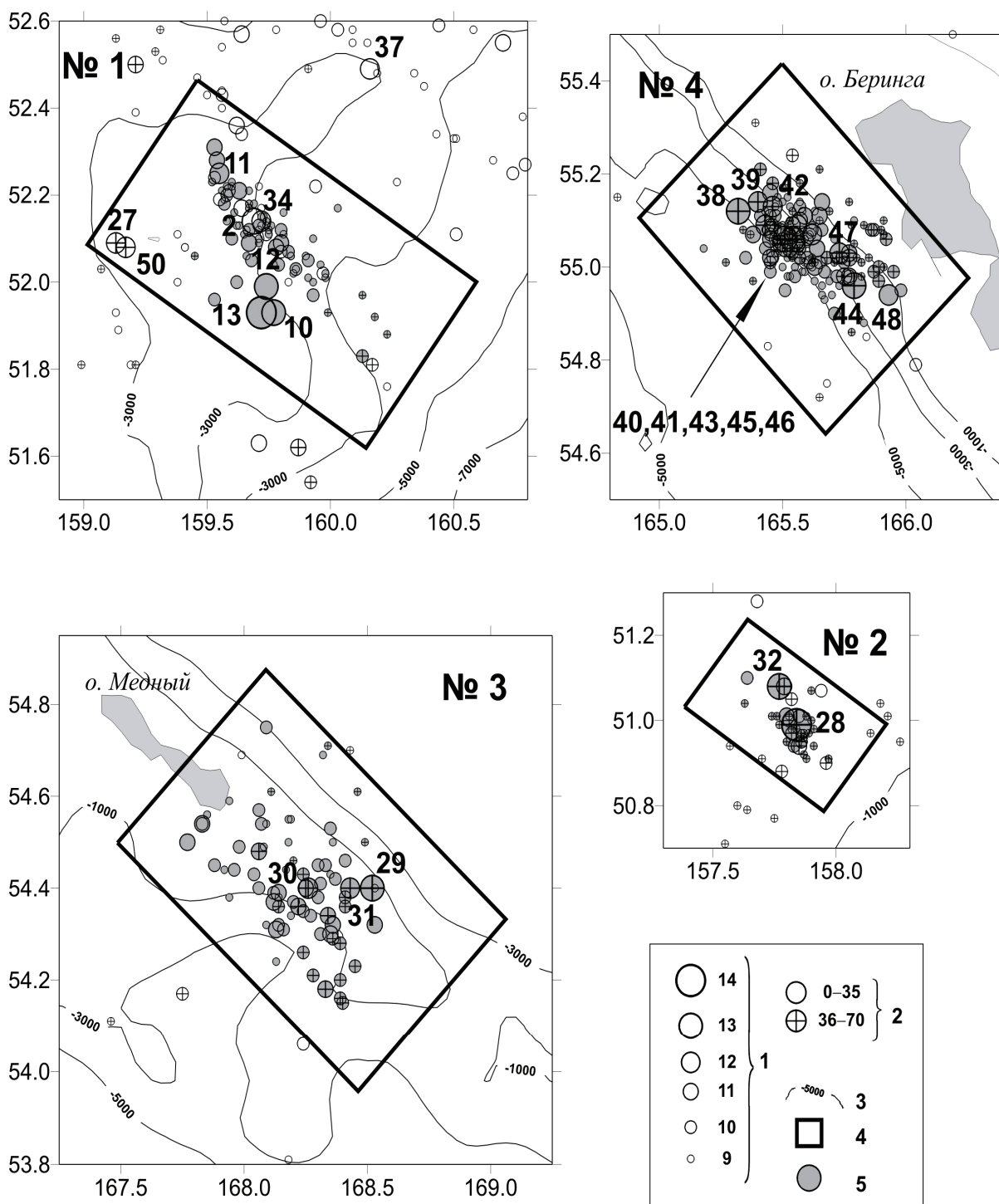


Рис. 4. Карты эпицентров роев землетрясений № 1–4, выделенных на рис. 1, 2

1 – энергетический класс  $K_S$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 4 – граница области роя; 5 – эпицентр, включенный в рой.

В этой части региона рои землетрясений отмечались и ранее: в 1966 г. [9], в 1970 г. [10], в 1998 г. [11]. Последний из них реализовался 22 мая–4 июня 1998 г., когда было зарегистрировано четыре события с  $K_S=11.6-13.3$  и величина высвобожденной сейсмической энергии составила  $\Sigma E=0.23 \cdot 10^{14}$  Дж. Очаговая зона всех толчков роя занимала объем примерно  $50 \times 60 \times 40$  км<sup>3</sup> и была вытянута в юго-западном направлении. В 1999 г. активизация сейсмичности была более сильной, чем в 1998 г. Она продолжалась 15 суток, причем в первые сутки (8 марта) зарегистрировано 70% от общего числа событий, в том числе все сильные ( $K_S \geq 11.6$ ) землетрясения (10–13) роя: в 05<sup>h</sup>39<sup>m</sup> с  $K_S=13.1$ , в 05<sup>h</sup>45<sup>m</sup> с  $K_S=11.8$ , в 05<sup>h</sup>57<sup>m</sup> с  $K_S=13.2$ , в 12<sup>h</sup>25<sup>m</sup>

с  $K_S=14.3$  соответственно [7]. Всего в области роя произошло 76 землетрясений с  $K_S \geq 8.6$ . Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в процессе роя, составила  $2.3 \cdot 10^{14}$  Дж. Очаговая зона роя 1999 г. совпала пространственно с очаговой зоной роя 1998 г., имеет то же самое простираие и те же размеры. Для землетрясений (10, 12, 13) определен механизм очага [8]. В очагах землетрясений (10) и (13) отмечен взбросо-сдвиговый тип подвижки, в (12) – сдвиг с незначительной взбросовой компонентой (рис. 5). Оси напряжения сжатия близгоризонтальны. Одна из возможных плоскостей разрыва в каждом из этих очагов ориентирована в северо-восточном направлении, т.е. вдоль простираия геотектонических структур этого района. Собранные по максимальному толчку роя немногочисленные макросейсмические данные представлены в табл. 3.

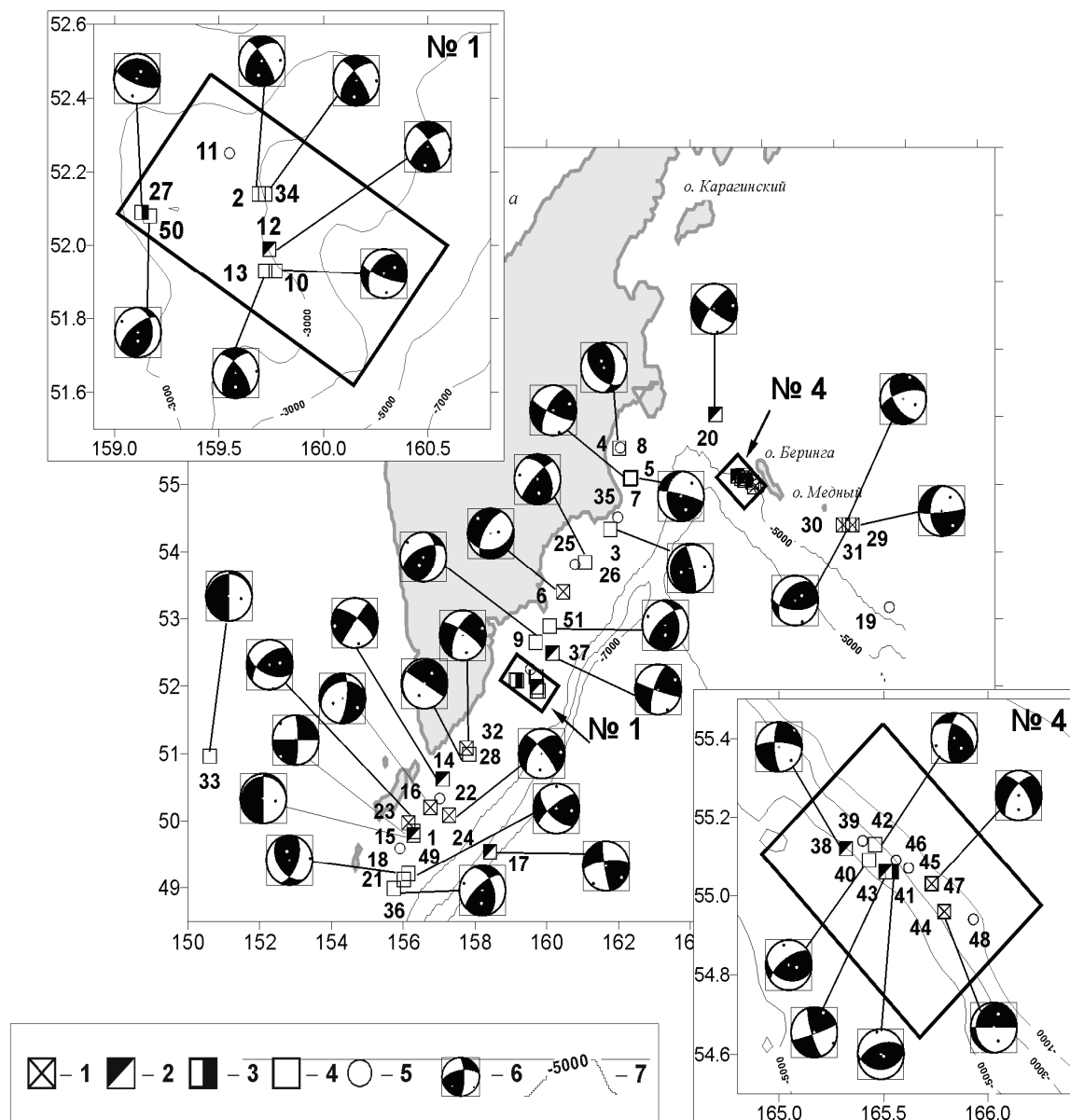


Рис. 5. Карта эпицентров сильных ( $K_S \geq 11.6$ ) землетрясений Камчатки и Командорских островов за 1999 г.

1–5 – эпицентры землетрясений и тип подвижки (1 – сбросо-сдвиг; 2 – сдвиг; 3 – взброс; 4 – взбросо-сдвиг; 5 – механизм не определен); 6 – диаграмма механизма очага; 7 – изобата морских глубин, м. Числа возле эпицентров соответствуют номерам землетрясений первой графы каталога [7].

Таблица 3. Макросейсмические данные о землетрясении 8 марта в  $12^{\text{h}}25^{\text{m}}$  с  $K_S=14.3$ ,  $M_w=6.9$

№	Пункт	$\Delta$ , км	№	Пункт	$\Delta$ , км
	<u>5 баллов</u>			<u>4 балла</u>	
1	Маяк Круглый	99	5	Елизово	167
2	Петропавловск-Камчатский	141	6	Озерновский	228
	<u>4–5 баллов</u>			<u>2–3 балла</u>	
3	Институт	148	7	Северо-Курильск	289
	<u>4 балла</u>			<u>Не ощущалось</u>	
4	ГМС Водопадная	114	8	Паужетка	207

Все населенные пункты, указанные в табл. 3, расположены по побережью (рис. 6, а).

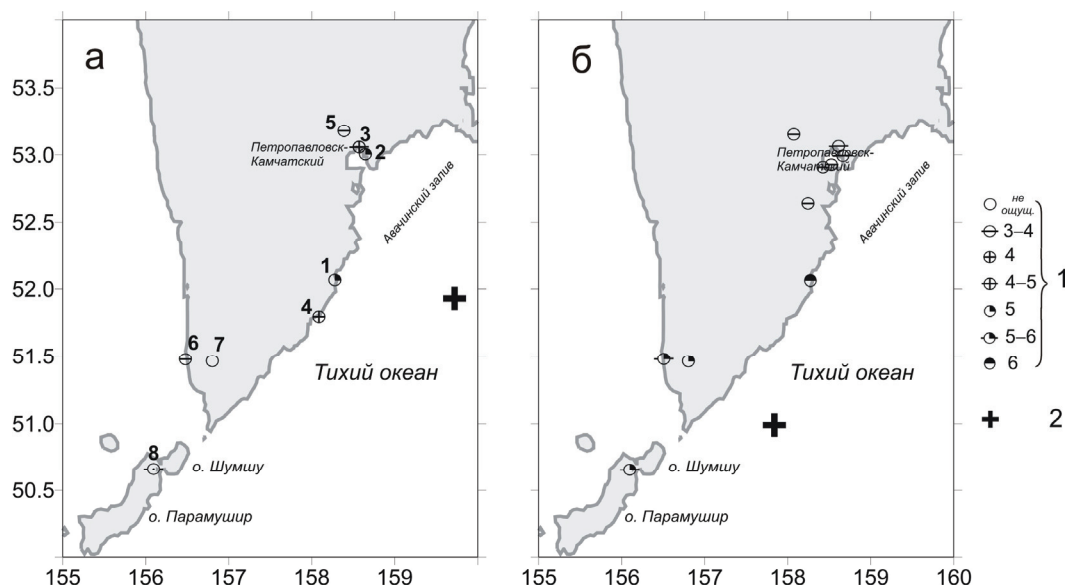


Рис. 6. Макросейсмические проявления землетрясений 8 марта в  $12^{\text{h}}25^{\text{m}}$  с  $K_S=14.3$  (а) и 18 сентября в  $21^{\text{h}}28^{\text{m}}$  с  $K_S=13.8$  (б)

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 [11]; 2 – инструментальный эпицентр.

**№ 2.** Второй рой реализовался в южной части Камчатки за период с 18 сентября по 19 октября (рис. 1, 2, 4). Его эпицентральная зона располагалась в восточной–юго-восточной части очага сильнейшего землетрясения 08.06.1993 г. с  $K_S=14.9$ ,  $M_S=7.4$  [12, 13]. Всего во время роя **№ 2** произошло 30 землетрясений с  $K_S \geq 8.6$ , из них два события (28, 32) имели  $K_S=13.8^*$  и  $13.1^*$  соответственно [7]. Распределение эпицентров землетрясений в этом районе в течение 1999 г. показано на рис. 4. Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в процессе роя, составила  $0.8 \cdot 10^{14}$  Дж. Серия началась 18 сентября в  $21^{\text{h}}28^{\text{m}}$  с максимального в 1999 г. землетрясения с  $K_S=13.8^*$ ,  $M_w=6.0$  [7], вызвавшего сотрясения на территории Камчатки до 6 баллов (табл. 4).

В связи с малым числом населенных пунктов (рис. 6, б) провести изосейсты не представляется возможным.

Для двух наиболее сильных землетрясений роя (28, 30) были определены механизмы очагов (рис. 5). В очаге землетрясения (28) произошла подвижка типа взбросо-сдвиг. Одна из возможных плоскостей разрыва почти вертикальна, другая – близгоризонтальна, с субмеридиональным простиранием. Тип подвижки в очаге землетрясения (32) – сбросо-сдвиг. Одна из возможных плоскостей разрыва в обоих очагах расположена вдоль, а другая – вкрест простирания геотектонических структур этого района.

**№ 3.** Данный рой, произошедший за период с 19 сентября по 12 ноября (рис. 1), представляет особый интерес по месту его возникновения в Алеутском глубоководном желобе у берегов о. Медный, т.к. за весь период детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке,

начиная с 1962 г., столь значительная активизация произошла здесь впервые. Число зарегистрированных в рое событий составило  $N=74$  с  $K_S \geq 8.6$  (рис. 4), суммарная энергия –  $\Sigma E=0.3 \cdot 10^{14}$  Дж. Сильные землетрясения (29, 30, 31) этого роя зарегистрированы 28 сентября в  $05^h00^m$  с  $K_S=13.4$ ,  $M_w=6.1$  и в  $05^h44^m$  с  $K_S=12.3$ , 30 сентября в  $03^h18^m$  с  $K_S=12.5$ . Всю серию можно отнести к типу форшоки – главный толчок – афтершоки. С 19 сентября зафиксировано 16 форшоков с  $9.6 \leq K_S \leq 11.4$ . Основное число афтершоков ( $N=33$ ) зарегистрировано в первые сутки после главного события [7]. Очаговая область вытянута вдоль Алеутского желоба и занимает объем  $40 \times 50 \times 40$  км<sup>3</sup>. Подвижка в очаге главного события (29) – сбросо-сдвиг. Одна из возможных плоскостей разрыва близвертикальна и простирается в субширотном направлении, вторая полого падает на юг. Такую же подвижку в очаге имеет событие (30). В очаге землетрясения (31) реализовался взбросо-сдвиг.

**Таблица 4.** Макросейсмические данные о землетрясении 18 сентября в  $21^h28^m$  с  $K_S=13.8^*$ ,  $M_w=6.0$

№	Пункт	$\Delta$ , км	№	Пункт	$\Delta$ , км
	<u>6 баллов</u>			<u>3–4 балла</u>	
1	Маяк Круглый	124	5	Институт	237
	<u>5–6 баллов</u>		6	Петропавловск-Камчатский	228
2	Озерновский	109		<u>3 балла</u>	
3	Северо-Курильск	128	7	База Родниковая	187
	<u>5 баллов</u>		8	Приморский	219
4	Паужетка	90	9	Рыбачий	221

**№ 4.** Не успела затихнуть очаговая зона **№ 3**, как оживилась северо-западная часть Алеутского желоба. Здесь 26 ноября в  $00^h28^m$  землетрясением (38) с  $K_S=13.2$ ,  $M_w=6.0$  начался мощный рой (рис. 1, 2, 4), который продолжался до середины декабря. Но в этой части Алеутского желоба рои землетрясений не редкость: за время детальных сейсмологических наблюдений их было четыре: в 1965 г. [14], в 1981 г. [15], в 1982 г. [16] и в 1987 г. [17]. Последняя активизация была наиболее значительной. Тогда в очаговой зоне произошло около 55 землетрясений с  $K_S=8.6–14.0$  с суммарной сейсмической энергией  $\Sigma E=1.04 \cdot 10^{14}$  Дж.

Через 12 часов после начала роя, 26 ноября в  $12^h57^m$ , произошло максимальное ( $K_S=13.4$ ,  $M_S=5.6$ ) событие (43). Всего в рое было зарегистрировано 167 землетрясений с  $K_S=8.6–13.4$ , из них 11 с  $K_S \geq 11.6$  (38–48 на рис. 4). Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в очагах землетрясений роя, составила  $\Sigma E=0.66 \cdot 10^{14}$  Дж. Роевый процесс охватил область размером  $30 \times 50$  км<sup>2</sup>, затронув глубины от 20 до 50 км. Три землетрясения (38, 41, 43) ощущались на о. Беринг с интенсивностью от 3–4 до 5 баллов. Тип подвижки в очаге определен для восьми сильных землетрясений (38, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 48 на рис. 5). Два самых сильных землетрясения (38, 43) имеют очень похожую дислокацию в очаге. Это сдвиги с крутопадающими нодальными плоскостями, одна из которых направлена вкост простирающихся геотектонических структур Алеутского глубоководного желоба. В очагах остальных сильных землетрясений имеет место различный тип подвижки: взброс (41), взбросо-сдвиг (40, 42) и два сбросо-сдвига (44, 47).

В пределах Курило-Камчатского глубоководного желоба зарегистрировано лишь одно сильное ( $K_S=12.3$ ,  $M_S=4.7$ ) землетрясение (17 на рис. 2), произошедшее 9 июня в  $07^h07^m$  на глубине  $h=24$  км. В его очаге произошел сдвиг. Обе возможные плоскости разрыва почти вертикальны, оси напряжения сжатия и растяжения близгоризонтальны.

Сейсмически активным был район южной оконечности Камчатки и Северных Курил. Здесь произошло одиннадцать сильных одиночных землетрясений с  $K_S=11.6–13.7$  (1, 14–18, 21–24, 36, 49). Для десяти из них определены механизмы очагов. Тип подвижек неоднороден: это пять сбросо-сдвигов, три взбросо-сдвига и два сдвига.

Как всегда, достаточно активной была область выхода Курило-Камчатской фокальной зоны на дно океана. Здесь, кроме групп № 1, 2, зарегистрированы одиночные сильные землетрясения (2–9, 25–27, 34, 35, 37, 50, 51 на рис. 5). Для двенадцати из них определены механизмы очагов. В целом для очагов землетрясений этого района характерен взбросо-сдвиговый тип подвижки.

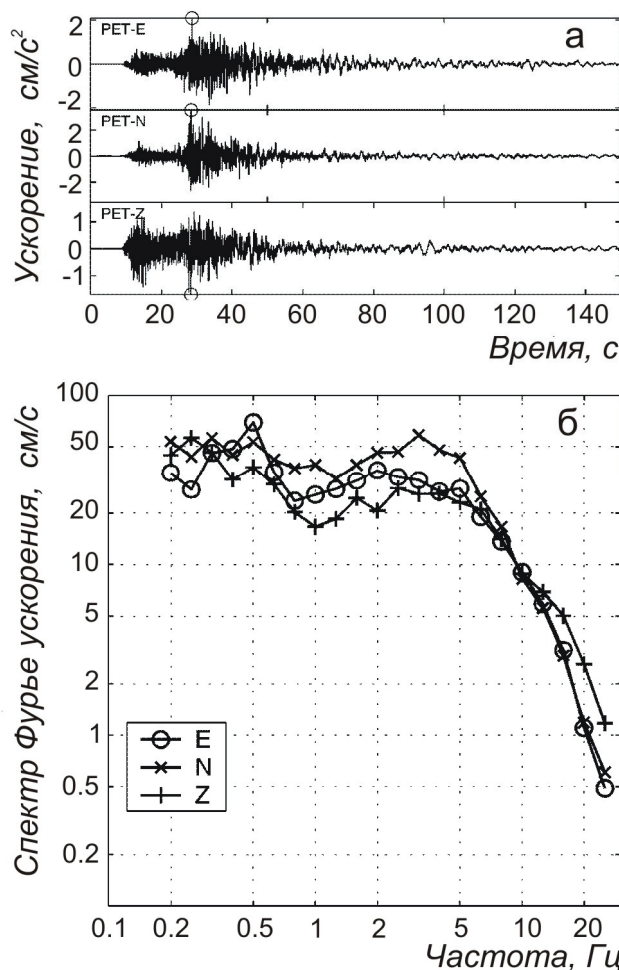
В Охотском море 14 октября в 17<sup>h</sup>35<sup>m</sup> на глубине 504 км произошло одиночное землетрясение (33 на рис. 2) с  $K_S=12.7$ ,  $MPLP=4.8$  со взбросо-сдвиговым типом подвижки в очаге.

В Беринговом проливе 3 июля в 05<sup>h</sup>03<sup>m</sup> было зарегистрировано одиночное землетрясение (20) с  $K_S=13.3$ ,  $h=43$  км, в очаге которого произошла подвижка типа сдвиг.

**Сильные движения** записаны для трех землетрясений (табл. 5) акселерографическим каналом LG широкополосной цифровой сейсмической станции «Петропавловск». В табл. 5 даны значения зарегистрированных максимальных ускорений грунта, скорректированных за АЧХ прибора. На рис. 7 показана нескорректированная запись землетрясения (13), произошедшего 8 марта в 12<sup>h</sup>25<sup>m</sup>. Соответствующие спектры Фурье были скорректированы за прибор.

**Таблица 5.** Максимальные ускорения грунта по данным станции «Петропавловск»

Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$M_w$	Прибор	Компонента	$r$ , км	$a_{\text{макс}}$ , см/с <sup>2</sup>
08.03	12 25 43.8	6.9	IRIS-LG	EW	141.7	2.0
				NS		3.6
				Z		1.7
18.09	21 28 34.2	5.6	IRIS-LG	EW	236.3	2.3
				NS		2.9
				Z		1.1
05.10	05 01 36.1	4.8	IRIS-LG	EW	228	0.98
				NS		1.3
				Z		0.59



**Рис. 7.** Записи (а) и спектры Фурье (б) землетрясения (13) 8 марта в 12<sup>h</sup>25<sup>m</sup> широкополосной сейсмической станцией «Петропавловск»



Л и т е р а т у р а

1. Левина В.И., Иванова Е.И., Гордеев Е.И. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии в 1998 году. – Обнинск: ФОП, 2004. – С. 162–168.
2. Старовойт О.Е., Мишаткин В.Н. Сейсмические станции Российской академии наук (состояние на 2001 г.). – Москва – Обнинск: ГС РАН, 2001. – 86 с.
3. Левина В.И., Иванова Е.И., Гордеев Е.И. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ФОП, 2003. – С. 140–144.
4. Федотов С.А., Зобин В.М., Гордеев Е.И., Иванова Е.И., Лепская Т.С., Митякин В.П., Синельникова Л.Г., Чиркова В.Н. Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 155–169.
5. Гусев А.А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. – 1979. – № 1. – С. 74–81.
6. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
7. Левина В.И., Лепская Т.С. (отв. сост.), Антипова О.Г., Бахтиарова Г.М., Зенина С.А., Карпенко Е.А., Кобзева А.А., Кривогорницына Т.М., Митюшкина С.В., Пархоменко С.А., Пилипенко Л.В., Шевченко Н.А. Камчатка и Командорские острова. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
8. Иванова Е.И. (отв. сост.). Камчатка и Командорские острова. (См. раздел VII (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
9. Федотов С.А., Токарев П.И., Кузин И.П. Землетрясения Камчатки и Командорских островов по данным детальных сейсмических наблюдений в 1966 г. // Землетрясения в СССР в 1966 году. – М.: Наука, 1970. – С. 229–257.
10. Федотов С.А., Токарев П.И., Кондратенко А.М. Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения в СССР в 1966 году. – М.: Наука, 1973. – С. 159–167.
11. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
12. Гордеев Е.И., Левина В.И., Чебров В.Н., Иванова Е.И., Шевченко Ю.В., Степанов В.В. Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. – М.: НИИ-Природа. 1999. – С. 102–114.
13. Левина В.И., Лепская Т.С. (отв. сост.), Богатова Л.И., Зенина С.А., Кривогорницына Т.М., Митюшкина С.В., Митякина И.Н. Пасечко Н.П. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. – М.: НИИ-Природа. 1999. – С. 246.
14. Федотов С.А., Токарев П.И., Багдасарова А.М., Бобков М.Ф. Землетрясения Камчатки и Командорских островов по данным детальных сейсмологических наблюдений // Землетрясения в СССР в 1965 году. – М.: Наука, 1967. – С. 159–178.
15. Зобин В.М., Гордеев Е.И., Иванова Е.И., Синельникова Л.Г., Гаврилов В.А., Митякин В.П., Широков В.А. Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения в СССР в 1981 году. – М.: Наука, 1984. – С. 97–105.
16. Зобин В.М., Гордеев Е.И., Синельникова Л.Г., Митякин В.П. Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения в СССР в 1982 году. – М.: Наука, 1985. – С. 83–93.
17. Федотов С.А., Зобин В.М., Гордеев Е.И., Горельчик В.И., Иванова Е.И., Лепская Т.С., Митякин В.П., Ходенко В.Н. Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения в СССР в 1987 году. – М.: Наука, 1990. – С. 104–116.