

№	Чис. возмущения, Ч. м. С.	Координаты эпицентра		Глубина очага, км	Класс точности	M	K	№ района	Макросейсмические дни
		φ° N	λ° E						
31	12 49 22,5	54,83	164,44	40	a/б		9,6	20	
	21 23 28,5	54,90	164,30	40	a/б		9,8	20	
	21 37 43,5	55,86	164,35	40	a/б		9,6	20	
	21 53 02,0	55,47	163,84	40-20	a/б		9,5	20	
	21 56 45,0	55,53	163,84	40	a/б		10,2	20	
	21 56 55,0	55,48	163,87	40	a/б		11,1	20	
	22 04 07,5	55,42	163,88	20	a/б		9,9	20	
	22 43 40,0	55,47	163,91	10	a/б		10,7	20	
	22 58 57,0	55,54	163,86	30	a/б		9,5	20	
	23 02 36,0	55,42	163,90	10	a/б		9,5	20	

Уточнить определения эпицентра и глубины очага: а — невязка в пределах ±5 км от среднего положения гипоцентра; б — то же, ±10 км; в — ±15 км; г — ±16-25 км; д — ±25 км.

Петропавловское землетрясение 24(25).XI

24.XI в 19 ч. 35 м. 30 с. по Гринвичу произошло землетрясение под дном Авачинского залива (рис. 1), в 75 км к юго-востоку от г. Петропавловска-Камчатского, на глубине 100 км. Землетрясение ощущалось в Петропавловске-Камчатском с силой 7 баллов, на мысе Шипунском

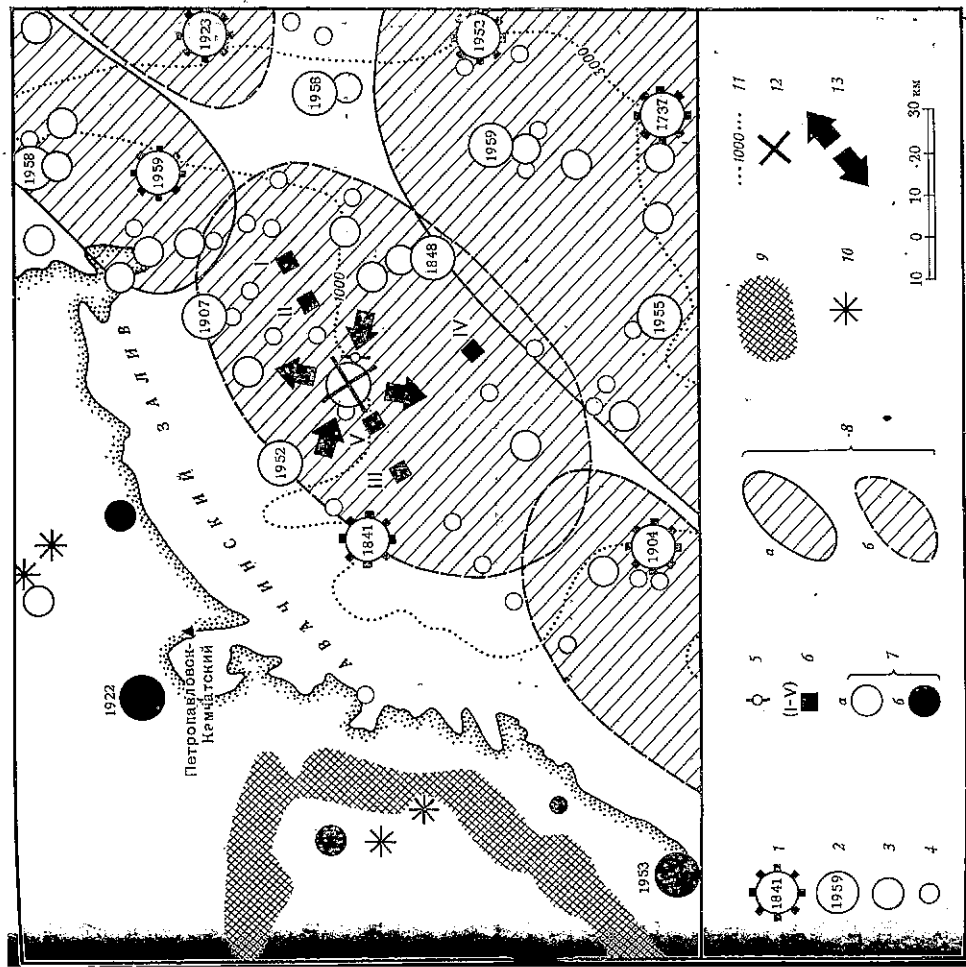


Рис. 1. Схема сейсмической обстановки в Авачинском заливе и очаг Петропавловского землетрясения

Эпицентры землетрясений: 1 — с $7\frac{1}{2} \leq M \leq 8\frac{1}{2}$ за 1737-1971 г., 2 — с $6\frac{1}{2} \leq M \leq 7\frac{1}{2}$ за 1904-1971 гг.; 3 — с $5\frac{1}{2} \leq M \leq 6\frac{1}{2}$ за 1904-1971 гг., 4 — с $M_{SI,2} = 12$ за 1961-1971 гг.; 5 — фортлок Петропавловского землетрясения; 6 — афтершоки Петропавловского землетрясения; 7 — глубины очагов: а — ≤ 70 км, б — > 70 км; 8 — очаговые зоны катастрофических землетрясений: а — надежные, б — гипотетические; 9 — горные хребты; 10 — вулканы; 11 — изобаты; 12 — направления двух вариантов плоскостей скольжения; 13 — направление осей сжатия и растяжения

Ориентация напряжений и параметры подвижки *

t	k			x			I			II		
	Az	e	Az	e	Az	e	Az	e	Az	e	Az	e
30	40	15	260	60	60	80	85	150	60	30	30	275

* 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.

При обоих вариантах поверхности разрыва (I и II) возможные подвижки близки к сдвиговым — правый сдвиг для I и левый сдвиг для II поверхности разрыва (см. рис. 2). На основании вытянутости сейсмических структур на Камчатке в северо-восточном направлении и распределения афтершоков Петропавловского землетрясения за истинный принят I вариант поверхности разрыва.

Сейсмическая обстановка в районе Петропавловского землетрясения и афтершоки этого землетрясения

Эпицентр землетрясения совпадает с узлом взаимно перпендикулярных разрывных нарушений [5], который образован наложением новейших структур северо-западного простирания на основные складчатые сооружения Камчатки, простирающиеся в северо-восточном направлении. Это так называемый авачинский участок поперечных прогибов, где на фоне общего опускания Авачинского залива происходят разнонаправленные движения отдельных блоков, сопровождаемые высокой сейсмической активностью на глубинах до 200 км.

Сейсмическую обстановку в районе землетрясения по имеющимся историческим и инструментальным данным [6—9] иллюстрирует рис. 1. С 1737 г. в Авачинском заливе и прилегающей к нему акватории Тихого океана отмечено четыре катастрофических землетрясения (1737, 1841, 1904, 1959 гг.), ощущавшиеся в Петропавловске-Камчатском силой от 7 до 10 баллов. На рис. 1 границы очаговых зон по историческим данным нанесены условно [5, 8]. По материалам десяти лет детальных сейсмологических наблюдений [9] активность в районе землетрясения, определяемая в основном землетрясениями глубиной до 70 км, находилась на среднем для фокальной зоны уровне ($A_{10} = 1,5 \pm 0,5$). Поиск закономерностей пространственно-временного распределения землетрясений в Авачинском заливе, проводившийся А. М. Кондратенко по методике А. А. Гусева, показал, что очаг Петропавловского землетрясения лежит на границе участков с резко различными показателями группировки землетрясений. Так, на глубинах меньше 70 км восточнее очага Петропавловского землетрясения 24.XI 1971 г. происходят землетрясения, не случайно связанные одно с другим во времени и пространные, а западнее — землетрясения представляют собой разрозненные случайные явления.

На глубинах больше 70 км в ближайшей окрестности очага также не обнаружено группирующихся землетрясений. Группируемость землетрясений с $K_{SI,2}^{Фос} = 8,5$ на глубинах меньше 70 км, возможно, следует интерпретировать как активизацию слабой сейсмичности («сейсмического фона» [10]) перед сильным событием.

24.XI 1971г. N 19° 33' м

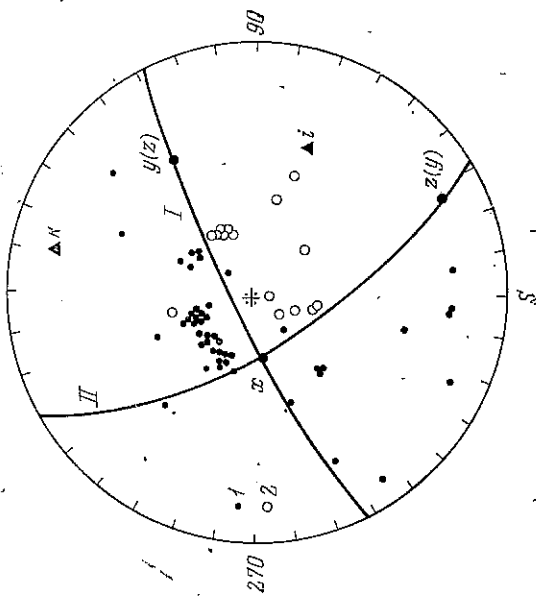


Рис. 2. Знаки первых смещений в волне P, проекция на нижнюю полусферу: 1 — станции, зарегистрировавшие волну сжатия; 2 — то же, волну разжатия

с силой 7—8 баллов. Магнитуда землетрясения по поверхностным волнам составляет $M_{LH} = 7,2$; энергетический класс $K_{SI,2}^{Фос} \sim 15$.

Координаты гипоцентра и другие данные по разным источникам приведены в табл. 1.

Таблица 1

Момент возникновения, Ч. М. С.	Координаты эпицентра		Глубина очага, км	К, М	Источник
	φ° N	λ° E			
19 35 34,5	52,7	159,6	100	$K_{SI,2}^{Фос} = 15$	ТСЭ ИФЗ АН СССР
19 35 30,0	52,8	159,1	125	$M = 7,2$	ОБСС ЕССН СССР [2]
19 35 29,1	52,9	159,2	106	$m_b = 6,3$	NOS США [3]

Эпицентр по данным сети близких станций считается наиболее точным, потому что отсчеты времени вступлений волн P были сделаны по записям высокочувствительной аппаратуры (хотя они не всегда были четки) и время S — P измерено по записям прибором сильных движений на сеймостанции Петропавловск. Определение глубины по сети камчатских станций согласуется с определением глубины по фазам pP и sP, использованным в решении [3].

Механизм очага определялся по знакам первых смещений волн P на 71 станции мира. Данные взяты из бюллетеней [2, 3] и записей камчатской сети станций. Построение проводилось по методике А. В. Введенской [4].

На рис. 2 показано проведение nodальных линий. В табл. 2 приведены данные об ориентации напряжений и параметрах подвижки.

Среднедневная плотность слабых землетрясений в ближайшей окрестности эпицентра Петропавловского землетрясения велика, и ни одно из землетрясений, имевших здесь место до 19 ч. 35 м. 24.XI 1971 г., нельзя считать форшоком. Тем не менее мы отметили на рис. 1 толчок с $K_{51,3}^{Фоб} = 9$, возникший на глубине 20 км за 24 мин. перед Петропавловским землетрясением.

В качестве афтершоков данного землетрясения мы рассматриваем события, которые происходили в ближайшие 5—6 сут. в радиусе 75 км от очага (табл. 3). Номера афтершоков в таблице 3 соответствуют номерам афтершоков Петропавловского землетрясения 24. XI

Таблица 3

№	Дата	Момент возникновения, ч. м. с.	Координаты эпицентра		Глубина очага, км	Класс точки *	К
			Ф° N	Л° E			
I	24. XI	23 54 58,5	52,83	460,00	90—100	a/a	40,0
II	25. XI	00 49 03,5	52,76	459,87	70—80	a/b	9,7
III	25. XI	02 54 02,5	52,53	459,26	30	a/b	8,0
IV	26. XI	00 37 32,5	52,38	459,70	80	a/b	8,6
V	27. XI	03 57 48,5	52,60	459,44	70—80	b/b	8,8

* Точность определения эпицентра и глубины очага; а — невязка в пределах ± 5 км от среднего положения гипоцентра; б — то же, ± 10 км; в — ± 15 км.

мерам на рис. 1. На рис. 1 видно, что цепочка последовательных по времени афтершоков I, II, III вытянута в направлении с юго-запада на северо-восток на расстояние в 70 км. Афтершок IV расположен в направлении северо-запад — юго-восток на расстоянии в 30 км. Афтершок V лежит в цепочке афтершоков I, II, III. Площадь 70×30 км, на которой наблюдались афтершоки, едва ли можно традиционным образом считать очаговой зоной сильного землетрясения. Следует все же отметить, что эта «зона», как обычно, расположена «встык» с областью очага землетрясения 4.V 1959 г. ($M = 7\frac{3}{4} - 8$), имевшего, однако, нормальную глубину очага и аналогичный механизм.

Сопоставление распределения афтершоков в пространстве с механизмом очага показывает хорошее совпадение линии эпицентров афтершоков с I вариантом простирания поверхности разрыва.

Макросейсмические данные

Мыс Шипунский (55 км). Грунты — щебень, скала. Землетрясение продолжалось около 2 мин., сопровождалось подземным гулом. Направление толчков С — Ю. Люди в испуге выходили из домов. Предметы сдвинулись с места, падали, все скрипело и шаталось. В каркасно-засыпанном доме, расположенном на ровной площадке у обрыва, отмечен перекос дверных и оконных проемов, большие трещины и обвалы кусков штукатурки, выпадение засыпки стен с выпучиванием и выпадением дощатой обшивки. Дымоходы некоторых печей завалились, во всех печах трещины, выпадение кирпичей. В грунте трещины шириной до 10 см вдоль бровки крутого склона (рис. 3), а также и в других местах. Камнепады небольшого масштаба. 7—8 баллов.

Кроноки (230 км). Грунты плохие. Землетрясение замечено всеми, люди в испуге выходили из домов. Скрипели полы и потолок; древесная посуда, стекла окон, предметы сдвинулись с места, падали на столе и полках. В деревянных домах повреждена штукатурка (образовались тонкие, большие трещины, обвалы кусков штукатурки). Упало

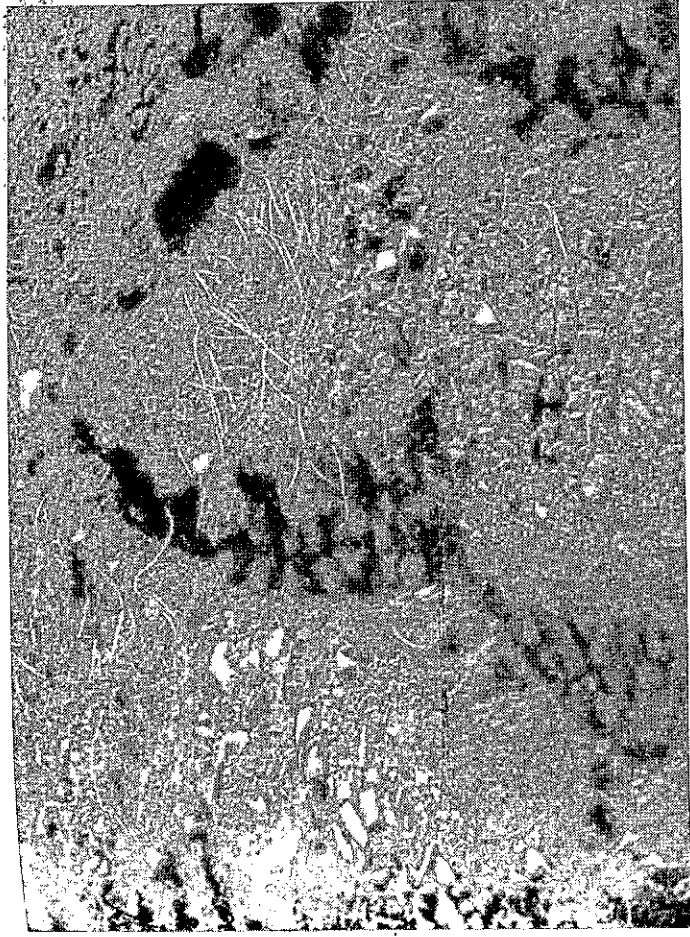


Рис. 3. Трещины в скальном грунте, в бровке обрыва, ширина ~ 10 см. Мыс Шипунский

большинство дымовых труб, сильно повреждены кирпичные печи, некоторые разрушены. Образовалась трещина на поверхности земли толщиной до 1 см и длиной 20 м в направлении ССЗ — ЮЮВ. 7—8 баллов. Маяк Петропавловский (65 км). Землетрясение продолжалось 1,5 мин. Станционный (65 км). Землетрясение продолжалось 1,5 мин. Сорвана аппаратура с креплений, разбита оптика, частично отлетела штукатурка в здании, трещины в стенах, есть сквозные. Сломана пружина маятника подвеса часов. Сильные повреждения одной из труб. Башня Маяка имеет сквозную трещину на высоте 2,5—3 м со смещением по трещине на 10—15 мм в направлении Авачинской бухты (восток). Трещина была на том же месте в 1959 г. Место трещины — стык коколя и ствола маяка. 7—8 баллов.

Жупаново (110 км). Землетрясение ощущалось как резкие толчки, трудно было держаться на ногах, общий испуг. На сейсмостанции дом скрипел, аппаратура сдвинулась с места, печь дала трещину. Засыпка дома сыпалась с потолка. В каркасно-засыпных домах трещины в печах. В грунте трещины длиной до 30 м, шириной до 5 мм. 7 баллов.

Петропавловск-Камчатский (75 км). Землетрясение ощущалось в виде тряски, стоявшие на улице отмечают еще и плавные колебания. Ощущалась волна Р как небольшой толчок, а вступление волны S — как резкий сильный толчок. Наибольшую силу землетрясение имело в течение примерно минуты после вступления S. Продолжительность землетрясения порядка 2—3 мин. Землетрясение сопровождалось гулом низкого тона. Качались дома, столбы, деревья. Во время землетрясения с крутых склонов Никольской сопки сыпались мелкие камни, вода в бухте покрылась крупной рябью. Людям, находившимся на улице, казалось, что земля под ногами ходит «волнами». Было трудно стоять на ногах, но никто не падал. Ехавшие в автобусах не ощущали землетрясения. Водители испытывали трудность при ведении машин и автобусов. В стоящем транспорте все ощущали толчки и тряску, трудно

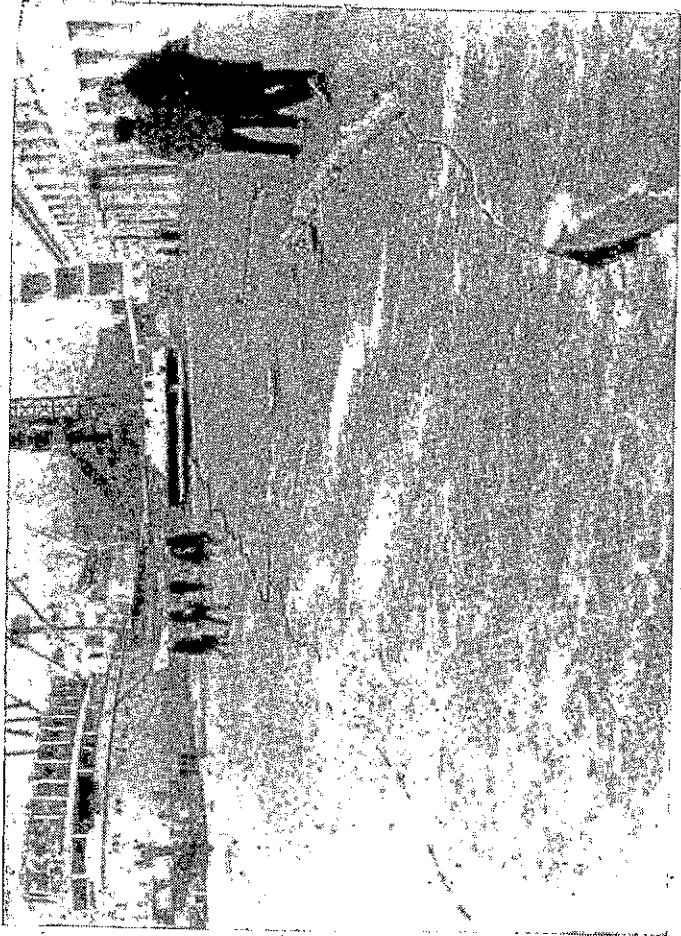


Рис. 4. Деформация грунта. Петропавловск-Камчатский

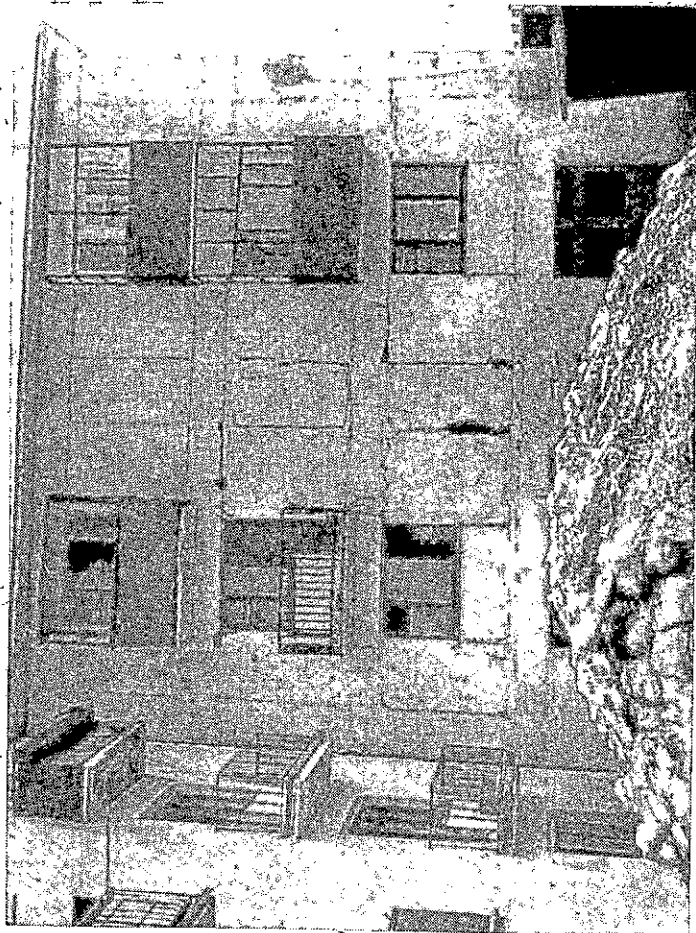


Рис. 5. Повреждение крупноблочного дома (степень повреждения — 2,5). Петропавловск-Камчатский

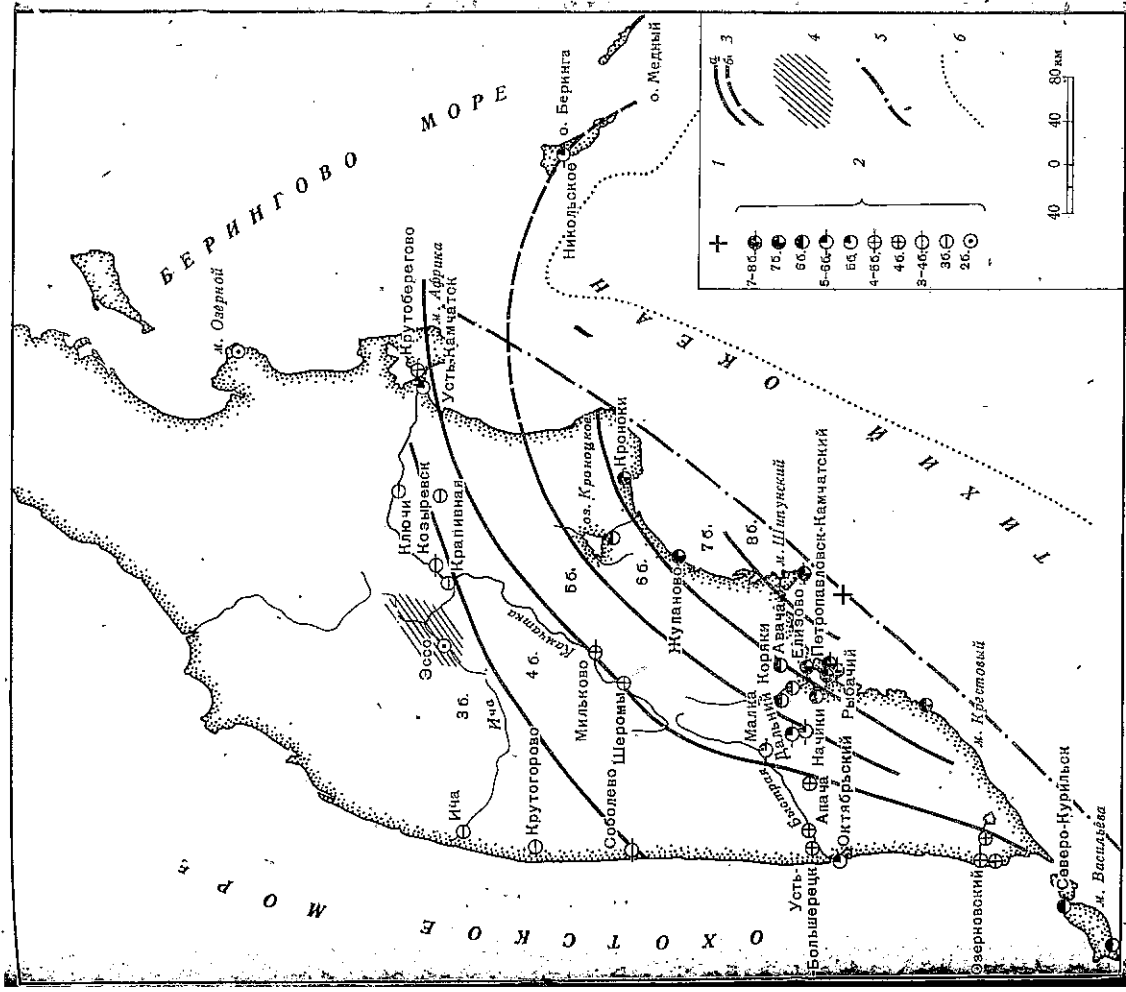


Рис. 6. Карта изосейст землетрясения 24.XI в 19 ч. 35 м.

1 — эпицентр землетрясения; 2 — балльность; 3 — изосейсты; а — уверенные, б — предполагаемые; 4 — вероятная область аномально высокого поглощения энергии сейсмических волн; 5 — выход оси фокальной зоны на поверхность — линия $A_1 = \max$; 6 — ось глубоководного желоба

было входить в автобус. Во многих случаях перед землетрясением ощущали беспокойство животные. В домах большинство мелких предметов падало, билась посуда, сдвигались телевизоры, радиоприемники, холодильники, в некоторых случаях тяжелая мебель. После землетрясения отмечены тонкие трещины в мерзлом грунте и асфальте длиной до 20 м. Лед толщиной порядка 30 см на Култушном и Халактырском озерах и других водоемах разбит трещинами, иногда со слабым торшением и с выплескиванием воды. Обвалов и оползней не отмечено. В намывных грунтах система трещин шириной до 10 см, в двух местах просадки грунта до 0,5 м, на площади в одном случае 10×20 , а в другом 20×100 м (рис. 4). 7 баллов. Рис. 5 иллюстрирует характер поврежденный крупноблочного здания в городе.

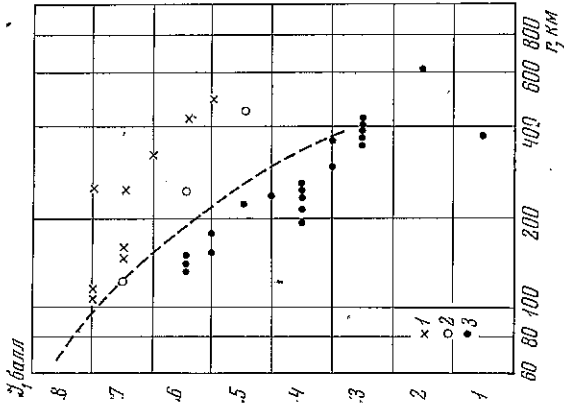


Рис. 7. График спадания балльности с гипотенузальным расстоянием для землетрясения 24.XI в 19 ч. 35 м., $H=100$, $M=7,2$. Расстояние пункта от оси фокальной зоны:

- 1 — 0—65 км;
- 2 — 65—95 км;
- 3 — более 95 км. Пунктиром показана стандартная кривая спадания балльности с расстоянием для камчатских землетрясений [11]

Силой 7 баллов землетрясение ощущалось также в пос. Рыбачий (75 км), Маяк Круглый (120); 6—7 баллов — в Северо-Курильске (325); 6 баллов — на мысе Васильева (410), сейсмостанции Авача (82), Елизове (95), Паратунке (95), Коряки (110), Кроноцком озере (220); 5—6 баллов — в Начики (125), Сокоц (125), Дальнем (125), Малке (150), Никольском (495); 5 баллов — в Усть-Камчатске (440), Октябрьском (220); 4—5 баллов — в Крутоберегове (443), Милькове (230); 4 балла — Щеромы (210), Апаче (165), Большерецком совхозе (195), Усть-Большерецке (220), Озерновском (245), Запорожье (245), Паужетке (235); 3—4 балла — Козыревске (365), Соболеве (290); с силой 3 балла — Ключи (405), Апахончич (370), Крапивная (340), Крутоберегово (350), Ича (390); на мысе Озерной (600) — 2 балла; в Эссо (360) — землетрясение не ощущалось.

Карта изосейст землетрясения показана на рис. 6. Характерной особенностью карты является вытянутость изосейст вдоль восточного побережья Камчатки, т. е. по простиранию фокальной зоны. Этот факт, по-видимому, можно объяснить слабым затуханием сейсмической энергии в фокальной зоне, а также направлением подвижки в очаге (сдвиг вдоль фокальной зоны). Следует отметить аномально высокое затухание сейсмических волн в районе пос. Эссо, где землетрясение не ощущалось вовсе, в то время как в пунктах, расположенных на том же эпицентральной расстоянии, интенсивность его достигала 3 баллов.

Полученные оценки интенсивности нанесены на рис. 7 в функции гипотенузального расстояния, что позволяет сопоставить их со стандартной камчатской кривой $I(\Delta)$ для глубины 20 км, полученной в [11] (при глубине 20 км и $\Delta \geq 70$ км гипо- и эпицентральные расстояния практически не различаются).

Полученные значения интенсивности в первом приближении соответствуют кривой. Отклонения от кривой в большой мере согласуются с удалением пункта от береговой линии.

По-видимому, разным группам точек соответствуют разные наклоны прямых $I(r)$, но для изучения этого эффекта нужен более подробный анализ.

Описанное явление мы объясняем сильной разницей в затухании сейсмических волн внутри и вне фокальной зоны, имеющей, грубо говоря, форму пласта толщиной порядка 70 км, наклоненного под континент. Эта зона имеет аномально низкое затухание.

Итак, Петропавловское землетрясение 24 (25) XI 1971 г. имело интенсивность в эпицентре около 8 баллов и ощущалось на расстояниях до 600 км. Макросейсмический эффект от этого землетрясения не прогнозируется на карте сейсмического районирования, за исключением района Эссо.

Механизм очага оказался аналогичным механизму катастрофических землетрясений 1952 и 1959 гг., несмотря на существенную разницу в глубинах этих очагов.

Согласно долгосрочному прогнозу, в районе очага Петропавловского землетрясения на 1971—1975 гг. предполагалось максимально возможное землетрясение с $M=7\frac{1}{4}$. При этом допускалась «возможность землетрясения с $M \sim 8$, так как по историческим данным последнее катастрофическое землетрясение было здесь в 1841 году» [12]. Однако прогноз делается для глубин менее 70 км, поэтому описываемое землетрясение к нему прямого отношения не имеет. В связи с этим прогноз [12] не требует корректировки.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Федотов, А. А. Гусев и др. Озерновское землетрясение и цунами 22 (23) ноября 1969 г.— В сб. «Землетрясения в СССР в 1969 году». М., «Наука», 1972.
2. Оперативный сейсмологический бюллетень. Изд. Междунед. геофиз. ком-та за ноябрь 1971.
3. Seismological Bulletin U. S. Coast and Geodetic Survey. Washington, 1971; XI, XII.
4. А. В. Введенская. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокации. М., «Наука», 1969.
5. А. В. Горячев. Основные закономерности тектонического развития Курило-Камчатской зоны. М., «Наука», 1966.
6. С. П. Крашенинников. Описание земли Камчатки. М., Изд-во АН СССР, 1949.
7. Атлас землетрясений в СССР. М., Изд-во АН СССР, 1962.
8. А. В. Горячев, Ф. А. Кириллов и др. Камчатка и Курильские острова.— В кн. «Сейсмическое районирование СССР». М., «Наука», 1968.
9. Землетрясения Камчатки и Командорских островов.— В сб. «Землетрясения в СССР в 1970 году». М., «Наука», 1973.
10. А. А. Лукк, В. С. Пономарев. Тенденции изменения сейсмического фона во времени.— Физика Земли, 1972, № 5.
11. С. А. Федотов, Л. С. Шумилина. Сейсмическая сопрягаемость Камчатки.— Физика Земли, 1971, № 9.
12. С. А. Федотов. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе.— В сб. «Сейсмическое районирование СССР». М., «Наука», 1968.