

Усть-Камчатское землетрясение 15.XII

15.XII 1971 г. в 08 ч. 29 м. 55 с. по Гринвичу (20 ч. 29 м. 55 с. местного времени) на Камчатке произошло сильное землетрясение. Его магнитуда по поверхностным волнам $M_{\text{ЛН}}=7,7$, энергетический класс $K_{\text{SI},2}^{\Phi 68}=14,7$.

Очаг землетрясения расположен под дном Тихого океана на глубине 20—30 км, южнее п-ова Камчатка (рис. 1). Землетрясение ощущалось с силой до 7 баллов в Усть-Камчатске и Никольском и вызвало слабое цунами в Усть-Камчатске. По долгосрочному сейсмическому прогнозу С. А. Федотова, этот район на Камчатке считался наиболее вероятным местом очередного землетрясения с $M \geq 7\frac{3}{4}$.

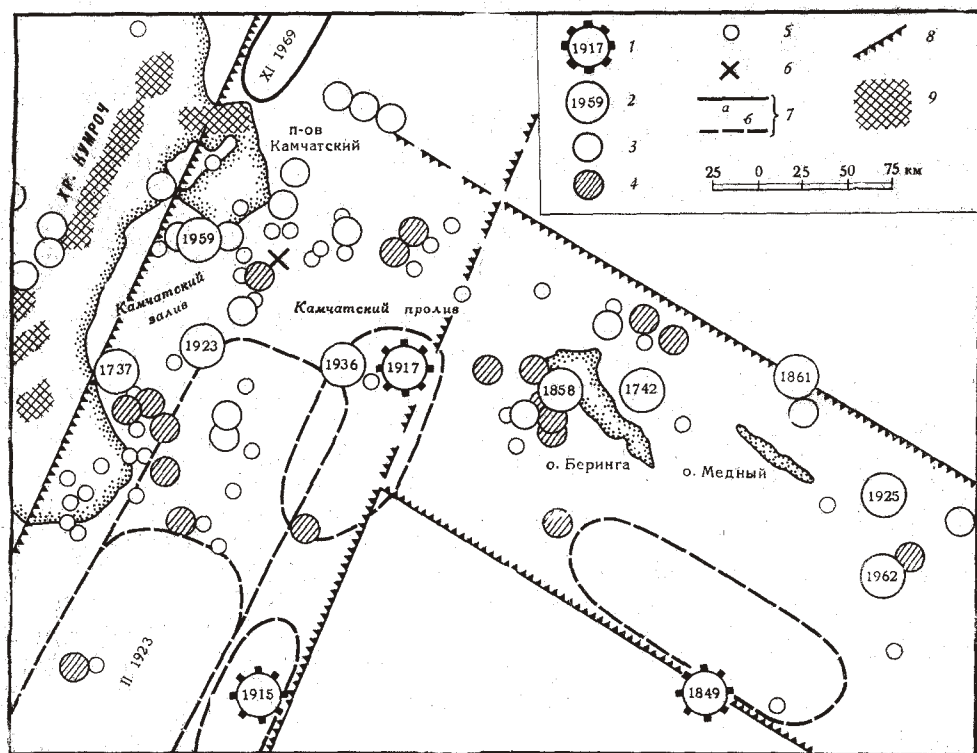


Рис. 1. Сеймотектоническая обстановка в районе Усть-Камчатского землетрясения

Эпицентры землетрясений: 1 — с $M \geq 7\frac{3}{4}$; 2 — $6\frac{1}{2} < M \leq 7\frac{1}{2}$; 3 — с $5\frac{1}{2} < M \leq 6\frac{1}{2}$ за 1904—1960 гг.; 4 — с $5\frac{1}{2} < M \leq 6\frac{1}{2}$ за 1961—1971 гг.; 5 — с $K_{\text{SI},2}^{\Phi 68}=12$ за 1964—1971 гг.; 6 — эпицентр землетрясения 15.XII 1971 г. по инструментальным данным; 7 — границы очаговых зон землетрясений с $M \leq 7\frac{3}{4}$: а — надежные, б — ненадежные; 8 — границы сейсмотектонических зон; 9 — горные хребты

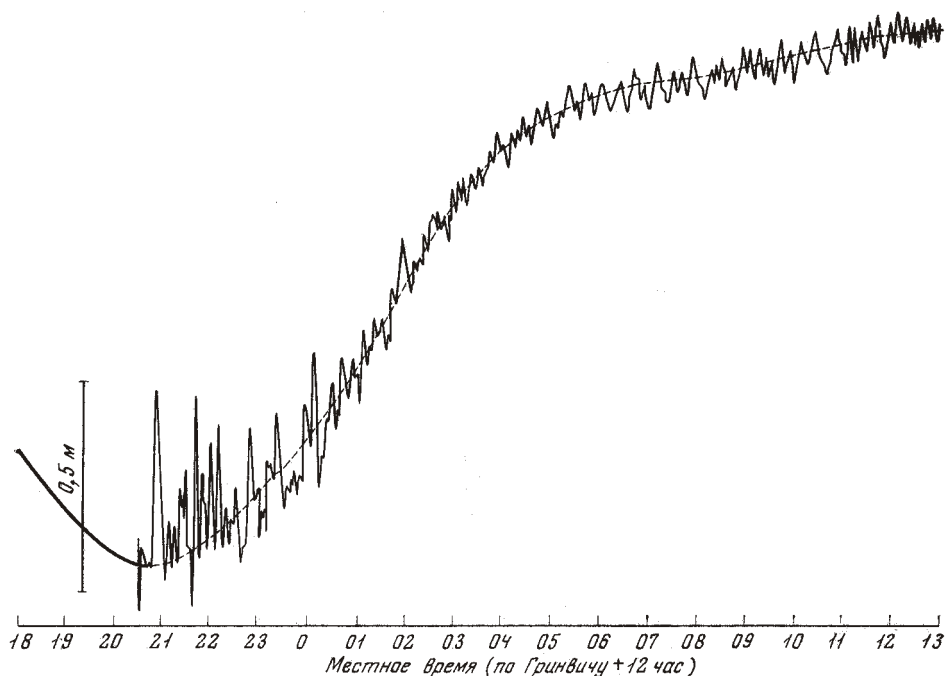


Рис. 2. Мареограмма с записью волны цунами от землетрясения 15.XII в Усть-Камчатске (Дембиевская коса)

Усть-Камчатское землетрясение — третье в серии сильных землетрясений, начавшихся в 1969 г. на Камчатке после длительного затишья 1959—1969 гг. Предыдущие два — Озерновское 22.XI 1969 г., $M=7,7$ [1], и Петропавловское землетрясение 24.XI 1971 г., $M=7,2$, $H=100$ км, описанное в предыдущей статье.

Координаты гипоцентра и энергетические оценки землетрясения различных сейсмологических служб приведены в таблице.

Момент возникновения, ч. м. с.	Координаты эпицентра		Глубина очага, км	K, M	Источник
	$\varphi^\circ N$	$\lambda^\circ E$			
08 29 55,0	55,85	163,35	20—30	$K_{S1,2}^{Ф88} = 14,7$	ТСЭИФЗ АН СССР
08 29 57,0	56,1	163,0	50	$M = 7,7$	ОБСС [2]
				$m_{PV} = 7,3$	ЕССН СССР
08 29 55,3	56,0	163,3	33	$m_b = 6,1$	NOS США [3]
				$M_S = 7,8$	

Координаты по данным близких станций мы считаем наиболее надежными, потому что отсчеты времен прихода волн P были сделаны на всех станциях Камчатской сети, окружающих эпицентр и расположенных от него на расстояниях от 70 до 450 км. Время $S-P$ было определено по записи землетрясения сейсмостанцией Петропавловск.

Время пробега цунами до Усть-Камчатска составляет 14 мин. (фронт) и 20 мин. (пик) (рис. 2, см. рис. 8).

Сейсмотектоническая обстановка

Очаг землетрясения находится в области стыка, примерно под прямым углом, Курило-Камчатской и Алеутской сейсмотектонических зон (см. рис. 1). В этом районе (залив Камчатский — пролив Камчатский) существуют тектонические структуры как северо-восточного (камчатского), так и северо-западного (алеутского) простирания. Основным структурный элемент района — Камчатский полуостров — рассматривается как субмеридиональная антиклиналь, которая прослеживается в подводном рельефе континентального склона Камчатки до глубины 4000 м. Она осложнена расколами северо-западной ориентации, являющимися продолжением алеутских разломов, отраженных в подводном рельефе Камчатского пролива [4].

На схеме (рис. 1) обозначены границы Курило-Камчатской и Алеутской сейсмотектонических зон. Границы, обращенные к океану, 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 раза по сравнению с осевой частью зоны.

Алеутская зона оконтурена с севера по подножию континентального склона.

Судя по имеющимся историческим и инструментальным данным, в XIX и XX вв. вплоть до 1965 г. в северной части Камчатского залива и в Камчатском проливе (см. рис. 1) не было землетрясений с $M \geq 7\frac{3}{4}$. Поэтому при составлении долгосрочного сейсмического прогноза для Курильских островов и Камчатки этот район был отнесен к наиболее вероятным местам следующих землетрясений с $M \geq 7\frac{3}{4}$ ([5], [6]). Цепочка землетрясений, следовавших за сильнейшим землетрясением на Алеутских островах 4.II 1965 г., распространилась на запад вплоть до о-ва Беринга и остановилась перед Камчатским проливом. С этого времени сейсмический режим Камчатского залива и Камчатского пролива стал нестабильным, появились рои землетрясений. Это увеличивало уверенность в долгосрочном прогнозе. В 1968 г. специально для регистрации землетрясений этого района была поставлена сейсмическая станция в пос. Крутоберегово близ Усть-Камчатска, затем вокруг этого района в поселках Крутоберегово, Африка, Никольское были начаты наблюдения за земными токами с целью поиска предвестников сильных землетрясений.

В начале 1971 г. при сопоставлении долгосрочного прогноза на 1963—1970 гг. с имевшими место землетрясениями и уточнении прогноза на следующие годы рассматриваемый район был признан наиболее вероятным местом следующего землетрясения с $M \geq 7\frac{3}{4}$, у берегов Камчатки. Прогноз оправдался.

Механизм и размеры очага

Диаграмма определения механизма главного толчка приведена на рис. 3. Несмотря на большое количество станций, участвовавших в построении (103 станции), однозначного решения получить не удалось. Довольно уверенно проводится нодальная линия I. При этом для нодальной линии II можно предложить большое число вариантов, три из которых показаны на рис. 3. На основании имеющихся данных можно сделать следующие выводы о механизме главного толчка: 1) нодальная поверхность I почти вертикальна, ориентирована на север, северо-восток; 2) возможные варианты нодальной поверхности II показывают, что она

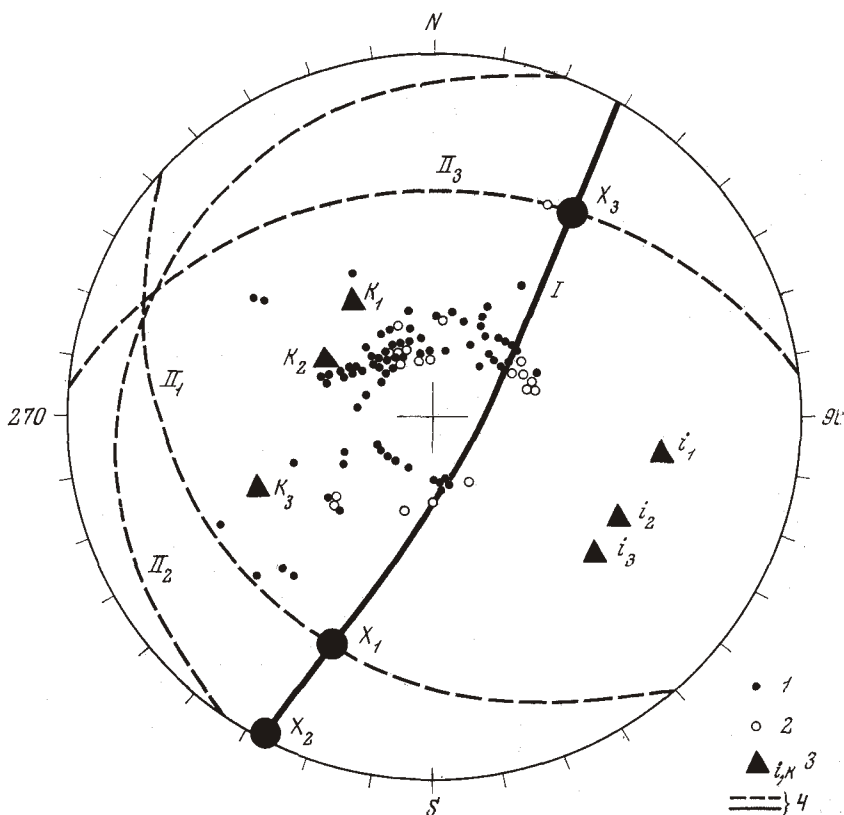


Рис. 3. Диаграмма для построения механизма очага Усть-Камчатского землетрясения (нижняя полуплоскость) 15.XII в 08 ч. 29 м.

1 — волна сжатия; 2 — волна разрежения; 3 — оси напряжения сжатия и растяжения; 4 — нодальные линии

должна быть достаточно пологой, с наклоном к горизонту от 0 до 20°; ось напряжения растяжения имеет больший наклон к горизонту, чем ось напряжения сжатия, последняя почти перпендикулярна к простиранию Курило-Камчатской дуги. Заметим, что примерно такой механизм очага предлагается Л. М. Балакиной [7] для цунамигенных землетрясений Тихого океана.

Дополнительные данные о размерах и ориентации очага можно получить из анализа сопровождавшей землетрясение мощной и продолжительной серии афтершоков. Они протянулись вдоль двух взаимно перпендикулярных направлений в приблизительном соответствии с ориентировкой Алеутской и Курило-Камчатской зон (рис. 4а, б, в). Максимальные размеры зоны афтершоков порядка 120×120 км, инструментальный эпицентр незначительно смещен от центра области. Начальная группа афтершоков соответствует восточной части овала рис. 4а (с «алеутской» ориентацией З, СЗ-В, ЮВ) длиной около 80 км. Инструментальный эпицентр внутри этой начальной группы афтершоков занимает более эксцентричное положение, чем внутри овала рис. 4а. По-видимому, эта зона лучше соответствует представлениям об очаге.

Ее ориентация, однако, почти ортогональна направлению плоскости подвижки I (близвертикальной с подвижкой по падению). Неясно, однако, достаточно ли такого соотношения, чтобы забраковать этот вари-

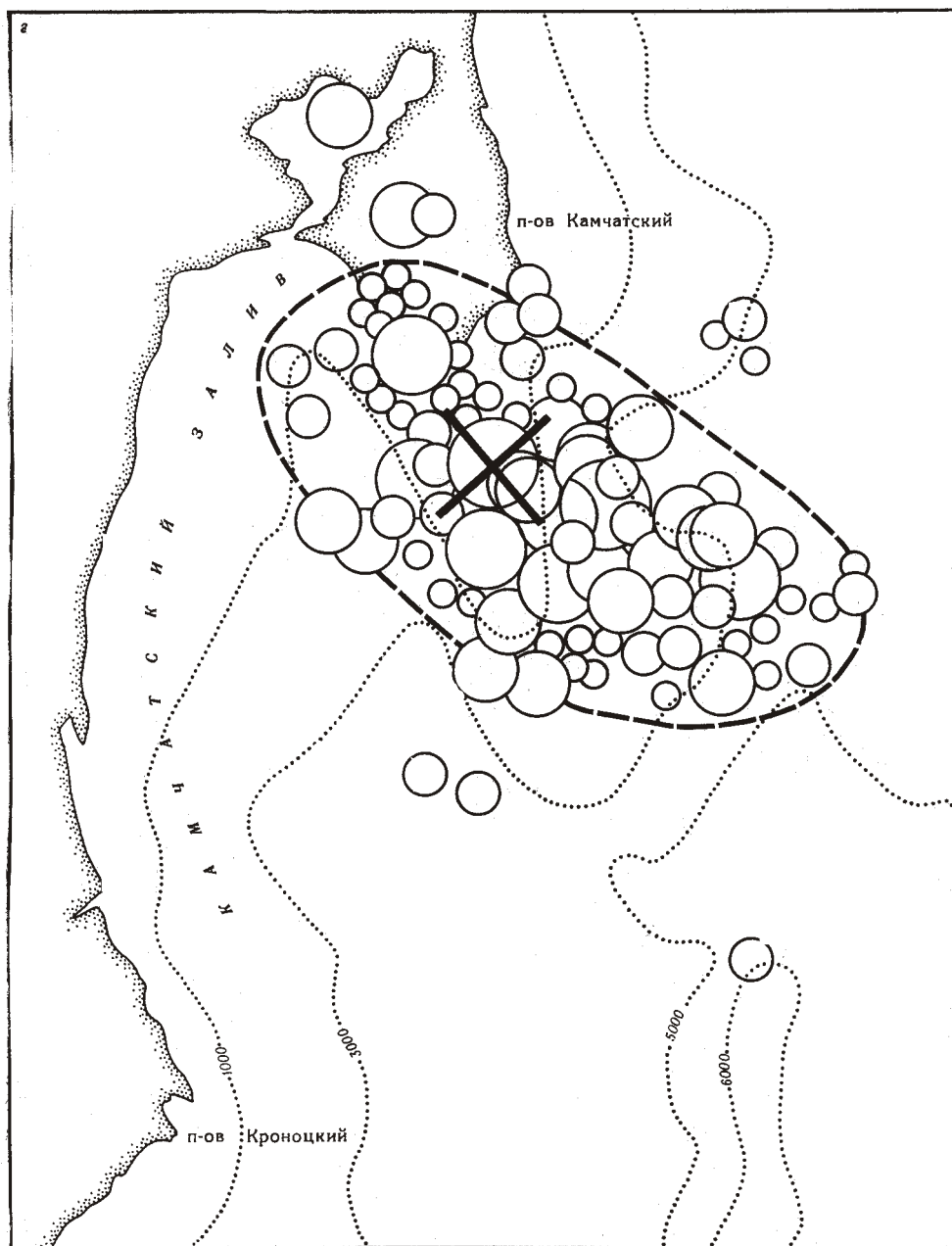


Рис. 4. Основной толчок и афтершоки Усть-Камчатского землетрясения

а — основной толчок и афтершоки с 08 ч. 29 м. 15.XII до 08 ч. 17.XII 1971 г.; *б* — афтершоки с 08 ч. 17.XII до 08 ч. 19.XII 1971 г.; *в* — афтершоки с 08 ч. 19.XII до 24 ч. 31.XII 1971 г.; 1 — положение главного толчка; 2 — энергия афтершоков; 3 — границы области, содержащей основную часть афтершоков на карте *а*; 4 — то же, на карте *б*; 5 — изобаты

ант 1. Среди многих возможных направлений простираения плоскости подвижки II можно подобрать и параллельные зоне очага по афтершокам первого дня (например, II₁ и II₃). Подвижки при этом почти горизонтальны.

В целом данные об очаге не позволяют сделать однозначных выво-

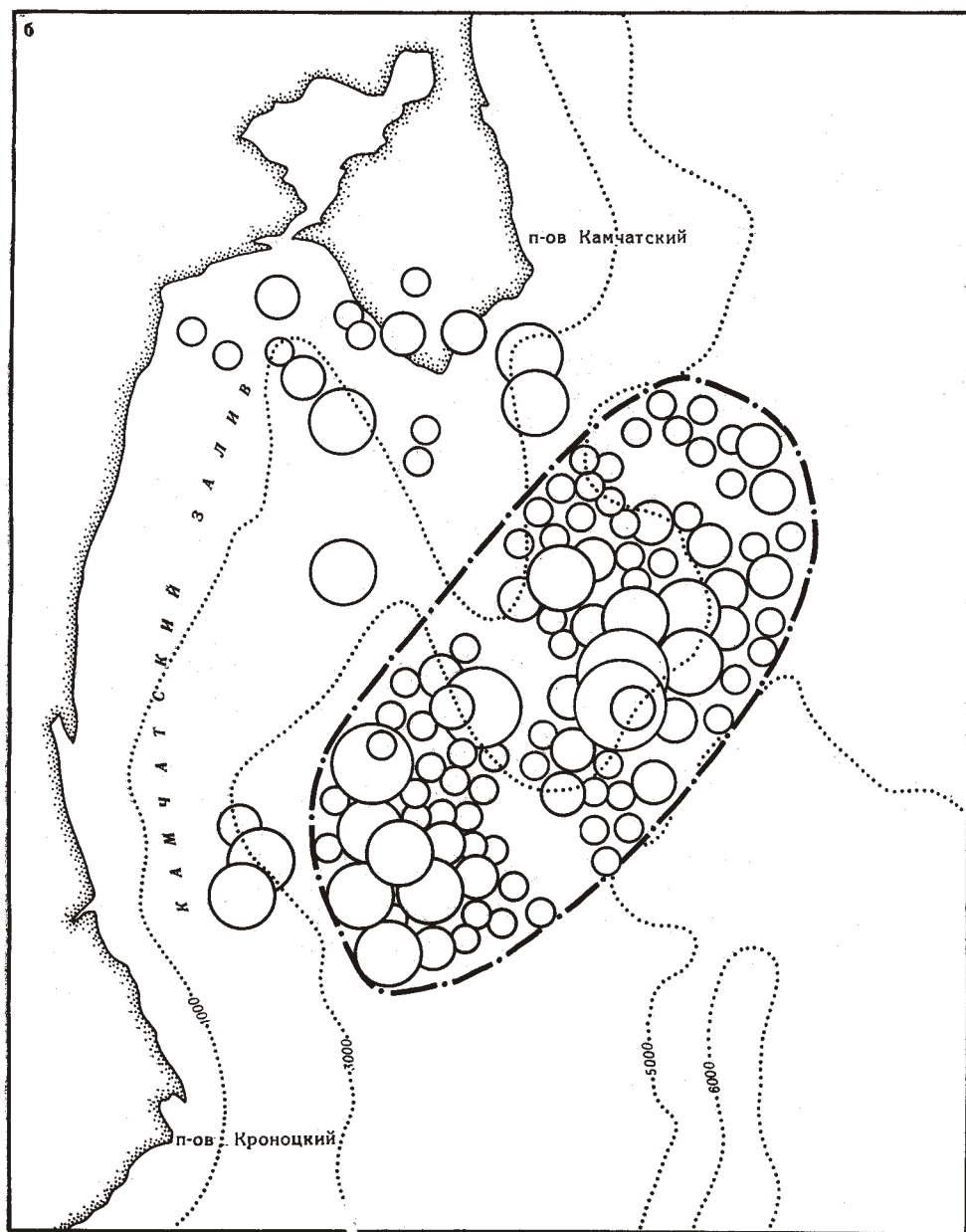


Рис. 4 (продолжение)

дов. Сложность картины связана, вероятно, с положением очага на стыке сейсмических зон и косвенно подтверждается «крестообразной» формой зоны афтершоков. Механизмы афтершоков, по предварительным данным, также имеют разнотипную, «алеутскую» или «камчатскую», ориентацию.

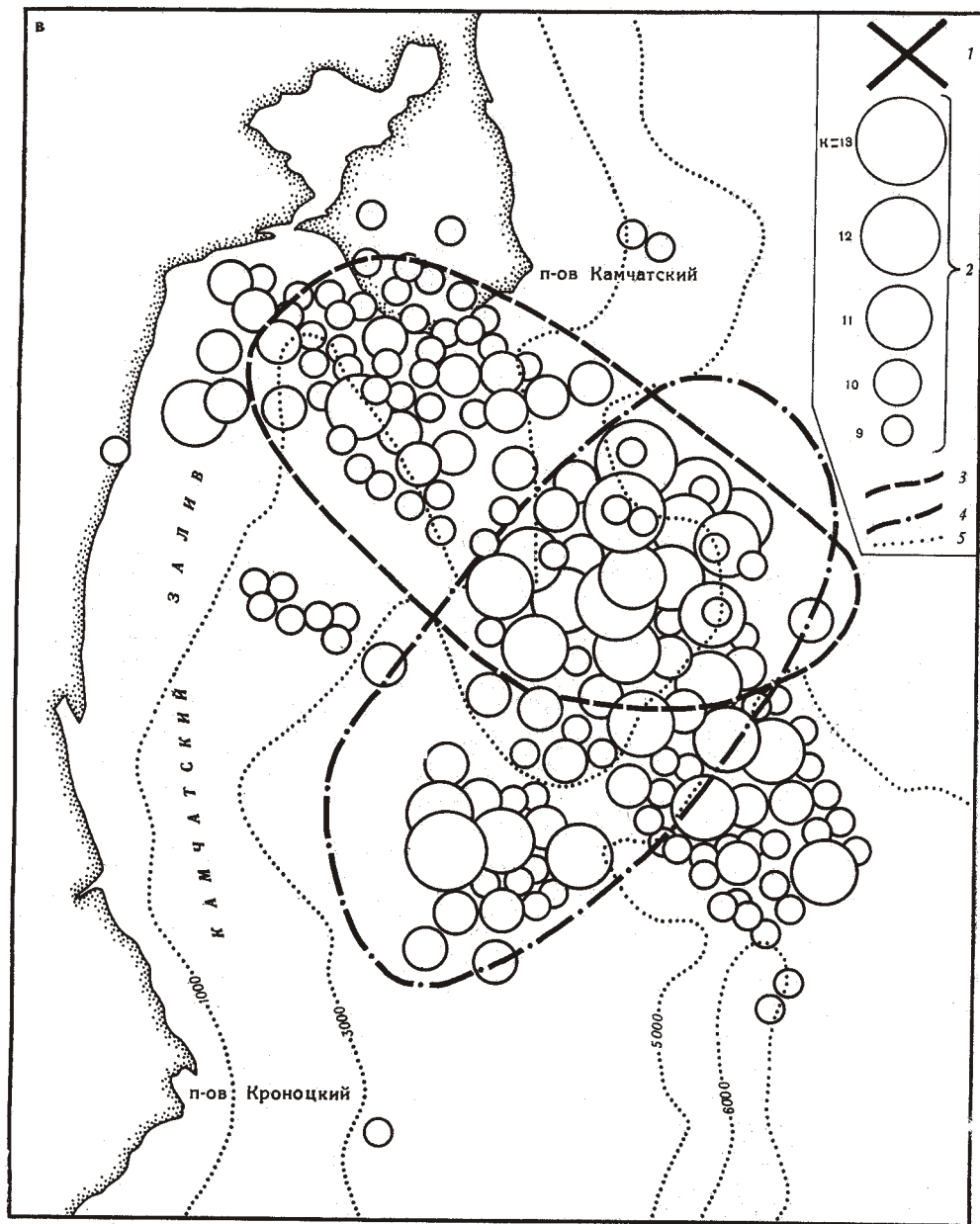


Рис. 4 (окончание)

Макросейсмические данные

Крутоберегово (58 км). Ощущалось движение земли перед землетрясением. Гула не было. Продолжительность около 40 сек. Трещины в штукатурке в домах из деревянного бруса и засыпных. Здания из монолитного железобетона без повреждений.

В ручьях и озерах резко упал уровень воды; по непроверенным сообщениям, до 1 м. Смерзшийся снег в лесу просел и разбился на куски, образовав ступени до 20 см. 7 баллов.

Дембиевская коса. В старых рубленых деревянных одно- и двухэтажных домах трещины в обычной и осыпание в плохой штукатур-



Рис. 5. Выкрашивание железобетонной колонны. Усть-Камчатск

ке. В одном случае наблюдалось частичное разрушение печей. В отдельных домах падение труб. Большой разброс степени повреждений. В мелкоблочных зданиях кое-где трещины в стенах и перекрытиях, трещины в штукатурке, раскрытие антисейсмических швов. В двухэтажном бетонблочном здании жестяно-баночной фабрики повреждение трубопроводов, падение светильников, тонкие трещины в стенах, раскрытие швов. В одном из четырех отсеков здания на втором этаже выкрашивание нижней части несущих железобетонных колонн (рис. 5). Лед на Нерпичьем озере трескался, двигался. На конце косы — трещины в грунте. Визуально цунами не наблюдалось, записано мареографом (см. рис. 2). 7 баллов.

Усть-Камчатск, деревня (70 км). Грунт — супесь, глубина грунтовых вод 1—2 м. Застройка — рубленые дома. Тонкие трещины в печах и штукатурке во многих домах, в одном случае частичное разрушение печи. В школе упали шкафы. Лед на р. Камчатке треснул и на участке длиной около 1 км от устья вынесен в залив. В 3 км выше дебаркадера в береговом откосе сетка трещин в грунте шириной до 2 см, трещины в грунте переходят в трещины льда. 6—7 баллов.

Варгановка, Новый поселок, пос. Лесозавода. Грунт — илестые пески, глубина грунтовых вод менее 1 м. Основная застройка — 2-этажные дома из бруса со штукатуркой. Печные трубы обвязаны стальным уголком. Повсеместно небольшие трещины в штукатурке и в смыкании дымоходов и печей со стенами или потолками. Стальные и монолитные железобетонные здания не повреждены. В бетонблочных зданиях с усилением во многих случаях наблюдались в стенах сквозные волосные трещины, трещины до 1 мм в штукатурке, осыпание штукатурки вокруг дверных проемов во внутренних стенах. Трещины в несущих стенах, нередко вдоль железобетонных

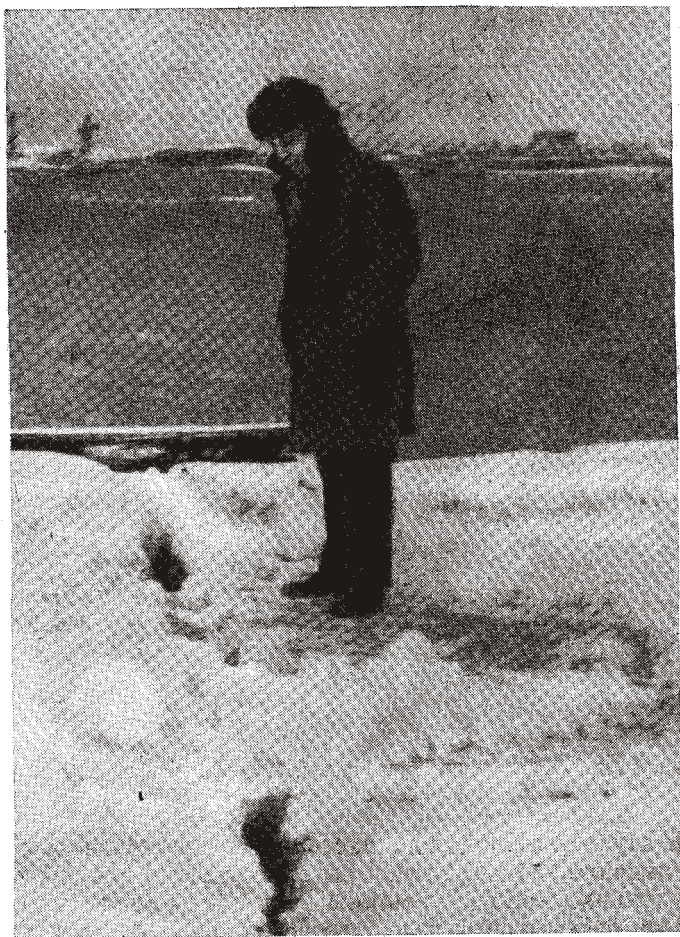


Рис. 6. Трещины в грунте у причала. Усть-Камчатск

поясов усиления. Раскрытие антисейсмических швов. В двух случаях падение труб. В одном случае во время землетрясения замечено, что труба раскачивалась в направлении С-Ю. В одном случае разворот трубы на 15° по часовой стрелке. Один из штабелей большого лесного склада развалился (в 50 м от берега), многие перекошены. У причальной стенки лесного склада и на пирсе склада снабжения трещины в грунте шириной до 10 см и длиной не менее 30 м (рис. 6). Отмечены подземные повреждения водопровода, силовых кабелей, трещины в фундаментах дизель-агрегатов. В отдельных зданиях повреждения электропроводки, разрывы и деформации труб водопровода и отопления. Повреждения вводов в отопительные котлы и их обмуровки. Обрывы воздушных линий электропередачи и радиосети, падение люминесцентных светильников, выпадение блоков на АТС. 7 баллов.

Берег р. Камчатки. Вверх по течению от Усть-Камчатска вдоль обоих берегов — торошение льда. В 20 км от Усть-Камчатска, в устье правой протоки Пекалки, между Пекалкой и Камчаткой, на протяжении более 200 м грунт разбит густой сетью трещин шириной до 1,3 м. Глубина трещин не ясна (грунтовые воды на глубине 0,4 м). Грунт болотистый и песчаный, водонасыщенный, замерзший. Края трещин прямые, стенки плоские. Вероятная причина столь больших трещин в том, что мерзлый грунт на полужидком основании двигался под боковым давлением речного льда. Описываемый участок ограничен небольшими торо-

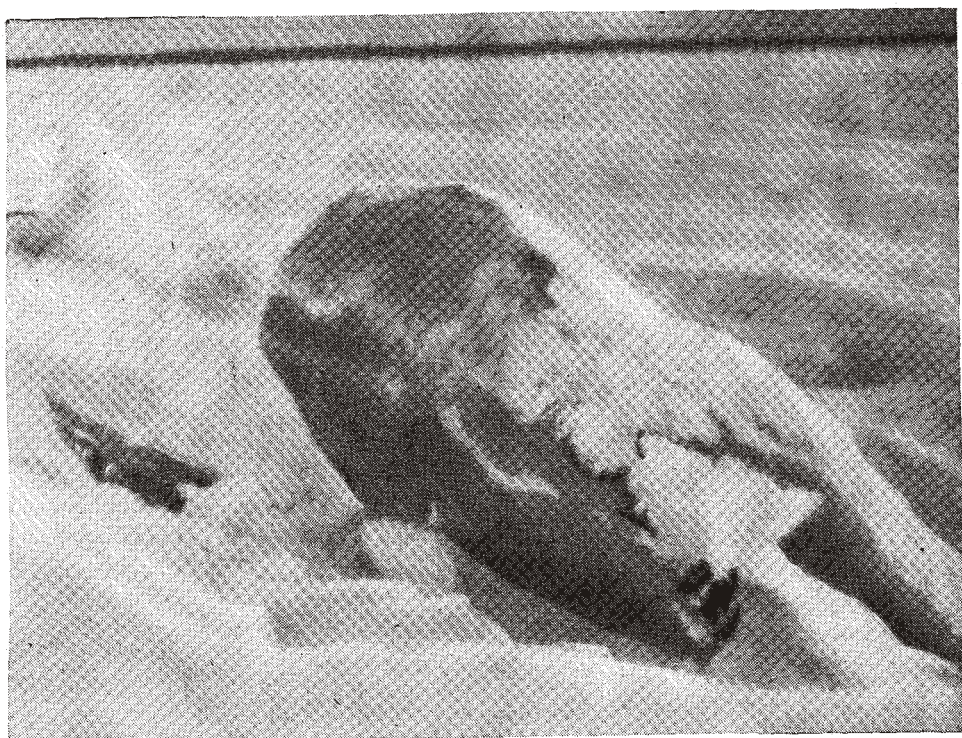


Рис. 7. Торосы на протоке Пекалки. Высота около 60 см

сами не только со стороны р. Камчатки, но и со стороны узкой (20—30 м) р. Пекалки (рис. 7). 8 баллов.

По сообщениям жителей, трещины в грунте на правом берегу Камчатки наблюдались также в районе дер. Николаевки (до 5 см).

Никольское (182 км). Землетрясение продолжалось около минуты. Замечено всеми. Люди в испуге выходили из домов, выбегали в панике. Все качалось, скрипело, сдвигалось с места. В зданиях деревянных и шлакоблочных наблюдались тонкие и большие трещины в штукатурке и обвалы кусков штукатурки. В отдельных шлакоблочных домах тонкие сквозные трещины в стенах. Падение части дымовых труб, трещины в печах. Повреждение подземной части водопровода. Здания раскачивались в направлении С-Ю. Снаружи был слышен сильный треск от раскачивающихся домов. Земля «ходила волнами». 6—7 баллов.

Мыс Африка (38 км). Грунты хорошие. Трещины в штукатурке одноэтажного шлакоблочного дома. 6 баллов.

Ключи (162 км). Землетрясение ощущалось всеми на улице и в помещениях. Испуг. Многие выбегали на улицу. В одноэтажных деревянных домах звенела посуда, качались лампочки, плескалась вода в ведрах. В некоторых двухэтажных деревянных домах на вторых этажах появились трещины в штукатурке, сдвигались с места холодильники, кровати. В трехэтажных кирпичных домах и шлакоблочных домах — трещины в штукатурке, сдвигались с места предметы, падала посуда. На р. Камчатке был слышен треск льда. 6 баллов.

Козыревск (215 км). Дома, деревья сильно раскачивались, качка ощущалась, «как на корабле». Многие люди выбегали из домов. У некоторых появились тошнота, головокружение. Сильно раскачивались лампочки, сдвигалась мебель, из ведер выплескивалась вода. Наблюдалось беспокойство животных. В домах появились трещины в штукатурке. На р. Камчатке (против поселка) и на озере взломался лед. Толщина льда

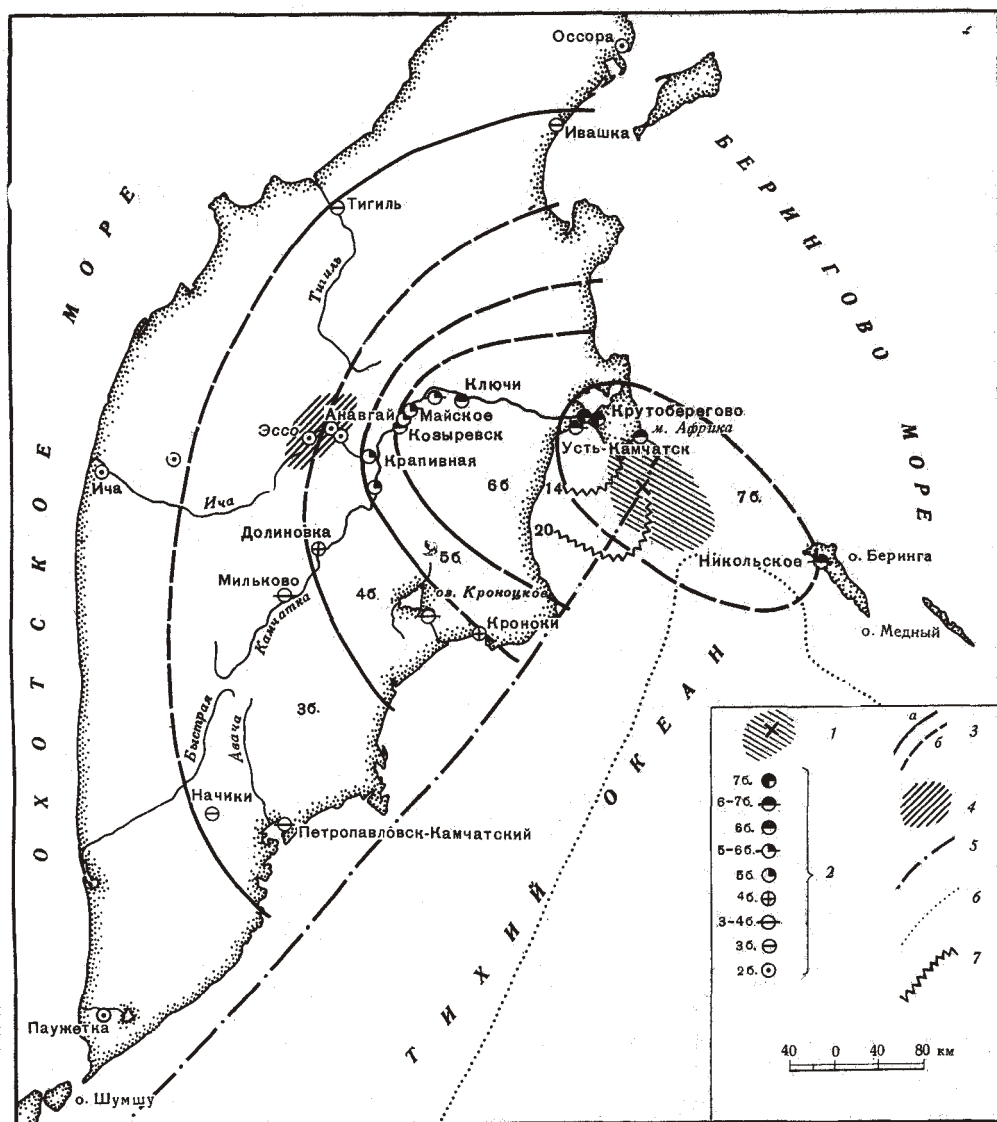


Рис. 8. Карта изосейст землетрясения 15.XII

1 — эпицентральная область и эпицентр по инструментальным данным; 2 — балльность; 3 — изосейсты: а — уверенные, б — предполагаемые; 4 — область повышенного поглощения энергии сейсмических волн; 5 — выход оси фокальной зоны на поверхность — линия $A_{10}=\max$; 6 — ось глубоководного желоба; 7 — изохроны цунами

на реке была до 35 см. Некоторые жители поселка наблюдали шевеление снега, издававшего слабый звук в виде шипения. 6 баллов.

Силой 5—6 баллов землетрясение ощущалось в пос. Красный Яр (192), Майский (202); с силой 5 баллов — в Рыбзаводе (212), Крапивная (235), Атласово (230); 4 балла — в пос. Долиновка (280), Кроноки (198); 3—4 балла — в Мильково (325), на Кроноцком озере (228), Петропавловске-Камчатском (435), Начики (475), Тигиль (350), Ивашка (305). Землетрясение не ощущалось в пос. Эссо (650), Оссора (375). Отмечались электрические явления.

На рис. 8 проведены изосейсты этого землетрясения. На этой карте, так же как и для Петропавловского землетрясения, наблюдается ано-

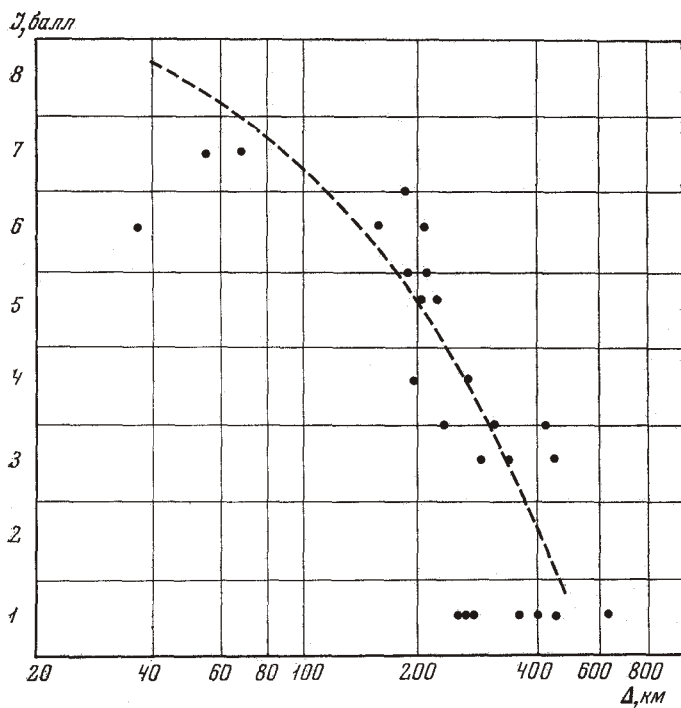


Рис. 9. График спада балльности с расстоянием для землетрясения 15.XII

Пунктиром показана стандартная кривая спада балльности с расстоянием для камчатских землетрясений

мально высокое затухание сейсмических волн в районе Эссо (Эссо, Анавгай, 47 км). Причиной может быть крупная зона разлома, имеющаяся здесь и выходящая на поверхность в районе Анавгая. В этом же районе все время происходит много мелкофокусных ($H=0\div 20$ км) землетрясений, что также свидетельствует о том, что близко к поверхности подходит активный разлом. Зона разлома, по-видимому, обладает высокими поглощающими свойствами.

Для Усть-Камчатского землетрясения, в отличие от Петропавловского, график спада балльности с расстоянием (рис. 9) выглядит более однородным. Все точки можно осреднить стандартной кривой (для $M=7,7$). Это, по-видимому, связано с тем, что условия прохождения лучей от поверхностного Усть-Камчатского землетрясения довольно однородны. Следует отметить, что величина макросейсмического эффекта в ближней зоне несколько ниже ожидаемой для землетрясения с такой магнитудой.

Форшок-афтершоковые события в районе Усть-Камчатского землетрясения

По имеющимся историческим данным, район Усть-Камчатского землетрясения считался наименее активным в Курило-Камчатской сейсмической зоне в последние 100—150 лет [6].

Детальные сейсмологические исследования [8] обнаружили заметную активизацию района начиная с 1966 г. В 1967 г. уровень активности увеличился в 5 раз по сравнению с первыми пятью годами детальных наблюдений. В 1969 г. непосредственно в будущей очаговой зоне наблюдался максимум активности $A_{10}=6$, значительно превышающий уровень средних для фокальной зоны значений.

В предшествующие четыре года в северо-западной части очага готовящегося сильного землетрясения отмечено строго ритмичное (раз в два года: январь 1967 г., январь 1969 г., январь 1971 г.) появление групп землетрясений типа роев. Обычных форшоков с $K_{\Sigma 1,2}^{\Phi 68} \geq 8$ (уровень надежной регистрации) не наблюдалось.

Главный толчок 15.XII 1971 г. сопровождался мощной серией афтершоков. На сейсмограммах двухчасовая полоса после первого толчка не читаема. В последующие дни также бывали периоды часто следующих одно за другим землетрясений, что исключало возможность их обработки. Удалось определить координаты и энергию 420 землетрясений ($K \geq 10$), распределение которых по энергии приведено ниже:

K	8	9	10	11	12	13
Число землетрясений	30	189	112	70	15	4

Наклон графика повторяемости для неполной (по техническим причинам) серии афтершоков $\gamma = -0,68$ при среднем для Камчатки $\gamma = -0,48$. Магнитудная ступень между основным толчком и сильнейшим афтершоком составляет 1,5.

В пространстве афтершоки образовали сложную фигуру (см. рис. 4), подобную, в грубом приближении, двум несимметрично пересекающимся эллипсам, длинные оси которых взаимно перпендикулярны и направлены вдоль Алеутского и Курило-Камчатского желобов соответственно. Диапазон глубин афтершоков — от 0 до 30 км.

Развитие афтершокового роя в пространстве иллюстрируется серией рисунков (4а, б, в). В первые двое суток после главного толчка (рис. 4а) афтершоки образовали довольно четкий эллипс размером около 120×60 км «алеутского» простириания. В следующие двое суток (рис. 4б) эпицентры афтершоков образовали компактную зону примерно тех же размеров, с простирианием СВ-ЮЗ, с сохранением слабой активности в предыдущей зоне. Последующее развитие процесса до конца декабря (рис. 4в) дало, помимо дальнейшего заполнения описанных зон, некоторую дальнейшую миграцию активности в северо-западном и особенно в юго-восточном направлении.

Своеобразный характер развития афтершокового процесса связан, по-видимому, со сложностью поля напряжений в «замке» двух сейсмо-тектонических зон глобального масштаба.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. А. Федотов, А. А. Гусев, В. М. Зобин, А. М. Кондратенко, К. Е. Чепкунас. Озерновское землетрясение и цунами 22(23) ноября 1969 г.— В сб. «Землетрясения в 1969 году». М., «Наука», 1972.
2. Оперативный сейсмологический бюллетень. Изд. Междувед. геофиз. комитета за декабрь 1971 г. Обнинск, 1971.
3. Seismological Bulletin U. S. Coast and Geodetic Survey. Washington, 1971, Dec.
4. А. В. Горячев. Основные закономерности тектонического развития Курило-Камчатской зоны. М., «Наука», 1966.
5. С. А. Федотов. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии.— Труды ИФЗ, 1965, № 36(203).
6. С. А. Федотов. О сейсмическом цикле, возможности сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе.— В сб. «Сейсмическое районирование СССР». М., «Наука», 1968.
7. Л. М. Балакина. Механизм очага цунамигенных землетрясений северо-западной части Тихого океана.— Тезисы XV Ген. ассамблеи МГТС. М., 1972.
8. Сборник «Землетрясения в СССР в 1970 году». М., «Наука», 1973.