

УДК 550.34

ФЕДОТОВ С. А., ГУСЕВ А. А., ЧЕРНЫШЕВА Г. В.,  
ШУМИЛИНА Л. С.**СЕЙСМОФОКАЛЬНАЯ ЗОНА КАМЧАТКИ**  
(геометрия, размещение очагов землетрясений  
и связь с вулканизмом)**Предшествующие исследования. Постановка задачи**

Сейсмичность Камчатки близка по своему уровню к максимальной существующей на планете. Она сосредоточена в зоне Вадати—Заварицкого—Беньофа, которую мы чаще называем сейсмофокальным слоем или фокальной зоной.

Камчатское звено Тихоокеанского сейсмического пояса примечательно наиболее резким среди островных дуг пересечением глубоководных желобов (Курило-Камчатского и Алеутского) и мощным современным вулканизмом.

Положение и границы сейсмофокального слоя Камчатки, размещение очагов землетрясений в нем, изменение сейсмической активности по простиранию и в глубину этого слоя, соотношение слоя с тектоникой, глубинным стрессом и вулканизмом изучаются с самого начала детальных сейсмических исследований на Камчатке, которые непрерывно ведутся с 1 ноября 1961 г. совместно Институтом физики Земли АН СССР и Институтом вулканологии ДВНЦ АН СССР [19].

Данные, обрисовавшие общую картину, были получены уже после первого года исследований [17, 18]. В дальнейшем, с 1964 г., сведения о сейсмической деятельности в сейсмофокальном слое постоянно публикуются в статьях о сейсмичности Камчатки и Командорских островов в ежегодниках «Землетрясения в СССР» [19]. Имеется несколько статей, в которых обобщены данные ряда лет наблюдений, например за 1965—1968 гг. [20] и за 1969—1972 гг. [21]. Некоторые работы посвящены геометрии сейсмофокального слоя [7], его связи с вулканизмом [13—15].

За 23 года детальных сейсмологических наблюдений определены координаты 39 тысяч камчатских землетрясений, основная масса которых произошла в сейсмофокальном слое.

В настоящей работе этот большой однородный массив данных используется для того, чтобы при помощи ЭВМ уточнить границы сейсмофокального слоя Камчатки и размещение очагов землетрясений внутри него, исследовать свойства сейсмофокального слоя и связь с ним вулканизма.

Связь землетрясений с блоковой тектоникой и вулканическими центрами самой Камчатки, а также сейсмичность района Курило-Камчатского желоба предполагается рассмотреть отдельно.

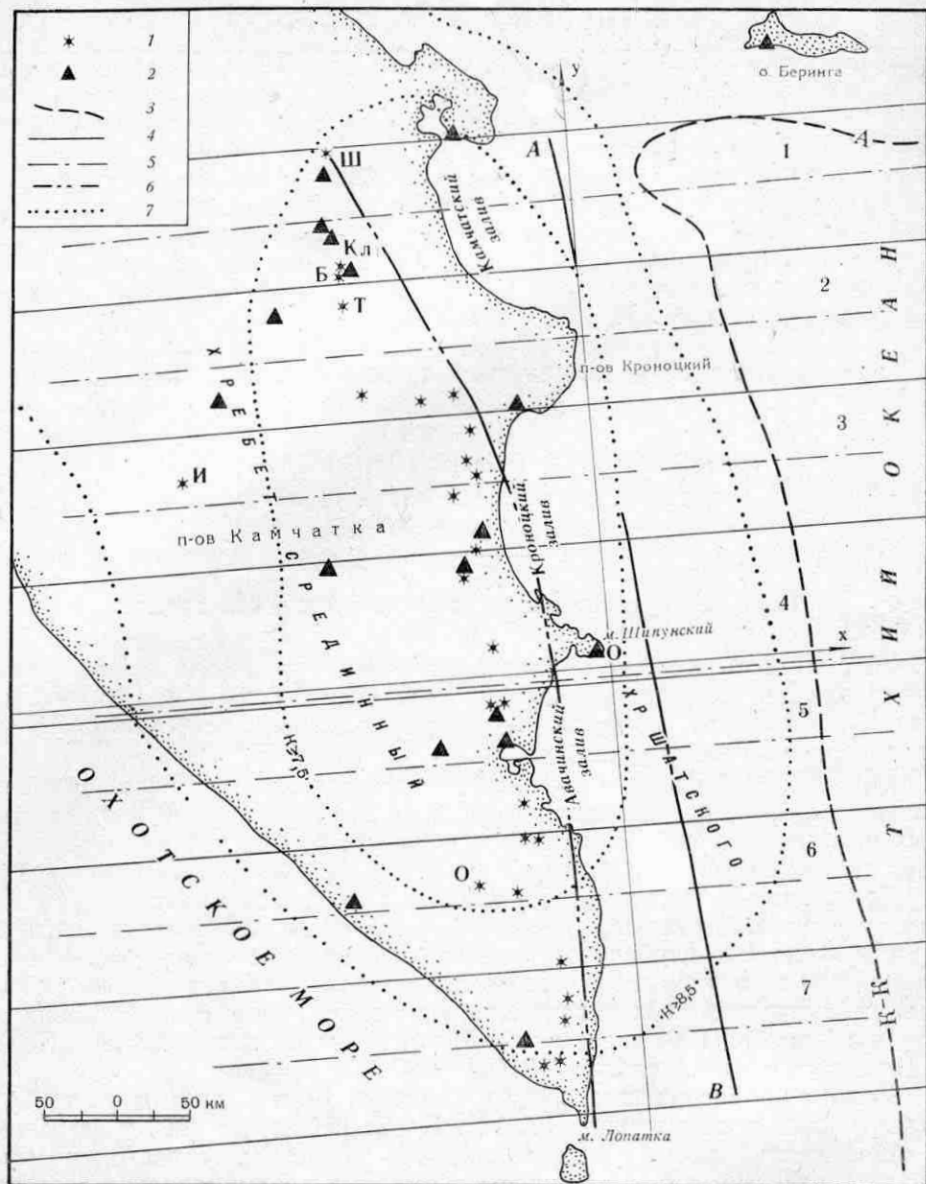


Рис. 1. Схема расположения участков 1—7, для которых построены вертикальные разрезы фокальной зоны: 1—вулканы: Кл—Ключевская сопка, Б—Безымянный, Т—Толбачик, Кз—Кизимен, И—Ичинский, О—Опала, Ш—Шивелуч; 2—сейсмостанции; 3—ось глубоководных желобов: К-К—Курило-Камчатского, А—Алеутского; 4—границы участков; 5—положение плоскостей, на которые проектировались гипоцентры; 6—направление проектирования; 7—контуры надежной регистрации землетрясений с  $K \geq 7,5$  и  $K \geq 8,5$ . АВ—линия пересечения плоскости проекции рис. 4 с дневной поверхностью

### Исходные данные

Каталог камчатских землетрясений получен при наблюдениях региональной сетью станций в 1962—1981 гг. В каталоге указаны время возникновения землетрясений, координаты эпицентра, глубина очага, точность определения координат и глубины, энергетический класс [19].

Сеть станций (рис. 1) оборудована аппаратурой с плоской частотной характеристикой по смещению в диапазоне периодов 0,1—1,0 с, увели-

чение от 5000 до 30 000 в зависимости от уровня микросейсм на станции. Как правило, одновременно работает не менее 14 станций.

В камчатскую сеть входит в последние годы также узел радиотелеметрического сбора информации, охватывающий сеть из пяти идентичных автономных передающих пунктов, установленных на расстоянии до 65 км от центра сбора информации. Амплитудно-частотная характеристика сейсмометрических каналов систем — плоская по скорости смещения в диапазоне частот 1—18 Гц. Увеличение на частоте 1 Гц около 6000. Динамический диапазон на входе системы регистрации составляет 54 дБ [5].

Время в очаге землетрясения определяется по графику Вадати [3]. Координаты эпицентров и глубины очагов до недавнего времени определялись графически по способу Ю. В. Ризниченко [11], используемому палетки изохрон. Последние семь лет определение координат ведется на ЭВМ по программе, разработанной и внедренной А. А. Гусевым [6].

Точность определения координат эпицентра составляет в основном 10—15 км, на краях планшета (см. рис. 1) ошибки до 30 км и более. Точность определения глубины очага порядка 20 км, на краях планшета по мере удаления от периметра сети станций возможны ошибки до 50 км и более.

При описанных далее построениях использовались данные любой точности, так как постоянство сети и методики обработки обеспечивает более высокую точность взаимного расположения гипоцентров. Надо особо отметить, что ошибки определения глубин очагов возрастают по мере их удаления в океан от береговой камчатской сети станций. В районе глубоководного желоба глубина многих очагов определяется с большой неопределенностью (0—80 или 0—100 км). Как известно, это может создать иллюзию погружения очагов под океанический склон глубоководного желоба. Надежные данные о глубинах очагов землетрясений в районе глубоководного желоба получаются при помощи донных сейсмических станций [26].

Энергетическая классификация камчатских землетрясений дается по шкале С. А. Федотова  $K_{SI,2}^{\Phi 68}$  [16], по которой оценивается энергия в очаге по амплитуде поперечных волн на записи близких (0—500 км) станций. Шкала позволяет оценить энергию с точностью  $\pm 0,2$  единицы класса в диапазоне классов 8—13.

Связь энергетической характеристики камчатских землетрясений  $K_{SI,2}^{\Phi 68}$  с магнитудными шкалами  $M_{LH}$  (магнитудная оценка по поверхностным волнам Единой сети сейсмических наблюдений СССР), а также с общепринятой в СССР энергетической шкалой Т. Г. Раутиан  $K^{P64}$  [9, 10] выражается формулами:

$$K_{SI,2}^{\Phi 68} \approx 1,5M_{LH} + 4,6,$$

$$K_{SI,2}^{\Phi 68} \approx K^{P64} - 0,6.$$

Связь  $K_{SI,2}^{\Phi 68}$  с магнитудой  $m_b$  по продольным волнам Геологической службы США выражается формулой

$$K_{SI,2}^{\Phi 68} \approx 2,0m_b + 2,1.$$

Ниже величины  $K_{SI,2}^{\Phi 68}$  обозначаются просто  $K$ . Минимальный энергетический класс землетрясений, содержащихся в каталоге, равен 6,5. Представительными на всей площади исследований (см. рис. 1) являются землетрясения с  $K=11$  ( $m_b \approx 4,45$ ), на большей части территории с  $K=8,5$  ( $m_b \approx 3,2$ ), в местах сгущения станций с  $K=7,5$  ( $m_b \approx 2,7$ ). В работе использованы данные о землетрясениях с  $K \geq 7,5$ .

При работе с каталогом использовалась программа с ЭВМ (автор А. А. Гусев, исполнители З. М. Пономарева, Г. В. Чернышева), позволяющая делать выборки из каталога по любым параметрам, а также строить проекции точек очагов на любые плоскости.

Для изучения конфигурации и структуры сейсмофокальной зоны строился набор разрезов вкрест ее простирания. При этом фокальная зона по простиранию разбивалась на параллельные участки (см. 1—7 на рис. 1). Ширина участка 100 км. Гипоцентры каждого участка проектировались на вертикальную плоскость вектором, параллельным простиранию фокальной зоны в этом участке. Расположение плоскостей и векторов проектирования см. на рис. 1.

### Геометрия сейсмофокальной зоны

На рис. 2 представлены поперечные разрезы фокальной зоны. На глубинах 0—200 км контур фокальной зоны хорошо показывают землетрясения  $K \geq 9,5$ . Контур зоны мало расширяется более слабыми ( $K < 9,5$ ) землетрясениями. Внутри контура землетрясения с разной плотностью заполняют все пространство, которое заштриховано на рис. 2.

Размещение землетрясений внутри сейсмофокальной зоны отображалось модой и медианой распределения числа землетрясений  $K \geq 7,5$  на данной глубине (мода — абсолютный максимум числа землетрясений; медиана — точка, вправо и влево от которой находится по 50% землетрясений от общего числа).

Глубже 200 км число землетрясений в фокальной зоне значительно меньше и они неравномерно распределены по глубине. Поэтому на разрезах 1—7 глубже 200 км показаны все землетрясения  $K \geq 9,5$ . Здесь нанесены также очаги землетрясений более слабых классов, однако последние на этих глубинах не представительны.

На разрезах 1—6 построения были ограничены глубиной 400 км, так как более глубокие землетрясения, за редким исключением, происходят только под южной частью Камчатки (разрезы 6, 7, см. на рис. 1, 2, 3, б). Под южной Камчаткой точность определения гипоцентров глубоких землетрясений, по данным Камчатской региональной сети сейсмических станций, ухудшается. Поэтому на разрезе 7 очаги глубже 400 км взяты из «Сейсмологического бюллетеня Дальнего Востока» [12].

Как видно на рис. 2, сейсмофокальная зона Камчатки имеет горизонтальную часть, простирающуюся на глубинах 0—50 км на 200 км вкрест Курило-Камчатской дуги, от океанского склона глубоководного желоба до вертикального асейсмического фронта под побережьем Камчатки.

Глубже 50 км фокальная зона имеет вид относительно тонкого слоя, падающего под континент. Слой с четкими границами протягивается до глубин порядка 200 км на всех разрезах; максимальная толщина слоя 50 км, средняя — 40 км. На протяжении 600 км вдоль Камчатки (разрезы 2—7) угол падения практически одинаков и составляет 50°. Только на разрезе 1 до глубины 100 км угол падения 35°, глубже слой падает круче (58°). Усложнение формы фокальной зоны здесь связано с тем, что в полосе 1 находится пересечение Курило-Камчатского и Алеутского желобов.

Максимум сейсмичности (мода и медиана распределения числа землетрясений) на глубинах 50—150 км приурочен к середине слоя (см. рис. 2, а).

Обращает на себя внимание подобие на всех разрезах формы фокальной зоны до глубин 200 км. Это хорошо видно при совмещении разрезов (см. рис. 2, б). Они совмещены по характерному участку

западной границы фокальной зоны, который близок к вертикали на глубинах от 30 до 70 км и отчетливо выделяется на всех разрезах.

Строение и форма сейсмофокальной зоны в плане по простиранию отражены на рис. 3, где показаны средние линии (медианы распределения числа землетрясений), положение западной границы, а также нижний край фокальной зоны, проведенный через эпицентры наиболее глубоких из зарегистрированных землетрясений. Наилучше точно найдено положение медиан, несколько хуже — послойных западных границ сейсмофокальной зоны.

Положение в плане западных границ и средних линий на разных глубинах подобно. Они протягиваются вдоль Камчатки в северо-восточном направлении, параллельно вулканическому поясу. Средние линии слоев на глубинах 0—25 и 26—50 км поворачиваются к востоку в Камчатском заливе вдоль Алеутской дуги.

Средние линии слоев на глубинах от 51—75 до 176—200 км параллельны от южной оконечности Камчатки до Камчатского залива на севере (см. рис. 3, а).

Устойчивая форма сейсмофокальной зоны меняется в Камчатском заливе. Здесь в области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг сейсмофокальная зона Камчатки на глубинах 51—200 км круто изгибается на север (угол поворота  $30^\circ$ ) и вскоре выклинивается. Северный конец Курило-Камчатского глубоководного желоба тоже круто поворачивается в районе Камчатского залива, оставаясь параллельным сейсмофокальной зоне (см. рис. 3, а). Геодинамические модели для рассматриваемой области сочленения островных дуг должны объяснить эту важную структурную особенность.

Нижний край сейсмофокальной зоны Камчатки погружается в направлении запад — юго-запад, от глубин 100 км у северной оконечности этой зоны (полоса 1) до глубины 500 км на юге региона (полоса 7).

Верхняя граница фокальной зоны под вулканами находится на глубинах 100—150 км, средняя плоскость фокальной зоны под вулканами — на глубинах 125—175 км.

На рис. 4 представлен продольный разрез фокальной зоны по ее наклонной средней плоскости, уходящей под углом  $50^\circ$  под континент и пересекающей дневную поверхность по линии *AB* (см. рис. 1). Линия *AB* проведена через точки, в которых на дневную поверхность выходят медианы поперечных разрезов 1—7 (см. рис. 2, а). Очаги проектировались на плоскость из слоя толщиной 100 км, по 50 км с обеих сторон от нее. На ту же среднюю плоскость по вертикали вниз спроектированы вулканы. Такая проекция показывает вид средней плоскости сейсмофокального слоя сверху со стороны Камчатки. Отметим главные особенности размещения очагов в этой проекции.

Расстояния по падению сейсмофокального слоя обозначаются величиной *R*, глубины — величиной *H*. Отчетливо выделяются три уровня сейсмичности по глубине: максимальная — в слое  $R=0-40$  км, средняя — в слое  $R=40-150$  км и слабая, представленная отдельными землетрясениями на больших глубинах.

Северная граница сейсмофокального слоя находится против Камчатского залива в области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской дуг, расстояние 300—400 км вдоль линии *AB*. На рис. 4 видно, что граница сейсмофокального слоя на расстояниях  $R=50-300$  км ( $H=40-230$  км) проходит почти вертикально. Затем прослеживается уже более плавное увеличение глубин очагов на юго-запад вдоль фокального слоя.

Действующие вулканы проектируются на эту среднюю плоскость там, где происходит резкое уменьшение числа землетрясений с глубиной.

Эпицентры землетрясений распределены по простиранию более или менее равномерно во всех слоях:  $R=0-40$ ,  $40-150$  и более 150 км.



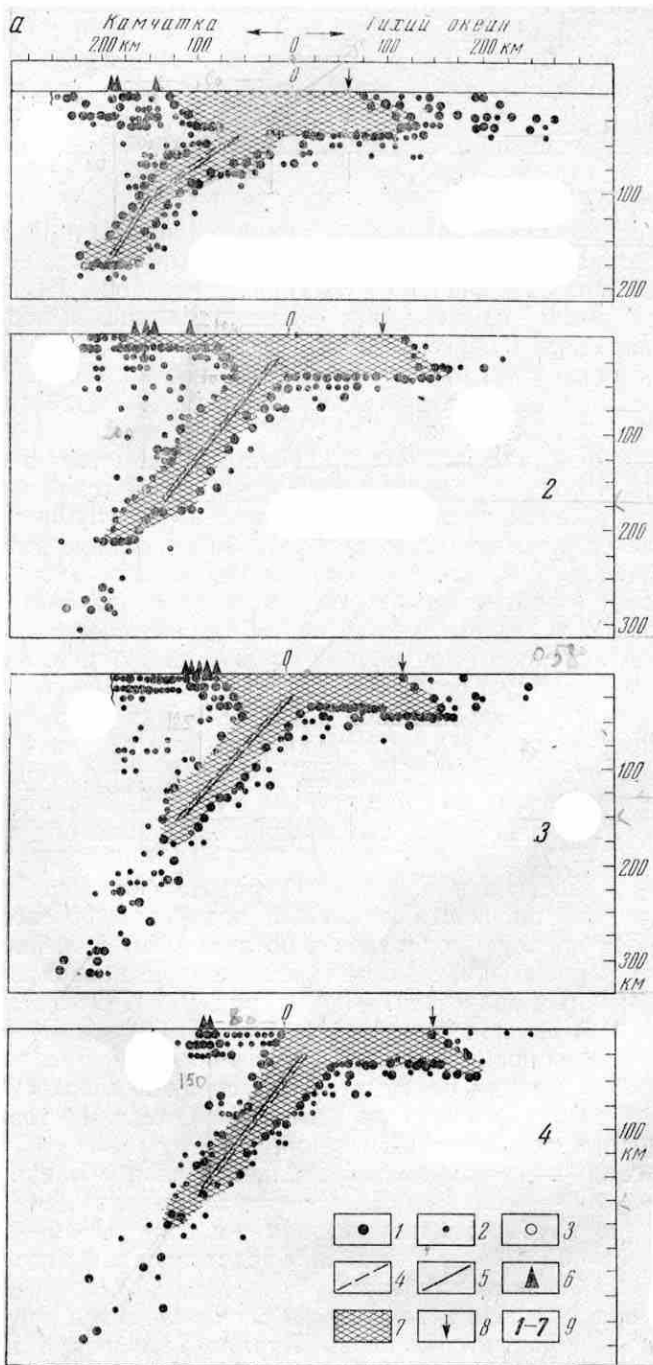
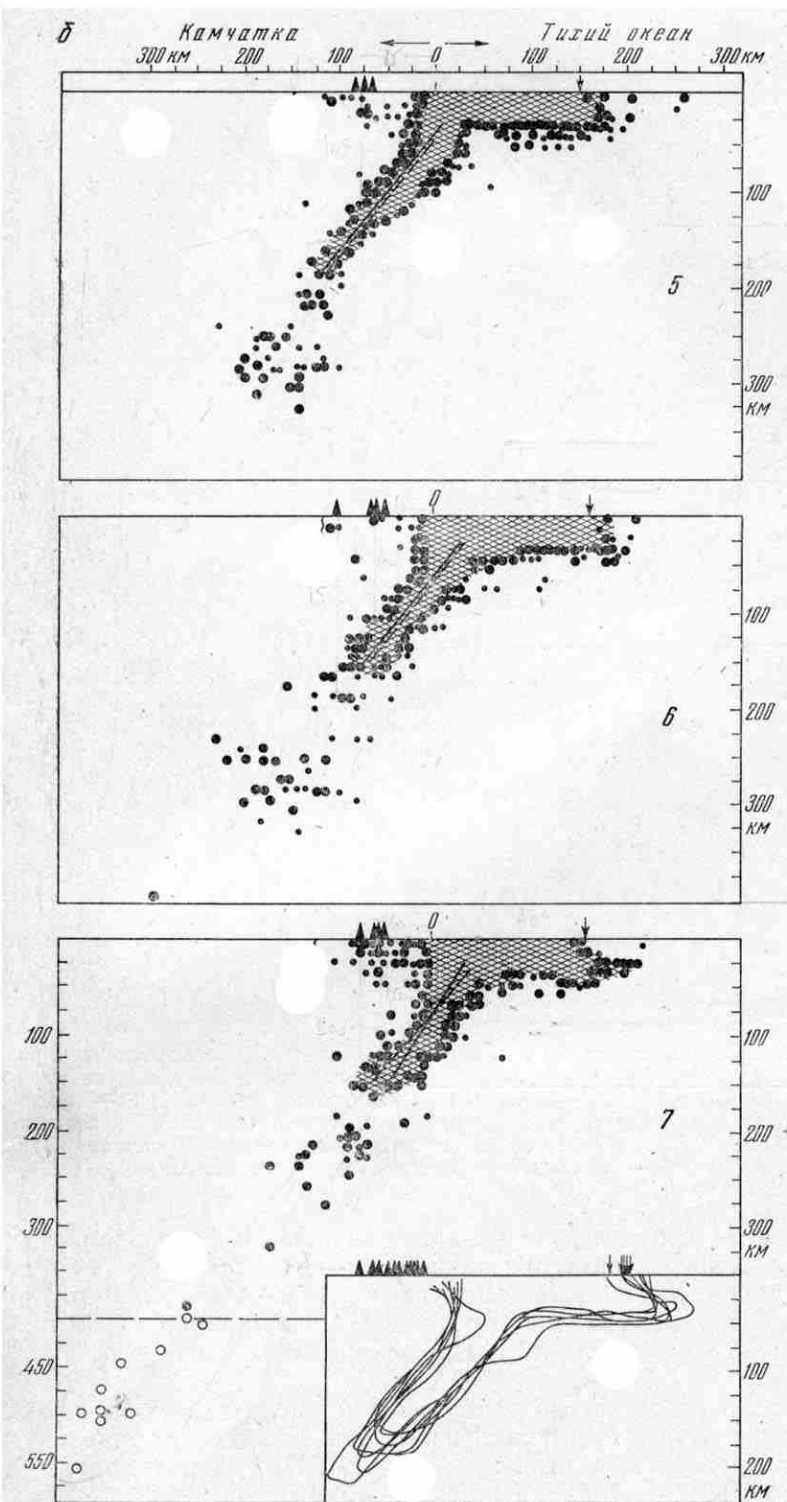


Рис. 2. Вертикальные разрезы фокальной зоны: а — 1—4, б — 5—7, 1 — землетрясения  $K \geq 9,5$ ; 2 — землетрясения  $7,5 \leq K \leq 9,4$ ; 3 — землетрясения, координаты которых взяты из бюллетеней [12]; 4 — мода распределения числа землетрясений на данной глубине; 5 — медиана распределения числа землетрясений на данной глубине; 6 — вулканы; 7 — сейсмофокальная зона; 8 — проекции оси желоба; 9 — номера разрезов, соответствующие полосам на рис. 1. На врезке — совмещенные разрезы 1—7



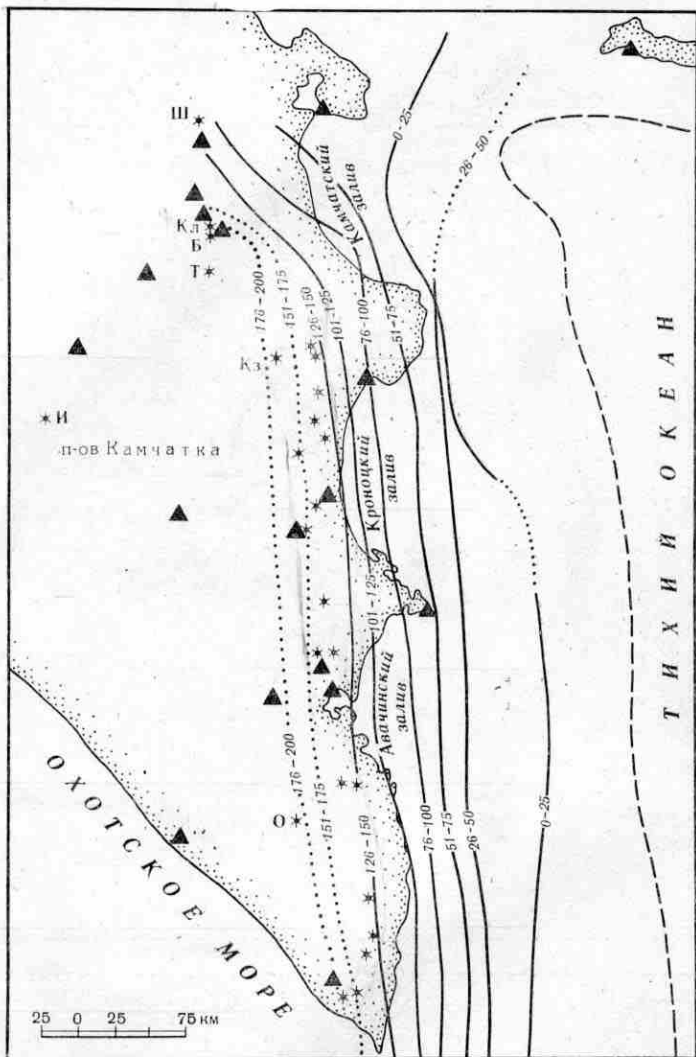
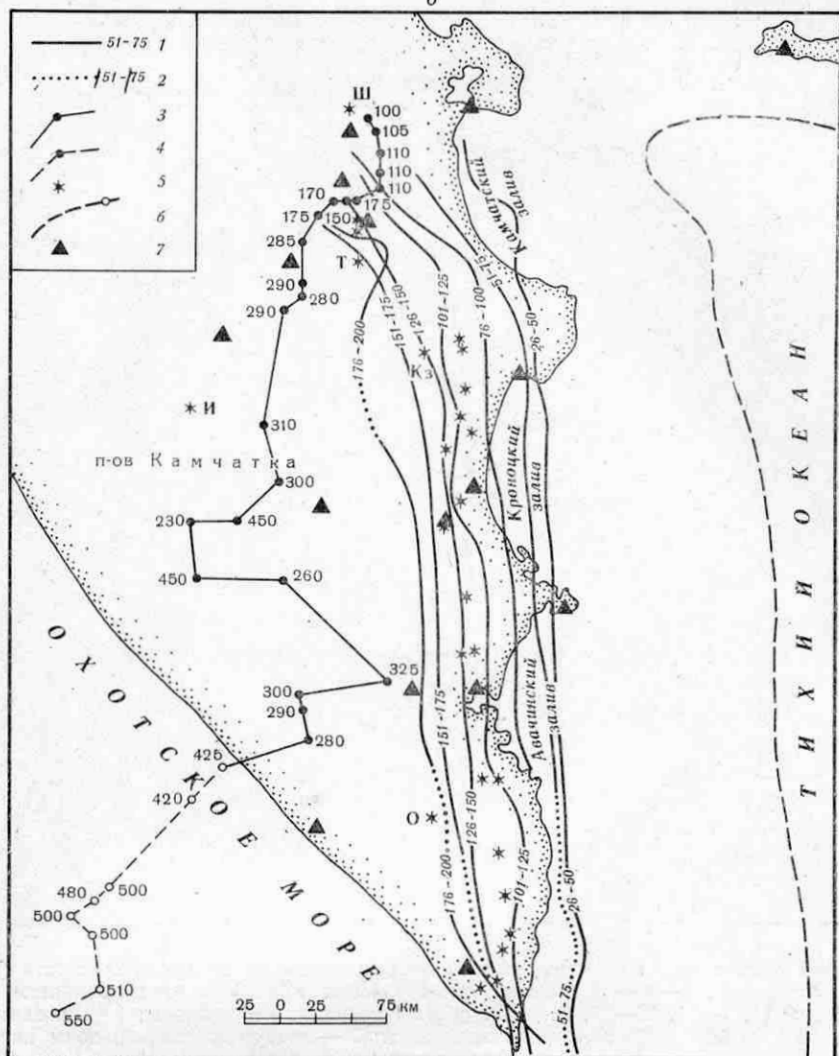


Рис. 3. Средние линии (а) и западные границы (б) фокальной зоны на разных глубинах. 1 — средние линии и западные границы для указанного диапазона глубин; 2 — менее точные участки тех же линий; 3 — нижний край фокальной зоны по землетрясениям  $K \geq 9,5$  (цифрами обозначены глубины очагов); 4 — то же, по землетрясениям из «Бюллетеня» [12]; 5 — вулканы; 6 — желоб; 7 — сейсмостанции

Влияние поперечных структур на сейсмичность в фокальном слое хорошо видно только в пределах земной коры в слое  $R=0-40$  км ( $H=0-30$  км) в районе мыса Шипунского (расстояние от 0 до  $-100$  км вдоль АВ) и южной части Кроноцкого полуострова (расстояние от  $-150$  до  $-200$  км вдоль АВ), где сейсмическая деятельность заметно ослабевает.

На рис. 5 представлено распределение числа землетрясений по глубине. Чтобы избежать влияния неполноты данных, графики построены для трех уровней энергетических классов. При построении до 200 км использован шаг в 10 км по глубине, глубже шаг равен 20 км. Как можно видеть, данные для  $K \geq 8,5$  ( $m_b \geq 3,1$ ) представительны на глубинах до  $\sim 320$  км. Показаны глубины проекций вулканов на среднюю плоскость фокальной зоны.





Графики рис. 5 наиболее отчетливо показывают, что большинство землетрясений Камчатки происходит на глубинах 0—40 км. На глубине 40—50 км число землетрясений убывает скачком в 10 раз, затем монотонно уменьшается еще в 30 раз до глубины 220 км. На глубинах 220—320 км убывание количества очагов с глубиной замедляется. Существуют минимумы на глубинах 320—360 км, увеличение числа землетрясений на глубине 400 км, максимум на глубине 440—460 км. Самые глубокие землетрясения под южной Камчаткой происходят на глубинах около 550 км.

Графики изменения числа землетрясений с глубиной для других островных дуг мира имеют похожую форму [30].

Примечательно, что действующие вулканы Камчатки проектируются на те глубины (100—200 км), где число землетрясений в фокальном слое убывает быстрее всего. Сразу под этим интервалом глубин находится глобальная сейсмическая граница 220 км, к которой приурочены фазовые переходы вещества мантии [27] и др. Вероятно, что сложный ход графика числа землетрясений на глубинах более 200 км также связан с фазовыми переходами. Эта проблема еще мало изучена. Однако

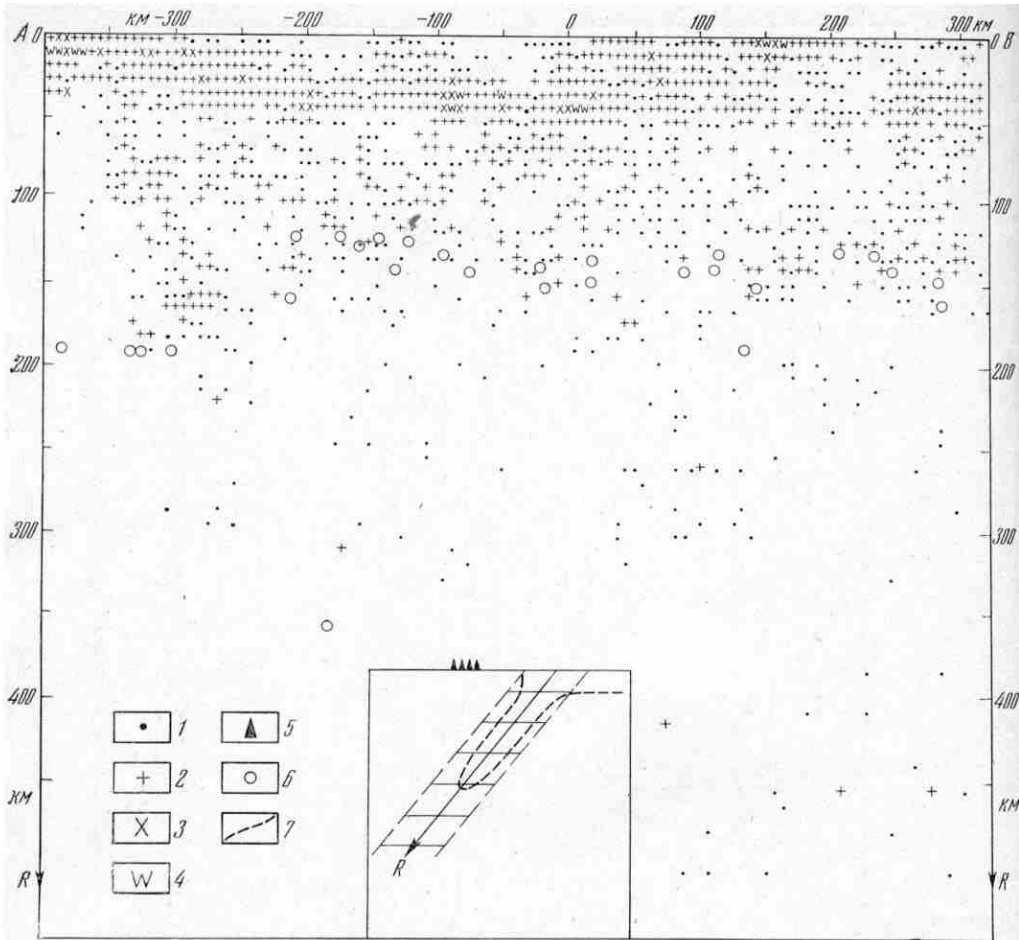


Рис. 4. Горизонтальная проекция очагов землетрясений на среднюю плоскость сейсмофокальной зоны. 1—4 — количество землетрясений  $K \geq 9,5$  в прямоугольнике  $6,25 \times 10,5 \text{ км}^2$  (1, 2—11, 12—21, более 21 соответственно); 5 — вулканы; 6 — проекции вулканов на среднюю плоскость фокальной зоны; 7 — контур фокальной зоны вкрест ее простираения (на врезке)

в любом случае рисунок 5 дает дополнительные свидетельства в пользу того, что размещение действующих вулканов Восточного пояса вулканов Камчатки контролируется процессами, происходящими в сейсмофокальном слое на глубинах 100—200 км.

Надо оговориться, что нельзя сделать такое же утверждение для другого четвертичного пояса вулканов Камчатки, который протягивается вдоль Срединного хребта. Единственный его вулкан, действующий до сих пор, — Ичинский проектируется на глубину 370 км, (см. рис. 5). Проблема происхождения этого тылового вулканического пояса Камчатки также еще не решена.

Далее приводятся более подробные данные о распределении очагов землетрясений в верхней части фокального слоя.

В полосах 4, 5 в центре региона (см. рис. 1) большое число станций и лучшее их расположение по отношению к очагам обеспечили точность определения координат эпицентров и глубин выше средней. Это дало возможность для этого участка фокальной зоны с целью более детального анализа ее внутренней структуры построить поперечные разрезы крупного масштаба (рис. 6).

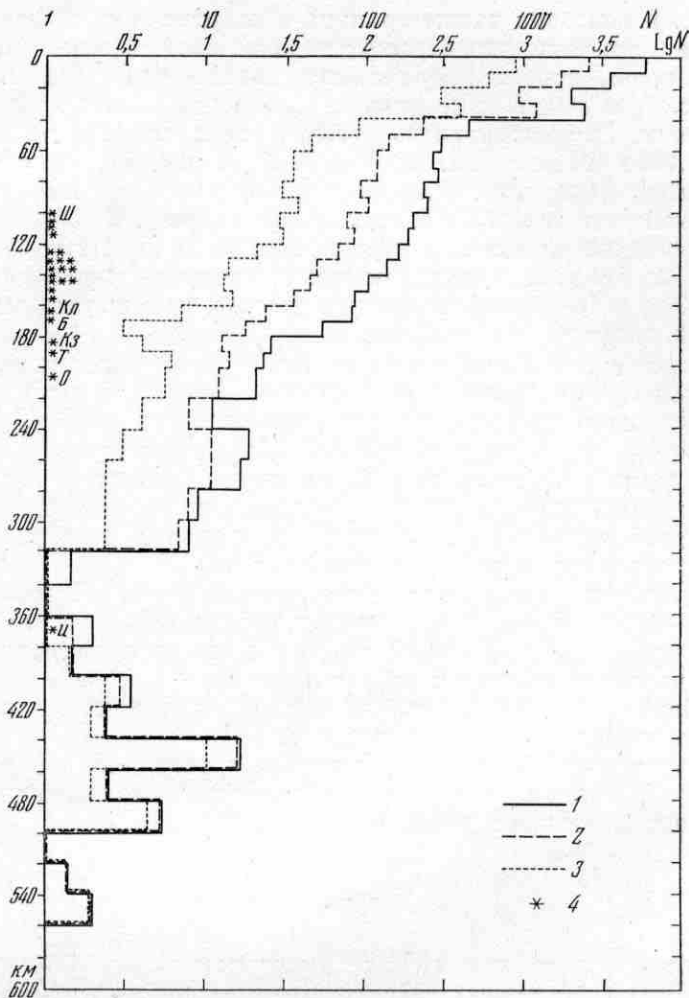


Рис. 5. Распределение землетрясений по глубине. 1 —  $K \geq 8,5$  ( $m_b \geq 3,1$ ); 2 —  $K \geq 9,5$  ( $m_b \geq 3,6$ ); 3 —  $K \geq 10,5$  ( $m_b \geq 4,1$ ); 4 — положение проекций вулканов на медиану фокальной зоны, буквы соответствуют обозначениям вулканов на рис. 1

Проектирование велось на вертикальную плоскость из полос шириной 50 км (см. врезку на рис. 6). При проектировании некоторые гипоцентры оказались выше морского дна. Это связано с тем, что при определении координат использовалась простая слоистая модель среды. С учетом реальной точности определения глубины (обычно не лучше 5 км) этот факт не имеет существенного значения.

На детальных разрезах отчетливо видно, что область максимальной сейсмичности — глубины 0—40 км. Причем наиболее сейсмичная полоса на этих глубинах падает от желоба в сторону континента и смыкается с наклонной частью фокального слоя на глубинах 40—50 км.

На детальных разрезах обнаруживается, что на глубинах 50—150 км есть явная тенденция к двухслойному расположению очагов. Размер практически асейсмичной области между ними превышает погрешность определения положения очагов.

Аналогичная особенность в строении фокальной зоны впервые была отмечена для Японской дуги по данным о микроземлетрясениях [22—25, 28, 29].

На рис. 6 показана также граница Мохоровичича по данным [1, 2, 4]. Следует отметить, что строение земной коры в этом районе очень сложное и нельзя провести эту границу однозначным образом.

На рис. 7 показано изменение сейсмической активности вкост фокальной зоны. Рассматривалась только центральная часть региона размером  $400 \times 400$  км<sup>2</sup> (см. полосы 3—6 на рис. 1), где строение фокальной зоны однородно. Для этой же области проведены изолинии сейсмической активности на вертикальном разрезе. В качестве площадки осреднения использовался круг радиусом 25 км, перемещавшийся с шагом 20 км. На рис. 7 показаны также проекции гипоцентров землетрясений 13-го и 14-го энергетических классов, максимумы сейсмической активности, медиана фокального слоя.

Здесь также отчетливо видно возрастание активности от желоба к оси фокальной зоны, более крутой спад сейсмичности к западу. Максимум сейсмической активности, приуроченный к глубине 40 км, в плане расположен вдоль линии, лежащей вблизи восточных полуостровов. Ближе к желобу имеется второй максимум, меньший по величине, соответствующий глубине 20 км. Обусловлен этот максимум роями землетрясений в южной оконечности подводного хребта Шатского. Медиана фокального слоя имеет угол наклона  $50^\circ$ .

Под вулканами происходят землетрясения в земной коре на глубинах до 20—30 км. Верхняя мантия под вулканами почти асейсмична на глубинах от 20—30 до 80—100 км, что выразительно подчеркивается контуром изолиний сейсмической активности.

В асейсмичной области мантии под вулканами выделяются также области повышенной электропроводности [8].

Отмечаемое по ГСЗ сложное строение границы Мохоровичича приурочено к области максимальной сейсмической активности (участок между заштрихованными полосами на рис. 7).

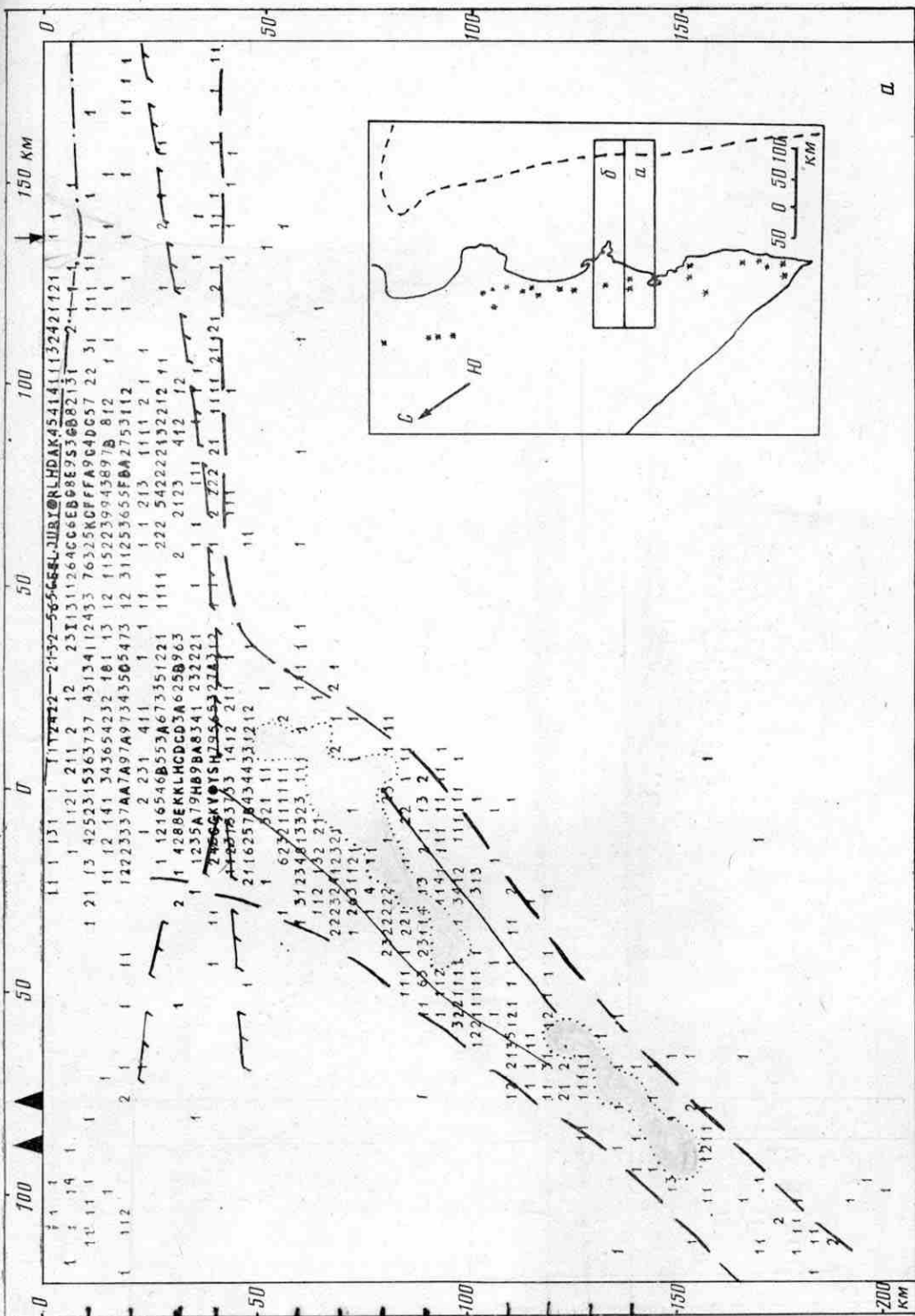
### Заключение

Наличие каталога камчатских землетрясений за 20-летний срок (1962—1981 гг.) детальных сейсмологических наблюдений в регионе и применение ЭВМ для графических построений дало возможность по всему имеющемуся материалу из 39 000 событий составить детальное представление о форме и ряде свойств сейсмофокальной зоны у берегов Камчатки.

Сейсмичность фокальной зоны максимальна на глубинах 0—40 км. Эта часть фокальной зоны на поверхности широка ( $\sim 200$  км) и протягивается от берегов Камчатки до Курило-Камчатского желоба. На глубине 40 км сейсмичность скачком убывает в 10 раз. Фокальная зона сужается здесь до слоя шириной в среднем 40 км, максимально — 50 км. Слой падает под континент под постоянным углом в  $50^\circ$  (см. рис. 2).

Выход оси фокальной зоны (линия максимальной сейсмичности) на поверхность проходит по восточным полуостровам Камчатки. К западу от оси сейсмичность спадает резко, чем к востоку. Западная граница на глубинах 30—80 км близвертикальна. Эта особенность хорошо выдерживается вдоль фокальной зоны. Нижний край фокальной зоны погружается от 200 км на севере до 500 км на юге (см. рис. 2, 3, 7).

Фокальная зона удивительно однородна по форме и строению вдоль Камчатки на протяжении порядка 700 км от мыса Лопатка на юге Камчатки до Камчатского залива (см. рис. 1, 2). В северной части, в месте сочленения Курило-Камчатской и Алеутской дуг, на глубинах 50—200 км простираение фокальной зоны (и глубоководного желоба) резко изменяется (поворот на  $30^\circ$  к северу), после чего она выклинивается (см. рис. 3).







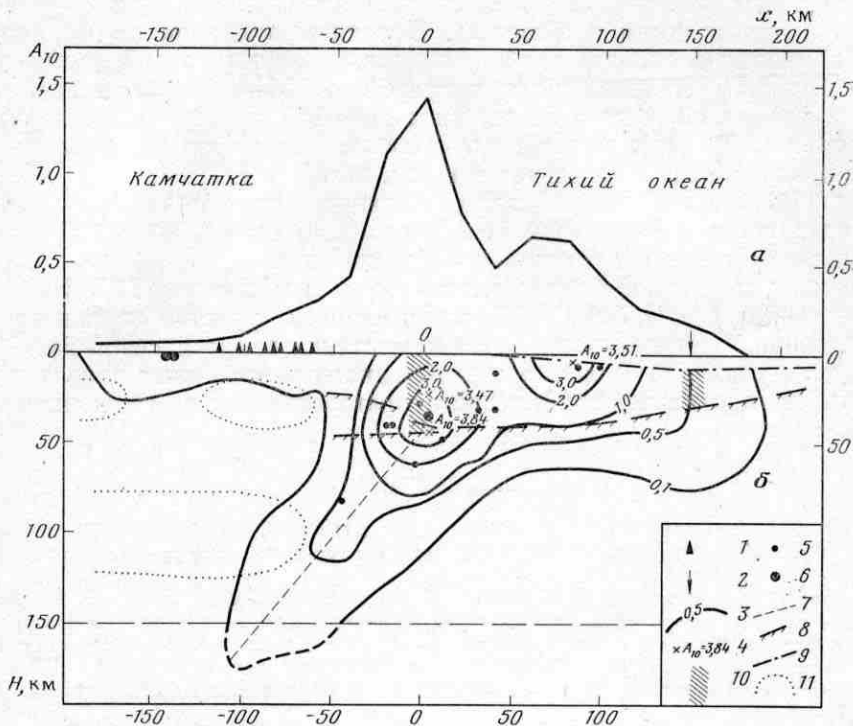


Рис. 7. Изменение сейсмической активности вкост фокальной зоны (а) и с глубиной (б): 1 — проекции вулканов; 2 — проекция оси желоба; 3 — изолинии сейсмической активности  $A_{10}$ ; 4 — максимумы сейсмической активности; 5 — землетрясения  $K=13$ ; 6 — землетрясения  $K=14$ ; 7 — медиана зоны; 8 — граница Мохоровичича [4]; 9 — рельеф морского дна; 10 — примерные границы сложнопостроенного по данным ГСЗ участка земной коры [1, 2]; 11 — изоома 10 Ом·м [8]

В центральной части исследуемого региона материал позволил проследить двухслойное строение фокальной зоны на глубинах 50—150 км. Эта особенность отмечалась исследователями для Японской и Алеутской островных дуг. Для Камчатки она прослеживается не столь отчетливо (см. рис. 6).

Заметных связей размещения очагов в фокальной зоне с тектоникой Камчатского полуострова не выявляется. Отмечается лишь уменьшение сейсмичности в земной коре на глубинах 0—30 км под мысом Шипунским и южной частью Кроноцкого полуострова.

Области максимальной сейсмичности на глубинах 0—40 км находятся под континентальным склоном между побережьем Камчатки и глубоководным желобом и соответствуют участкам земной коры, которые, по данным ГСЗ, имеют наиболее сложное строение (см. рис. 4, 7).

В то же время рассмотренный материал дает новое подтверждение тому, что размещение вулканов связано с процессами, происходящими в сейсмофокальном слое или на его верхней границе. Вулканический пояс простирается параллельно сейсмофокальному слою и поворачивает

Рис. 6. Разрезы сейсмофокальной зоны для участков северной части Авачинского залива (а) и мыса Шипунского (б). На врезке — расположение этих участков в плане: 1—3 — количество землетрясений с  $K \geq 7,5$  в прямоугольнике размером  $2,5 \times 4,2$  км<sup>2</sup> (1—9, 10—33, более 33 соответственно); 4 — положение оси желоба; 5 — вулканы; 6 — граница Мохоровичича [4]; 7 — контур фокальной зоны; 8 — линия максимального числа землетрясений на данной глубине (мода); 9 — граница асейсмичной области внутри фокальной зоны; 10 — морское дно

вместе с ним (см. рис. 3, а). Верхняя мантия на глубинах 20—100 км под вулканами почти асейсмична. Проекция вулканов на фокальную зону попадают в область глубин, где число землетрясений резко убывает. Вулканы проектируются на глубины 125—175 км средней плоскости фокальной зоны и на глубины 100—150 км ее верхней границы, существенно, что андезитовые вулканы проектируются на меньшие глубины по сравнению с базальтовыми (см. рис. 3, б, 7).

Данные, приведенные в статье, должны быть учтены при геодинамических построениях в районе Курило-Камчатской дуги и области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской дуг.

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам ТСЭ ИФЗ АН СССР и ИВ ДВНЦ АН СССР, принимавшим участие в длительных наблюдениях и создании каталога камчатских землетрясений за 1961—1982 гг., а также З. М. Пономаревой, одному из основных исполнителей работы по программе графического построения поля гипоцентров на ЭВМ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аносов Г. И., Биккенина С. К., Попов А. А., Сергеев К. Ф., Утнасин В. К., Федорченко В. И. Глубинное сейсмическое зондирование Камчатки. М.: Наука, 1978. 130 с.
2. Аносов Г. И., Биккенина С. К., Попов А. А., Сергеев К. Ф., Утнасин В. К., Федорченко В. И. О характере сочленения континентального и океанического литосферных блоков в районе южной Камчатки.— В сб.: Новые данные о строении коры и верхней мантии Курило-Камчатского и Японского регионов. Матер. III советско-японского симпозиума по геодинамике и вулканизму. Владивосток, 1978, с. 7—21.
3. Архангельский В. Т., Введенская Н. А., Гайский В. Н., Кириос Д. П., Левицкий А. Я., Нерсесов И. Л., Розова Е. А., Саваренский Е. Ф., Чернявкина М. К., Харин Д. А. Руководство по производству и обработке наблюдений на сейсмических станциях СССР. Ч. II. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 183 с.
4. Балеста С. Т. Земная кора и магматические очаги областей современного вулканизма. М., 1981. 134 с.
5. Гаарилов В. А., Малкин А. П., Чебров В. Н., Сорокин В. В. Радиотелеметрическая система сбора сейсмической информации на Авачинско-Корякском полигоне.— Бюл. вулканол. ст., 1978, № 54, с. 22—26.
6. Гусев А. А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ.— Вулканология и сейсмология, 1979, № 1, с. 74—81.
7. Гусев А. А., Шумилина Л. С. Геометрия сейсмоактивного объема коры и верхней мантии в районе Камчатки и Командорских островов.— В сб.: Исследования по физике землетрясений. М.: Наука, 1976, с. 194—200.
8. Мороз Ю. Ф. О глубинном строении восточной Камчатки по данным магнитотеллурических зондирований.— Вулканология и сейсмология, 1984, № 5, с. 85—89.
9. Раутиан Т. Г. Энергия землетрясений.— В сб.: Методы детального изучения сейсмичности. Тр. ИФЗ АН СССР, 1960, № 9 (176), с. 75—113.
10. Раутиан Т. Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях до 3000 км.— Тр. ИФЗ АН СССР, 1964, № 32 (199), с. 88—93.
11. Ризниченко Ю. В. Методы массового определения координат очагов близких землетрясений и скоростей сейсмических волн в области расположения очагов.— Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1958, № 4, с. 425—437.
12. Сейсмологический бюллетень Дальнего Востока, 1963—1981 гг.
13. Токарев П. И. О глубинной фокальной поверхности и связи землетрясений с рельефом в Курило-Камчатской зоне.— Бюл. вулканол. ст., 1957, № 27, с. 66—81.
14. Токарев П. И. О связи вулканической и сейсмической активности в Курило-Камчатской зоне.— В кн.: Вулканизм Камчатки и Курильских островов. Тр. Лаб. вулканол., 1958, вып. 17, с. 156—182.
15. Токарев П. И. О фокальном слое, сейсмичности и вулканизме Курило-Камчатской зоны.— Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1970, № 3, с. 15—30.
16. Федотов С. А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972, с. 115.
17. Федотов С. А., Кузин И. П., Бобков М. Ф. Детальные сейсмологические исследования на Камчатке в 1961—1962 гг.— Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1964, № 9, с. 1360—1375.
18. Федотов С. А., Багдасарова А. М., Бобков М. Ф., Кузин И. П. Землетрясения Камчатки и Командорских островов по данным детальных сейсмологических наблюдений за период ноябрь 1961—1963 гг.— В сб.: Землетрясения в СССР в 1963 году. М.: Наука, 1966, с. 167—194.

19. Федотов С. А. и др. Землетрясения Камчатки и Командорских островов.— В сб.: Землетрясения в СССР за 1964—1981 гг. М.: Наука, 1966—1983.
20. Федотов С. А., Токарев П. И., Годзиковская А. А., Зобин В. М. Детальные данные о сейсмичности Камчатки и Командорских островов (1965—1968).— В сб.: Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. с. 35—45.
21. Федотов С. А., Токарев П. И., Кондраченко А. М., Феофилактов В. Д. Сейсмичность Камчатки и области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской дуг в 1969—1972 гг.— В сб.: Вулканизм островных дуг. М.: Наука, 1977, с. 7—13.
22. Хасегава А., Умино Г., Такаги А. Двухплоскостная структура глубинной сейсмической зоны в северо-восточной части Японской дуги. III. Советско-японский симпозиум по геодинамике и вулканизму зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. г. Южно-Сахалинск, 2—7 октября 1976 г. Новоалександровск, 1976, с. 17—18 (тез. докл., вып. 1).
23. Хасегава А., Умино Г., Такаги А. Двухслойная структура глубинной сейсмической зоны островной дуги северо-восточной Японии.— В сб.: Новые данные о строении коры и верхней мантии Курило-Камчатского и Японского региона. Матер. III советско-японского симпозиума по геодинамике и вулканизму. Владивосток, 1978, с. 68—75.
24. Engdahl E. R. Relocations of intermediate depth earthquakes in the Central Aleutians by seismic ray tracing.— Nature, 1973, v. 245, p. 23—25.
25. Hasegawa A., Umino N., Takagi A. Double-planed structure of the deep seismic zone in the north-eastern Japan Arc.— Tectonophysics, 1978, v. 47, № 1/2, p. 43—58.
26. Hirata N., Yamada T., Shimamura H., Inatani H., Suyehiro K. Spatial distribution of microearthquakes beneath the Japan Trench from ocean bottom seismographic observations.— Geophys. J. Roy. Astron. Soc., 1983, v. 73, mem. 3, p. 653—669.
27. Maxwell J. C. What is the lithosphere?— EOS, 1984, v. 65, № 17, p. 321—325.
28. Suzuki S., Sasatani T., Motoya Y. Double seismic zone beneath the middle of Hokkaido, Japan, in the southwestern side of the Kurile arc.— Tectonophysics, 1983, v. 96, № 1/2, p. 59—76.
29. Tsumura K. Microearthquake activity in the Kanto District. Publ. for the 50th Anniversary of the Great Kanto Earthquake (1923). 1973, p. 67—87.
30. Vassiliou M. S., Hager B. H., Ræfjsky A. The distribution of earthquakes with depth and stress in subducting slabs.— J. Geodynamics, 1984, v. 1, № 1, p. 11—28.

Институт вулканологии  
ДВНЦ АН СССР  
Институт физики Земли АН СССР

Поступила в редакцию  
3.IV.1985