

С. А. Федотов, А. А. Гусев, В. М. Зобин,  
А. М. Кондратенко, К. Е. Чепкунас

## Озерновское землетрясение и цунами 22 (23) ноября 1969 г.

22 ноября 1969 г. в 23 ч. 09 м. 35 с, по Гринвичу (11 ч. 09 м. 23 ноября, по местному времени), в западной части Берингова моря в районе залива Озерной у северо-восточного побережья Камчатки произошло землетрясение с  $M = 7,7$  [1], вызвавшее сотрясение силой 8 баллов в ближайших пунктах побережья и породившее волны цунами высотой до 10—15 м. Область очага, судя по размерам плотного роя афтершоков, происшедших в течение первых суток после главного толчка, составляла 100 км. Это было самое сильное землетрясение на Камчатке после 4(5).V.1959 г., когда в районе п-ова Шинунского произошло землетрясение с  $M = 7\frac{3}{4}$ —8.

Озерновским землетрясением закончилось самое длительное в этом столетии сейсмическое затмение на Камчатке (1961 г.—октябрь 1969 г.), в течение которого на Камчатке не было землетрясений с  $M > 6\frac{1}{4}$ . Интерес к Озерновскому землетрясению повысился в связи с тем, что его сила достигала 8 баллов в 7-балльной зоне карты сейсмрайонирования. Большое цунами в Беринговом море также оказалось неожиданным, поскольку этот район считался безопасным по картам районирования опасности цунами.

Изучение Озерновского землетрясения и его последствий проводилось сотрудниками Тихоокеанской сейсмической экспедиции (ТСЭ) Института физики Земли АН СССР и лаборатории геофизических станций С. А. Федотова. Оно началось на следующий день после землетрясения. К. Е. Чепкунас (ТСЭ) вылетел в ближайший к эпицентральной области пункт — на маяк Восточный — Озерной, где установил временную сейсмическую станцию с приборами ВЭГИК-ГВУ и УАР и собрал данные о разрушениях и цунами в этом районе. В. М. Зобин провел макросейсмическое обследование в поселках Камчатки от Усть-Камчатска до Оссоры, позднее определил механизм очага. А. М. Кондратенко определила координаты фокусов и афтершоков по данным камчатской сети станций ТСЭ и ИВ (они включены в каталог землетрясений, приложенный к статье о камчатских землетрясениях в 1969 г.). Гусев свел вместе все данные о землетрясении и цунами, полученные сотрудниками ТСЭ, ИВ, гидрометеослужбой, маяками и мировой сетью сейсмических станций.

### Сейсмогеотектоническая обстановка и инструментальные данные о главном толчке

Район очага расположен в тихоокеанском подвижном поясе, на продолжении Курило-Камчатской сейсмической зоны к северу от ее пересечения с Алеутской зоной (рис. 1). Обращенные к океану границы этих зон нанесены по осям глубоководных желобов. Западная граница Курило-Камчатской зоны проведена условно там, где средняя глубина землетрясений составляет 60—90 км, а сейсмическая активность падает в 2—5 раз по сравнению с осью зоны. Алеутская зона оконтурена с севера по подножию континентального склона. Севернее  $56,5^\circ$  с. ш. приведены эпицентры и магнит-

14 Землетрясения в СССР в 1969 г.

№ землетрясения	Число землетрясений	Момент возникновения, Ч. М. С.	Координаты эпицентра		Глубина очага, км	Магнитуды	Макросейсмические данные	Эпицентр	К	М	И	Макросейсмические данные
			Ф° N	Л° E								
		16 18 26,5	54,27	160,82	80—90	бв			10,9			8
	4	16 55 57,0	54,97	162,40	10—20	ав			9,8			7
	6	15 41 49,7	57,87	163,90	0	ав			9,9			4
	7	17 22 13,0	57,03	162,88	0	ав			11,1			4
	8	07 47 45,5	57,37	163,42	0—10	бв			10,0			4
39		05 18 22,5	57,43	162,08	0	ав			5,1			4
		19 41 25,0	52,2	152,8	450	сн			12,2			4
	9	02 53 12,5	57,32	163,06	10—30	ав			11,0			15
		07 58 50,0	54,22	160,53	10	ав			9,8			4
		10 45 52,5	58,20	164,00	0—10	ав			10,0			8
		18 43 35,5	57,47	162,90	10	ав			10,5			3
		23 29 30,0	49,67	156,78	10	ав			10,2			4
40	10	09 25 20,0	57,6	163,5	0—40	сс			10,8			14
		15 27 37,0	57,43	163,73	20	ав			9,9			4
		15 41 24,5	58,3	162,6	0—20	нн			10,6			4
	11	16 31 55,5	58,2	164,6	0	сс			10,3			3
	12	17 54 36,4	58,1	163,5	30	нн			10,0			3
	13	22 49 38,0	56,98	163,40	10	ав			11,2			3
	14	22 32 06,5	57,43	163,58	30	ав			10,2			4
	15	05 56 35,0	50,48	157,00	0	бв			10,3			4
	17	06 02 24,5	58,03	156,67	280—300	ав			10,9			13
	19	03 27 45,0	53,77	160,67	20	ав			10,2			15
	22	15 51 33,7	53,58	161,92	10—20	ав			10,0			9
	23	15 49 49,5	57,02	163,18	20—30	ав			9,9			8
	25	13 47 44,5	53,40	162,62	10	ав			11,0			6
	26	07 29 38,0	54,48	164,48	0—50	бн			10,0			4
	28	04 27 51,2	53,37	160,37	40	ав			10,2			9
	29	12 03 16,0	52,12	159,08	20	ав			10,3			11
44					0	нн			5,9			4
									12,1			4

\* Точность определения эпицентра и глубины очага: а — невязка в пределах  $\pm 5$  км от среднего положения гипоцентра; б — то же,  $\pm 10$  км; в —  $\pm 15$  км; г —  $\pm 25$  км; д —  $> 25$  км.

землетрясения с  $M = 7,7$  в области «выклинивания» Курило-Камчатской зоны несколько неожиданно и свидетельствует о большей активности современных тектонических процессов в этом районе, чем считалось до сих пор.

Основные структурные элементы района землетрясения имеют общее направление СВВ: хребет Куморч — северная оконечность Восточного Камчатского хребта, в котором отмечаются современные тектонические движения и поверхностные землетрясения, ось Восточно-Камчатского вулканического пояса (последний заканчивается потухшим вулканом Начикинский на п-ове Озерной, рис. 2, а), а также сама Курило-Камчатская зона с ее восточной границей — глубоководным желобом. Алеутская сейсмическая зона отличается здесь более слабой сейсмичностью, отсутствием глубоких и промежуточных землетрясений, а также современного вулканизма.

Инструментальные эпицентры землетрясения, по данным различных определений, лежат на континентальном склоне впадины Берингова моря в 15—30 км к востоку от мыса Озерной (рис. 2, а). На карте приведены эпицентры землетрясения по данным бюллетеней [1] и [5], а также эпицентры, полученные на ЭВМ по программе «Гипоцентр» [6] с использованием всех дальневосточных станций СССР, и дополнительно станций Иульгин и Алак, по додграфу Джеффриса — Буллена. Принятое нами положение эпицентра (№ 5 по табл. 1) указано крестом. Различные данные о координатах, глубине и магнитудах сведены в табл. 1.

Таблица 1  
Инструментальные данные об Озерновском землетрясении (22.XI 1969 г.)

№	$t_0$ , сек	№ E	φ° N	H, км	Энергетические данные	Источник
1	39	163,4	57,9	50	$M = 7,7$	[1]
2	37,2	163,51	57,76	Норм.	$M = 7,3$	[5]
3	35	163,85	57,76	30	$m_b = 6,3$	[6]
4	32	163,6	57,8	5		
5	35	163,75	57,76	30	$K_{S1,2}^{Ф88} = 14,4$	Сейсмологический бюллетень Наст. работа

Рассмотрим данные об энергии и спектре землетрясения. Для этого удобно свести энергетические оценки для разных участков спектра к единой шкале  $M$ , пользуясь известными корреляционными соотношениями. Будем обозначать такие оценки  $M_1, M_2$  и т. д. Таким образом, мы получим данные об отклонении спектра данного землетрясения от некоторого среднего для землетрясений подобной силы.

Оценка для короткопериодной части спектра ( $T \approx 1$  сек.) может быть получена по формулам (1, 2), связывающим  $K_{S1,2}^{Ф88}$  и  $m_b$  с  $M$ :

$$K_{S1,2}^{Ф88} = 4,6 + 1,5M, \quad (1)$$

$$m_b = 1,5 + 0,69M, \quad (2)$$

справедливым для камчатских землетрясений (6). Отсюда  $M_1 = 6,6; M_2 = 6,9$ . К короткопериодной части спектра ( $T = 0,1 \div 5$  сек.) относятся также оценка магнитуды по макросейсмическим данным  $M_s = 7,0$  (см. ниже). Магнитуды по поверхностным волнам  $M_4 = M_s = 7,7$  [4],  $M_5 = M_s = 7,3$  [5] относятся к периодам  $T = 10 \div 20$  сек. Наконец, самую длиннопериодную часть спектра можно попытаться оценить косвенно — по размерам

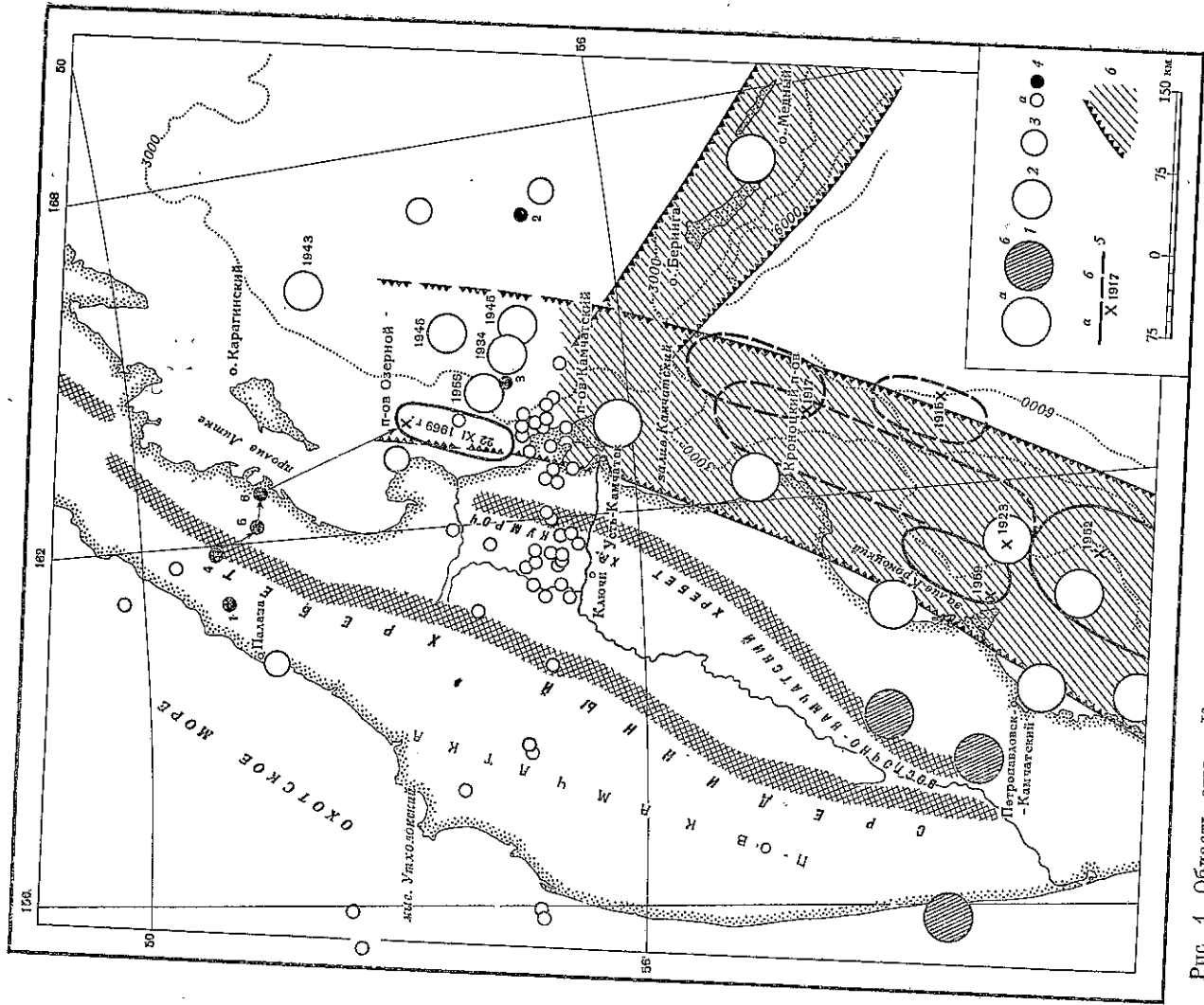


Рис. 1. Область стыка Курило-Камчатской и Алеутской сейсмических зон и очаг Озерновского землетрясения

1 — эпицентры землетрясений с  $7 \leq M \leq 7 \frac{1}{2}$ ; а — поверхностные, б — глубже 70 км; 2 — эпицентры землетрясений с  $6 \leq M < 7$ ; 3 — эпицентры землетрясений с  $4 \frac{1}{2} \leq M \leq 5 \frac{1}{2}$ ; 4 — (см. текст); 5 — эпицентры и границы очаговых зон землетрясений с  $M \leq 7 \frac{1}{2}$ ; а — надежные, б — ненадежные; 6 — сейсмические зоны

туды землетрясений с 1930 г. по [2] (представительны землетрясения с  $M \geq 6$ ). Южнее  $56,5^\circ$  с. ш. нанесены лишь землетрясения с  $M \geq 7$  с 1945 г. (координаты эпицентров по [3], зоны очагов землетрясений с  $M \geq 7 \frac{1}{2}$  по [4]). Заметим, что по современной шкале магнитуд, в отличие от шкалы [2], сильнейшее известное в Беринговом море землетрясение 5 апреля 1945 г. имело бы магнитуду около 7. Тем не менее возникновение



очага и масштабом цунами. Используя зависимости Уцу (3) и Аверьянов (4) [7, 8]

$$\lg l = -2 + 0,5 M, \quad (3)$$

$$\lg l = -1,61 + 0,48 M, \quad (4)$$

получим оценку:  $M_6 = 7,5-8,0$ .

Формула

$$\log_2 H_{cp} = i = 2,61 M - 18,44 \quad (5)$$

дает  $M_7 = 8,0$ . Здесь  $H_{cp} = 4 \div 8 M$ .  $H_{cp}$  — средняя высота подъема воды на побережье;  $i$  — магнитуда цунами [9, 10].

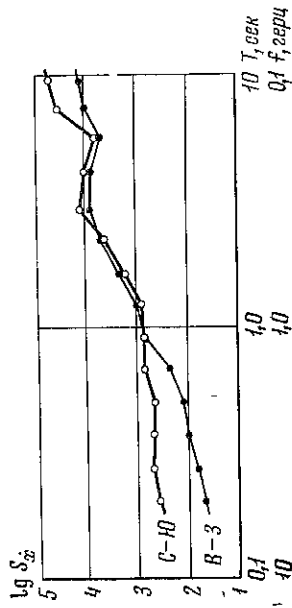


Рис. 4. Филтър-спектр скорости для записи, приведенной на рис. 3, а (в условных единицах). Сейсмическая станция Берлинг

Эта сводка данных показывает, что спектральная плотность энергии землетрясения была аномально низка в области периодов менее 10, а возможно, и менее 20 сек. Спектральная плотность в области 4 гц была ниже средней для землетрясений с  $M = 7,5$  приблизительно на порядок.

Примечательно в этой связи филтър-спектр скорости (рис. 4), рассчитанный В. В. Штейнбергом по записи землетрясения (см. рис. 3, а) на сейсмической станции Берлинг (4 балла,  $\Delta = 260$  км от южного края очага) горизонтальными каналами С5С-ИСО-2. Термин «филтър-спектр» означает, что спектральная плотность усреднена по частотным интервалам, центрам которых и соответствуют точки на графике. Заметим, что спектр не исправлен за частотную характеристику канала, имеющую спад для периодов более 5 сек. Для периодов более 10 сек. по этой причине оценки ненадежны. Спектральная плотность монотонно возрастает в сторону низких частот. Это возрастание сохраняется и в спектре ускорений.

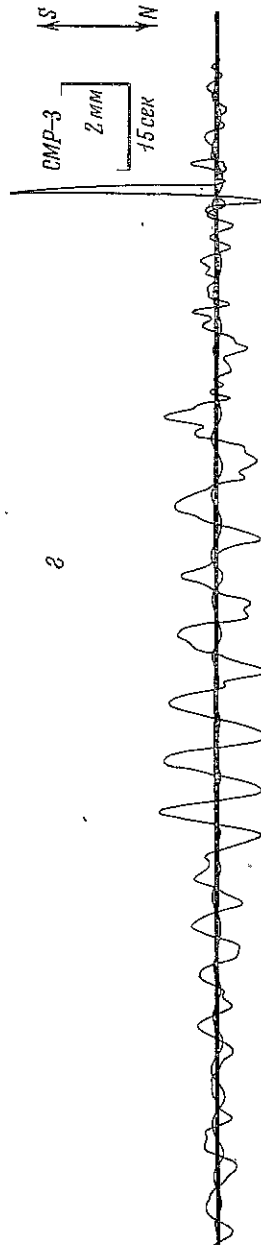
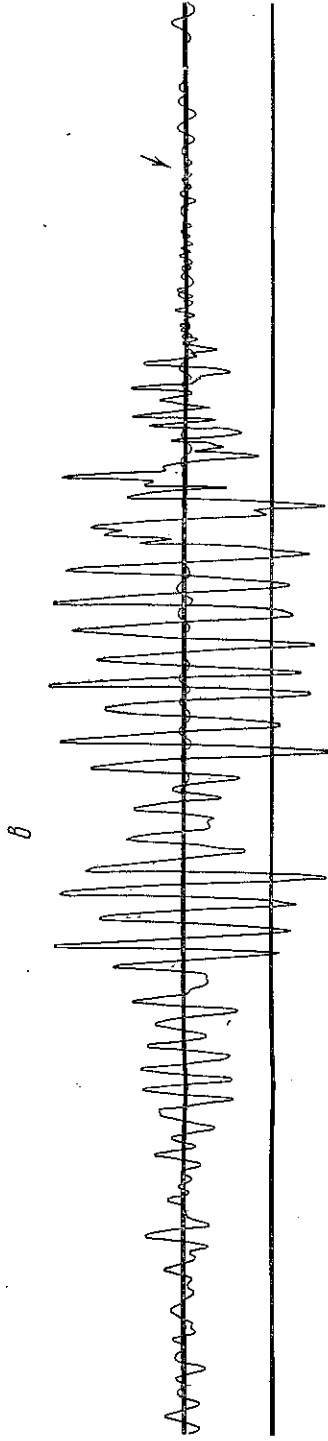
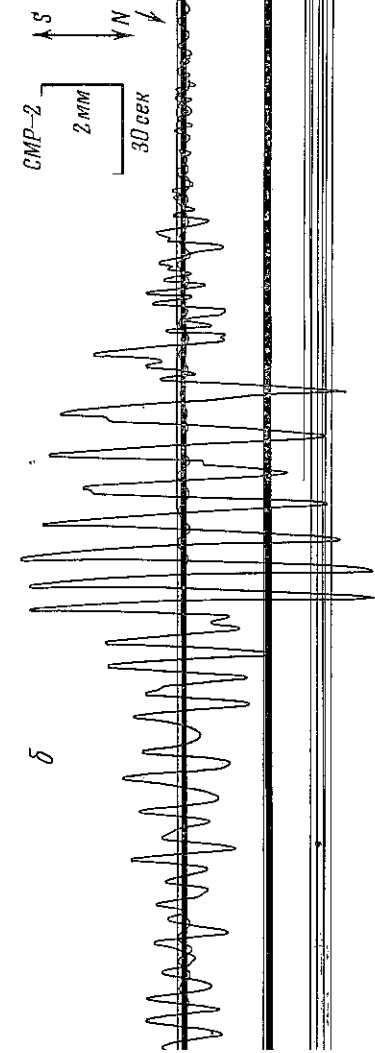
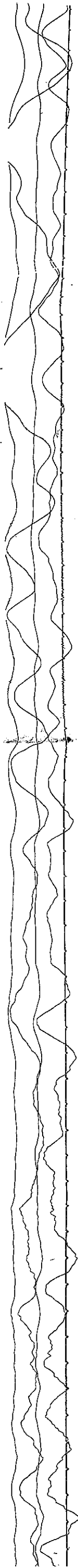
#### Размеры и механизм очага

Размер очага оценивается по протяженности зоны афтершоков, произошедших в течение первых 32 час., и составляет около 400 км (рис. 2, а). Механизм очага определен по знакам первых смещений  $P$  на 100 станциях. Данные взяты из бюллетеней [4], [5] и записей камчатской сети. Построение проводилось по методике А. В. Введенской [11], на рис. 5 приведена проекция нижней полушеры. Видно, что некоторое количество усиленных волн разрежения наблюдается в северо-западном квадранте. Тем не менее приведенный вариант подальных линий (табл. 2) кажется наиболее приемлемым и, более того, единственным удовлетворяющим имеющемуся набору данных.

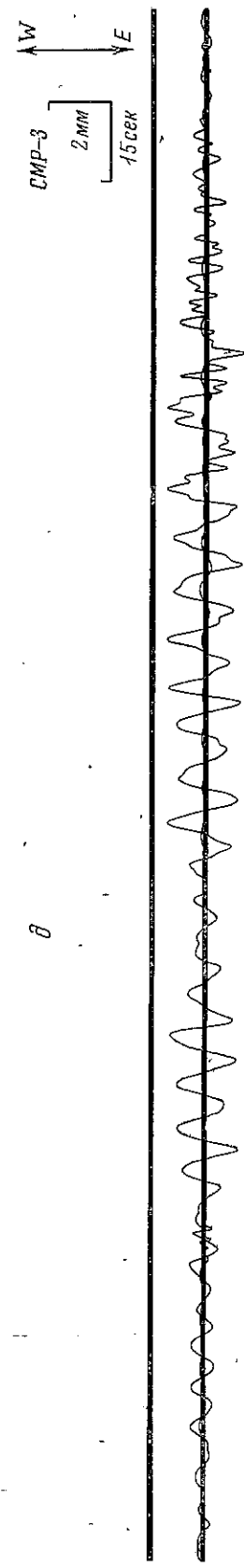
Проекция осей сжатия и растяжения почти перпендикулярны одна другой и направлены соответственно в меридиональном и широтном направлениях (см. рис. 2, а). На рис. 2, а приведены также оба варианта направления плоскостей подвижки. Видно, что вариант I лучше согласуется с направлением разрыва, полученным по ориентации зоны афтершоков. В этом случае по первым вступлениям подвижки можно охарактеризовать как почти чистый сдвиг западного крыла на юг. Небольшая сбливающая компонента, именно опускание западного крыла, ненадежна,

2

а



2



в

СИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ  
 р. СИС-ИСО-2 на о-ве Беринга, Δ = 260 км, 4 балла: б — запись сейсмостанции Петропавловск следующие сейсмо-  
 стации: б — СМР-2, С-Ю, в — СМР-2, В-3, г — СМР-3, С-Ю, д — СМР-3, В-3, е — УБОПЗ-2

из в СССР в 1969 г.

Ориентация напряжений и параметры подвижки \*

i	k		x		I		II		
	Az	e	Az	e	Az	e	Az	e	
170	40	270	40	60	50	220	75 СЗ	290	300 50 ЮЮЗ

\* i, k, x — ось напряжений сжатия, растяжения и промежуточного соответственно; I, II — варианты поверхности разрыва и подвижки; Az — азимут; e — угол с горизонтальной плоскостью; α — угол между направлением падения плоскости разрыва и направлением подвижки.

поскольку все построение ведется для первых вступлений (начала процесса), а направление подвижки в целом может быть несколько широким. Плоскость подвижки почти вертикальна. Сдвиг западного крыла на юг подтверждается и направлением падения печных труб на побережье на Ю-ЮЗ.

Стоплометровый разрыв ориентирован вдоль континентального склона на впадины Берингова моря. Этот склон в области очага крутой, с углами до 20-25°, и прорезан несколькими подводными каньонами, возможно, имеющими тектоническое происхождение.

**Макросейсмические данные**

Данные о силе землетрясения и высотах цунами приведены на рис. 6 и в табл. 3.

Маяк и метеостанция на мысе Озерном. Землетрясение ощущалось как два сильных толчка с интервалом в 1,5-2 мин., сопровождавшихся сильными плавными колебаниями. Было трудно стоять на ногах, один человек сброшен с кровати. Дом ГМС покачивало в направлении СВ-ЮЗ. Слышался грохот, как от прибой.

Маяк и здания расположены на ровной поверхности прибрежной тундры, грунты средние. Башня-груба маяка из монолитного железобетона

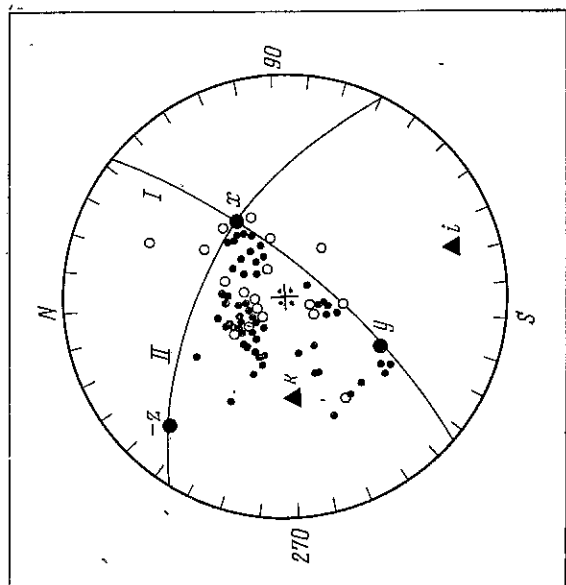


Рис. 5. Знаки первых смещений в волне P, проекция на нижнюю полуферу

● — волна сжатия; ○ — волна разрежения

Таблица 3

Интенсивность Озерновского землетрясения в различных пунктах

Пункт	Балл	Δ <sub>х</sub> , км	Δ <sub>у</sub> , км	Пункт	Балл	Δ <sub>х</sub> , км	Δ <sub>у</sub> , км
м-с Озерной	8	12-30	14-33	Карага	4-5	155	155
ГМС Озерная	8	17-33	21-42	Оссора	4-5	170	170
р. Озерная	7	33-42	60-78	Тынылат	4-5	195	195
о-в Карагайский	6-7	90	90	Ключи	5	160	240
Хайлоля	6-7	105	105	Козыревск	5-6	230	295
Усть-Камчатск	6-7	120	120	м-с Африка	5	78	170
Ивашка	6-7	120	120	Никольское	4	260	320
Ука	6	85	90	Палана	3-4	250	250
				Эссо	3	300	365

высотой 25 м, диаметром около 3,5 м и толщиной стенок около 1 м дала кольцевую сквозную волосяную трещину на высоте 4 м. На башне частично осыпалась (20%) и отслоилась (60%) штукатурка, разрушена бетонная отмостка, тумба оптического устройства вырвана из крепления, а само устройство разбито. В зданиях из шлакоблоков частично разбиты стекла, в стенах и перекрытиях возникли сквозные тонкие трещины, частично осыпалась штукатурка. Кирпичные трубы не упали, в дымоходах трещины. Разрушена часть одной из печей, в печах трещины. Поврежден подземный кабель.

В здании ГМС из деревянного бруса, расположенном на галечной морской террасе у устья р. Ольховая, разрушены трубы и дымоходы, кирпичные трубы с силой брошены на Ю-ЮЗ. Обе кирпичные печи потрескались.

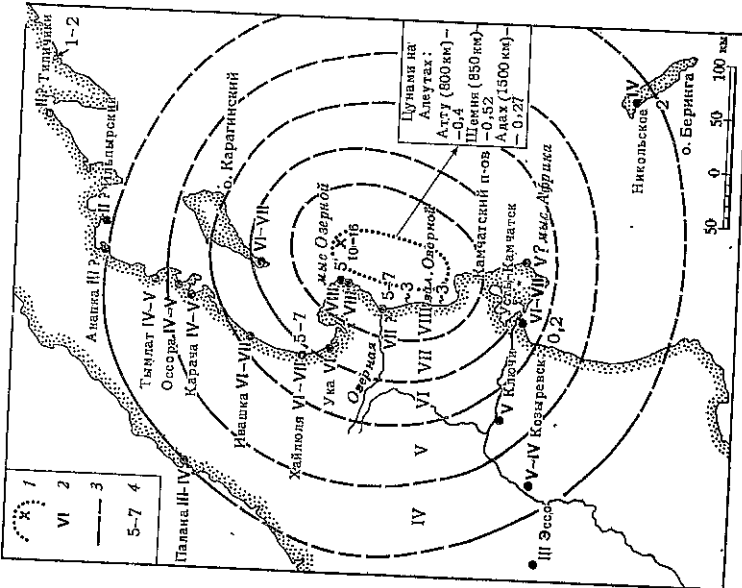


Рис. 6. Интенсивность землетрясения, высоты цунами и приближенная схема изосейст землетрясения; 1 — эпицентр и очаговая зона землетрясения; 2 — интенсивность, баллы; 3 — изосейсты (сплошные линии — вероятные, пунктирные — гипотетические); 4 — высоты цунами, м

В долине р. Ольховая, у устья которой расположена ГМС, в двух местах возникли трещины в грунте, длиной до 10 м и шириной до 30 см (рис. 7). На крутом склоне сопки — небольшой обвал, в пойме реки — оползень шириной до 40 м. Наблюдатели ГМС без полной уверенности отмечают опускание участка косы в устье Ольховой, длиной до 50 м, на 0,5-1 м ниже прежнего уровня. Во время землетрясения в устье Ольховой замечено два фонтана воды высотой 70 см. Сила землетрясения — 8 баллов.

В устье р. Озерной покороблен новый рубленый дом, щели в стенах. Повреждены трубы отопительной системы. Предметы падали с полок. Стекла целы. Кирпичных труб нет. Не менее 7 баллов. На южной оконечности о-ва Карагинский многие ощущали головокружение. В штукатурке шлакоблочного дома образовались волосные трещины; на сухой поверхности тундры обнаружена пылящая трещина длиной до 100 м, шириной 1-2,5 см, со смещением краев по вертикали 5-7 см (сообщение В. Н. Рогуленко). Сила землетрясения — 6-7 баллов.

Пос. Хайлоля. Люди с трудом удерживались на ногах, каркасно-засыпные дома и мебель трещали. Из канавы выплеснулась вода. Сильный испуг. 6-7 баллов. Пос. Усть-Камчатск. Многие выбегали из домов, открывались двери, двигалась мебель. Слышался треск льда на р. Камчатке. В некоторых домах трещины в штукатурке. Из аквариума выплеснулась вода. Сильно раскачивались подъемный кран и грузовые автомашины. 6-7 баллов.

Пос. Ивашка. Скрипели полы и потолки, в некоторых домах тонкие трещины в штукатурке. Выплеснулась вода из таза. 6-7 баллов. Пос. Ука. Люди выбегали из домов, дома скрипели, открывались и закрывались двери, двигалась мебель. 6 баллов.

Пос. Козыревск. Землетрясение ощущалось большинством жителей в домах и некоторыми на улице. Двигалась посуда на столах, пере-

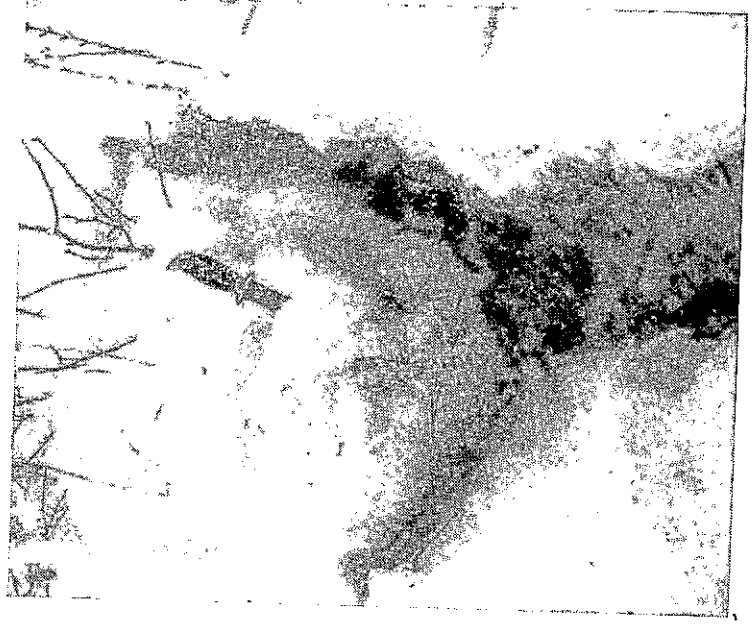


Рис. 7. Трещины в грунте в долине р. Ольховая (8 баллов)

косило ветхий деревянный дом. Сдвигались кровати. В отдельных домах повреждена штукатурка. В некоторых местах оборваны провода. Лед на р. Камчатке треснул и частично раскололся, вода в протоке помутнена. 5-6 баллов.

Мыс Африка. Землетрясение совпало по времени с 10-балльным латормом (дома в 80 м от прибойной полосы). Ощущались плавные колебания. Не менее 5 баллов.

Пос. Никольское (о-в Беринга). Землетрясение ощущалось mildly, колебались всякие предметы. 4 балла.

Для записи сильных движений здесь установлены велосиметры С5С-ИСО-2. На рис. 3, а приведена запись горизонтальных каналов.

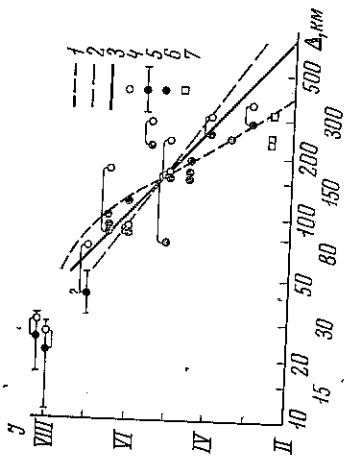


Рис. 8. График сдвигания балльности с расстоянием

Зависимость  $I(\Delta)$  по разным источникам: 1 — работы ТСЭ,  $M = 7,1$ ; 2 — по Шебалину [13] стандартная,  $M = 6,6$ ; 3 — по Шебалину [13] для Дальнего Востока,  $M = 6,7$ ; 4 — экспериментальные данные; 5 — отчет от интрузивного эпицентра; 6 — отчет от очаговой зоны; 7 — приведены границы возможных уклонов; 8 — по рис. 3, а; 9 — землетрясение не ощущалось

В первые секунды максимальная скорость 3 мм/сек при периоде 2 сек., в конце записи — 6 мм/сек. при периоде 10 сек.

Землетрясение не замечено в пос. Анапка, Тиллички, Ильпырский, Кроноки, на расстояниях 300-350 км от очага.

Во всех пунктах 4-6-балльной зоны отмечаются головокружение и тошнота. Ощущение людей меняется — от тряски с 1-2 сильными толчками на фоне плавных колебаний в 8-балльной зоне до плавных колебаний в 4-5-балльной зоне. Сильные низкочастотные колебания очень затрудняют оценку балльности, так как по крупномасштабным эффектам (в основном пункт «в» — природные явления) группировки признаков шкалы MS K-64 [12] оценка обычно на 1-2 балла больше, чем по мелкомасштабным (пункт «б» — сооружения).

В табл. 3 приведены эпицентральные расстояния в двух вариантах:  $\Delta_1$  — от эпицентра и  $\Delta_2$  — от ближайшей точки оси очага. Изоэписты землетрясения проведены на карте (см. рис. 6) довольно условно. Явных аномалий затухания на ней не заметно. Характер убывания балльности с расстоянием виден на рис. 8. Вариант с протяженным очагом дает меньший разброс.

С экспериментальными точками  $I(\Delta)$  совмещены две зависимости Н. В. Шебалина [13]: осредненная — линия 2 — для  $M = 6,6$  и построенная по дальневосточным землетрясениям — линия 3 — для  $M = 6,7$ . Кривая 1 получена в ТСЭ по данным о камчатских землетрясениях 1952 и 1959 гг. с  $M \geq 7,4$  и смещена вниз так, что она соответствует  $M = 7,1$  (принято  $dI/dM = 1,5$ ). Последняя кривая хорошо осредняет экспериментальные точки. Выплаживание ее в начальной части определяется не глубиной очага ( $H \approx 30$  км), а другими факторами, в частности протяженностью очага ( $l \approx 100$  км).

### Цунами

Волна цунами, вызванная землетрясением, пз-за малой населенности побережья отмечалась лишь в нескольких пунктах (см. рис. 6).

В устье р. Ольховая через 15-20 мин. после землетрясения наблюдался подход двух волн высотой около 10 м. Направление фронтов подхода волн несколько отличалось, и, скорее всего, это была единая волна

с изолетным фронтом. В устье реки, у дома ГМС, волна выросла до 12-15 м. Через 20 мин. наблюдалась вторая волна высотой 3-5 м.

Первой волной возле ГМС поломан кедровый стланик, выбита стена дощатой бани. Волна прошла вверх по реке на расстояние до 500 м, таща с собой лодку и бочки с горючим, лежавшие над прибойной полосой у устья. Веломанный речной лед толщиной 20 см на протяжении 300 м выброшен на речную террасу.

На участке побережья между мысом Озерной и устьем р. Ольховая после цунами была выброшена морская капуста на расстояние до 50-70 м от прибойной полосы на высоту 8 м.

На мысе Озерной высота залеска ниже — около 5 м. Смыты бочки горючего.

В устье р. Озерной примерно через 20 мин. после землетрясения был подтоплен берег на высоту 5-7 м.

На участке побережья Озерновского залива к югу от мыса Озерной, до поворота берега залива на восток, с воздуха были видны выбросы морской капусты.

Между пос. Хайлюля и Ивашка в Карагинском заливе берег был подтоплен на высоту 5-7 м, ширина залитой полосы — 20 м. Волна не наблюдалась.

В пос. Никольское на о-ве Беринга три волны достигали высоты 1,5-2,5 м. Житель Н. А. Емельянов,шедший вдоль прибойной полосы, первой волной был унесен в океан на 100-150 м от берега; по осохшей полосе прошла вторая волна, вынесшая его обратно (сообщение Н. А. Петникова). Волны заливали полосу берега шириной до 25 м.

В бухте Лаврова, воронкообразном фьордовом заливе на о-ве Говена (СВ угол карты рис. 6), волной смыты три плашкоута и рыбацос (сообщение Камчатрыбпрома).

Мареографами записаны волны с размахом 0,2 м в Усть-Камчатске (сообщение С. И. Казарьяна), 0,40 м и 0,52 м на о-вах Атту и Шемия в группе Ближних и 0,27 м на о. Адах в группе Андрияновских Алеутских островов [5].

На рис. 2, а приведены взрывы цунами для моментов 12, 14, 16 мин., построенные от устья р. Ольховая. Время 15-20 мин., которое сообщают сотрудники ГМС, хорошо согласуется с данными об источнике.

В соответствии с [10] магнитуда цунами  $i$ :

$$i = \log_2 H_{cp},$$

(6)

где  $H_{cp}$  — средний подъем воды на побережье против очага, равна 2,5. Магнитуда цунами  $m$  [10], близкая к  $i$ , также равна 2,5 (волны высотой 8-15 м).

### Форшоки и афгершоки

Район очага будущего Озерновского землетрясения отличался на протяжении предшествующих 5-10 лет очень слабой сейсмичностью (см. рис. 1). Единственное известное землетрясение, эпицентр которого находился внутри области будущего очага, произошло в марте 1965 г. ( $M = 4,1$ ). Заметим, однако, что координаты эпицентров землетрясений с  $M = 4,3/4,6/4,8$  за последние 40 лет определялись с большими ошибками (иногда более 50 км по [2]).

В течение 1969 г. в районах, почти асейсмичных по данным предшествующих лет, произошло несколько землетрясений (эпицентры залиты черным на рис. 1; табл. 4).

Обычных форшоков с  $K \geq 10$  (уровень надежной регистрации) в районе будущего очага не наблюдалось. Все отмеченные землетрясения лежат в полосе направления СЗ-ЮВ, захватывающей эпицентр главного толчка. Последние три землетрясения, произошедшие в течение двух недель перед главным толчком, образуют цепочку, направленную к его эпицентру (соединены стрелками на рис. 1).



Землетрясения «асейсмичных» районов к северу от 56,5° с. ш. за 1969 г.

Таблица 4

Дата	λ° В	φ° N	Н, км	К <sub>S1,2</sub> <sup>Ф88</sup>	Дата	λ° В	φ° N	Н, км	К <sub>S1,2</sub> <sup>Ф88</sup>
16. V 1969	164,05	59,30	20—30	9,4	10. XI 1969	164,88	59,50	10—40	11,4
10. VI 1967	166,60	56,70	10—40	9,2	21. XI 1969	162,06	59,03	0—40	10,6
12. VII 1969	164,15	56,98	30	8,2	22. XI 1969	163,06	58,97	0—40	9,7

Афтершоки, происходившие после главного толчка 22. XI 1969 г. в 23 ч. 09 м., записывались сетью стационарных станций ТЭС ИФЗ АН СССР и ИВ ДВНЦ АН СССР, а также с 6 по 20 декабря — временной станцией ТЭС ИФЗ, поставленной на маяке «мыс Озерной». Сильнейшие афтершоки записаны удаленными станциями.

В течение первых 32 час. после землетрясения афтершоки распространялись на юг от эпицентра главного толчка, окончившись таким образом наиболее вероятную зону разрыва — очаг (см. рис. 2, а). Афтершоки концентрируются в средней части зоны и у южной ее оконечности. Концентрация афтершоков у конца разрыва — обычное явление. В интервале 32 часа — 6 суток после главного толчка (см. рис. 2, б) афтершоки начинают мигрировать вонне очаговой зоны, в частности, на север от главного толчка. Эта тенденция сохраняется и в течение последующего месяца — афтершоки тянутся на север вдоль континентального склона. Одновременно возникает скопление эпицентров в виде цепочек вдоль молодого торного хребта Кумрот, лежащего параллельно очагу примерно в 50 км западнее его ося. 8 декабря здесь происходит редкое для территории Камчатки землетрясение с  $M = 5,4$  ( $K = 12,2$ ). Сильнейший афтершок 23 декабря ( $M = 5,9$ ,  $K = 12,4$ ) в южной части очаговой зоны в основном завершает афтершоковую серию. Примечательно возникновение землетрясений в районе залива Карагинский — пролив Литке, считающимся до сих пор асейсмичным, а также на дне котловины Берингова моря.

Развитие афтершокового процесса шло довольно обычным путем. Маршрутная ступень между основным толчком и сильнейшим афтершоком составляет  $\Delta M = 1,8$ , след числа землетрясений во времени хорошо описывается гиперболическим законом Омори ( $t$  в сутках):

$$N = N_0 t^{-p}, \quad (7)$$

но параметр  $p$  определяется ненадежно. В районе очага камчатская сеть регистрирует все землетрясения с  $K = 9,5$  и выше. По этим данным  $p \approx 1,0$ . Если же использовать землетрясения с  $K \geq 8,5$ , в которых возможны пропуски, получим  $p = 1,4$ . Величина  $N_0$  равна соответственно 40 и 73 (сут.)<sup>-1</sup>. Половина всех афтершоков произошла в первые 6 суток.

Наклон графика повторяемости для афтершоков  $\gamma = -0,58$  при среднем для Камчатки  $\gamma = -0,48$ \*. Афтершоки землетрясения 22. XI 1969 г. ощущались на мысе Озерной, о-ве Карагинский и в Усть-Камчатске. Подробные данные удалось получить для мыса Озерной, кроме того, там была установлена аппаратура УАР для записей сильных движений ( $T_1 = 0,045$  сек.,  $D = 0,75$ ). В табл. 5 и 6 приводятся список ощущаемых толчков с известными координатами и результаты обработки записей УАР.

Сопоставление данных по афтершокам с данными о предшествующей сейсмичности подтверждает существование здесь единой сейсмогенной структуры, продолжающей на север Курило-Камчатскую зону. Ориентировочно выделяются три параллельные сейсмогенные зоны: основная —

\* См. статью П. И. Токарева и др. «Землетрясения Камчатки и Командорских островов» в настоящем сборнике.

Ощутимые афтершоки на мысе Озерной

Таблица 5

№	Дата	Время по Гринвичу, ч. м. с.	Балл	Δ, км*	К <sub>S1,2</sub> <sup>Ф88</sup>	Н, км	Примечание
1	23. XI	00 48 37,5	4	40	11,3	10—40	Координаты см. в ст. П. И. Токарева и др. в наст. сборнике
2		01 37 09,0	3	50	10,8	0—40	
3		01 47 58,0	3	50	11,0	0—40	
4		03 44 54,5	3	65	10,1	0—40	
5		06 43 45,5	3	95	10,1	0	
6		07 12 14,5	3	85	10,2	10—20	»
7		08 00 16,5	3	50	11,1	0—20	
8		10 39 40	3	40	9,4	0—40	
9	24. XI	13 28 25,3	3	45	9,2	10—20	
10	27. XI	06 56 57,5	3	80	10,2	0—20	
11		15 19 59,0	5—6	35	10,7	0—10	»
12	29. XI	19 01 22,0	4—5	45	10,9	10	
13	3. XII	03 04	4	(5)	6	—	
14	5. XII	07 04	4—5	—	—	—	
15	6. XII	12 25	5—6	(7)	8,5	—	
16		12 26	3—4	(4)	—	—	Есть запись УАР, координаты в ст. П. И. Токарева и др.
17	7. XII	19 53 30,5	3—4	(28)	9,6	10	
18	11. XII	17 54 36,0	—	(45)	11,2	0—40	

\* В скобках — гипотенузальные расстояния по S—P.

Ускорение грунта по записям прибора УАР от афтершоков в эпицентральной зоне (мыс Озерной)

Таблица 6

№ по табл. 5	K	S—P, сек.	Гипотенузальное расстояние, км	Каналы	Максимальное ускорение, см·сек. <sup>-2</sup>	Период, сек.	Балл	Балл по [13]
13	6	0,7	5	Z	23	0,09	4	5,5
15	8,5	1,0	7	СЮ	27	0,10	—	—
				Z	50	0,05	—	—
16	7,3	0,6	4	СЮ	60	0,13	5—6	6,5
				B3	5,0	0,09	—	—
17	9,6	4,0	28	СЮ	6,7	0,09	3—4	5,5
				B3	27	0,13	—	—
18	11,2	6,5	45	Z	15	0,10	—	—
				СЮ	6,7	0,13	—	—
				B3	13	0,13	3—4	4,5
				Z	12	0,09	—	—
				СЮ	40	0,12	—	—
				B3	13	0,13	2	—
				B3	12	0,13	—	—

вдоль континентального склона Берингова моря, менее мощная — вдоль западного склона хребта Кумрот на Укинскую губу и ненадежная — вдоль Среднего хребта (см. рис. 1, 2, а, б, в). Альтернативным вариантом является представление об единой зоне, плавно поворачивающейся на северо-запад, примерно вдоль форшоковой цепочки на рис. 1.

Направление вспарывания разрыва вдоль сейсмогенной зоны, форшоки и главный толчок у одного конца области очага и концентрация афтершоков

шоков у другого его конца — картина, типичная для сильнейших землетрясений Тихоокеанского пояса. Обычно очаг следующего такого землетрясения продолжает очаг предыдущего. Яркие примеры такого рода — цепочка землетрясений у берегов Чили в 1960 г. и два землетрясения с  $M \geq 8$  в 1958 г. и в 1963 г. у Южных Курильских островов. Если проводить аналогия допустима, то следующие землетрясение подобной силы в этом районе, вероятнее всего, захватят территорию или континентальный склон Камчатского полуострова и, возможно, более южный район Камчатского залива (см. рис. 1). Напомним в этой связи, что по долгосрочному сейсмическому прогнозу [4] район Камчатского залива и полуострова — наиболее вероятное место очередного землетрясения в Тихоокеанской фокальной зоне у берегов Камчатки.

Озерновское землетрясение 22(23) ноября 1969 г. с  $M = 7,7$  было самым крупным сейсмическим событием на Камчатке с 1959 г. и самым сильным землетрясением нашего века в западной части Берингова моря. Оно уточнило представление о характере сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островной дуг.

Главные выводы следующие. На действующей сейчас карте сейсмического районирования п-ов Озерной находится в 7-балльной зоне [14]. По-видимому, п-ов Озерной следует отнести к 8-балльной зоне, а границу между 7-балльной и 8-балльной зонами следует провести вдоль западного склона хребта Кумроч к северной оконечности п-ова Озерного (см. рис. 1, 2); 9-балльная зона должна включать северо-восточную часть п-ова Камчатского, а 7-балльная — южную часть о-ва Карагинский.

Аналогичным образом на картах районирования сейсмической опасности в число районов, в которых возможно цунами, следует включить побережье Камчатки в Беринговом море.

По долгосрочному сейсмическому прогнозу Камчатский залив и полуостров — наиболее вероятные места следующего землетрясения с  $M \geq 7^{3/4}$  у берегов Камчатки [4]. После Озерновского землетрясения вероятность возникновения здесь сильных землетрясений возросла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Оперативный сейсмологический бюллетень. Изд. Междувед. геофиз. ком-та. Ноябрь — декабрь 1969 г. М., 1969.
2. Атлас землетрясений в СССР. М., 1962.
3. Н. В. Кандорская, Н. С. Ландырева. Особенности сейсмичности Камчатской области по данным наблюдений сети стационарных сейсмических станций. — Изв. АН СССР, серия геофиз., 1962, № 10.
4. С. А. Федотов. О сейсмическом цикле, возможности долгосрочного районирования СССР. М., «Наука», 1968.
5. Earthquake Data Report, USCGS, No. 77—69. Rockville, 1969.
6. С. А. Федотов, Л. И. Голарев и др. Землетрясения Камчатки и Командорских островов. — В сб. «Землетрясения в СССР в 1968 г.». М., «Наука», 1972.
7. Т. Уиси. Magnitude of earthquakes and occurrence of their aftershocks. — Zisin, v. 10, N 4, ser. II, 1957.
8. Р. З. Тараканов, С. Л. Соловьев. Сейсмичность Курильских островов. — В сб. «Сейсмическое районирование СССР». М., «Наука», 1968.
9. С. Л. Соловьев. Проблема цунами и ее значение для Камчатки и Курильских островов. — В сб. «Проблема цунами» М., 1968.
10. К. Идза. Magnitude, energy and generation mechanisms of tsunamis. — Proc. Tsunami Meet. Assoc., 10-th Pacif. Scient. Congr. Paris, 1968.
11. А. В. Ведвенская. Об определении напряжений, действующих в очагах землетрясений, по наблюдениям сейсмических станций. — Изв. АН СССР, серия геофиз., 1960, № 4.
12. С. В. Медведев. Международная шкала сейсмической интенсивности. — В сб. «Сейсмическое районирование СССР». М., «Наука», 1968.
13. Н. В. Шебалин. Методы использования инженерно-сейсмических данных при сейсмическом районировании. — В сб. «Сейсмическое районирование в СССР». М., «Наука», 1968.
14. С. В. Медведев. Сейсмическое районирование территории СССР. — В сб. «Сейсмическое районирование СССР». М., «Наука», 1968.