

УДК 550.34

## КОРОВАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ КАМЧАТКИ

Е. И. Гордеев<sup>1,2</sup>, А. А. Гусев<sup>1,2</sup>, В. И. Левина<sup>2</sup>, В. Л. Леонов<sup>1</sup>, В. Н. Чебров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,*

<sup>2</sup>*Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия ГС РАН  
683006, г. Петропавловск-Камчатский, бул. Пийна, 9, e-mail: gord@emsd.iks.ru*

Дан обзор тектонической сейсмичности суши Камчатки, в полосе к ЗСЗ от зоны субдукции Курило-Камчатской дуги. Историческая сейсмичность здесь почти неизвестна. Палеосейсмологические данные указывают на вполне заметную активность. За период детальных наблюдений (последние 40 лет) зарегистрированы сотни слабых и средней силы землетрясений. Часто они возникали группами. Группы и одиночные эпицентры во многих случаях приурочены к известным или предполагаемым зонам голоценовых разломов; они, однако, не образуют ярко выраженных линейментов. Наиболее четко проявились за 40 лет структуры Срединного хр., хр-ов Кумроч, Тумрок, Валагинского, Ганальского, Щапинского грабена и Восточного вулканического пояса. Полоса относительно слабой сейсмичности протягивается на север к Парапольскому долу и Корякскому нагорью. В работе не рассматриваются землетрясения, связанные с вулканической деятельностью

## CRUSTAL SEISMICITY OF KAMCHATKA

E. I. Gordeev<sup>1,2</sup>, A. A. Gusev<sup>1,2</sup>, V. I. Levina<sup>2</sup>, V. L. Leonov<sup>1</sup>, V. N. Chebrov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Volcanology and Seismology FED RAS*

<sup>2</sup>*Kamchatkan Experimental and Methodical Seismological department, Geophysical Service, RAS, 683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piip blvd., 9, e-mail: gord@emsd.iks.ru*

The summary is given of tectonic seismicity of Kamchatka mainland, i.e., of areas to WNW from the main subduction zone of Kuril-Kamchatka arc. Volcano-tectonic earthquakes, abundant in this area, are not considered. Historical and pre-1960 instrumental data are almost absent for this territory. Paleoseismological data indicate quite considerable activity. During the last 40 years of detailed studies, hundreds of small and moderate earthquakes are recorded; they mostly occurred as clusters. Clusters and individual epicenters are often associated with known or assumed Holocene faults; however, they do not form well-expressed lineaments. The structures that have been revealed most distinctly are located in the ranges Sredinny, Kumroch, Tumrok, Valaginsky, Ganal'sky, in the Shchapinsky graben, and along the Eastern Volcanic Belt. A band of relatively weak seismicity stretches to the North, to Parapolsky-dol istmus and to Koryaksky uplands.

### Введение

Камчатка известна частыми и сильными землетрясениями в зоне субдукции. Мелкофокусная сейсмичность зоны субдукции ограничена с запада резкой тыловой границей (Гусев, Шумилина, 1976; «асейсмический фронт» в японской терминологии),

проходящей по полуостровам Восточной Камчатки. В полосе к ЗСЗ от этой границы (суша п-ова Камчатка) также происходят землетрясения. Хотя сейсмическая активность здесь на 2-3 порядка ниже, чем в зоне субдукции, она вполне сопоставима с сейсмичностью таких сейсмоопасных территорий России как Алтай или Сев. Кавказ. Сейсмоактивная полоса в районе п-ова Камчатка имеет границу на западе вдоль линии побережья Охотского моря, в то время как к северу и северо-западу выраженной границы нет, активная полоса уходит к Корякскому нагорью.

Важным элементом сейсмической активности суши Камчатки являются землетрясения, связанные с вулканической деятельностью. Это слабые землетрясения (например, взрывные), непосредственно связанные с процессом извержения, разнообразные «вулкано-тектонические» землетрясения, рои землетрясений, локализованные под вулканическими постройками и обычно ассоциируемые с вулканизмом («криптовулканические землетрясения»), а также ряд специфических типов событий на границе между землетрясениями и вулканическим дрожанием. С точки зрения практической важности здесь следует особо выделить:

- рои слабых землетрясений, непосредственно предвещающие извержения вулканов (и являющиеся довольно надежным предвестником извержений);

- землетрясения средней силы (магнитуда до 6,5-7, возможно, до 7-7,5), также предвещающие извержения (или запускающие их) и одновременно создающие существенную сейсмическую опасность в эпицентральной зоне. Анализ вулканических землетрясений посвящен ряд статей настоящего сборника, здесь мы не будем рассматривать их сколько-нибудь детально.

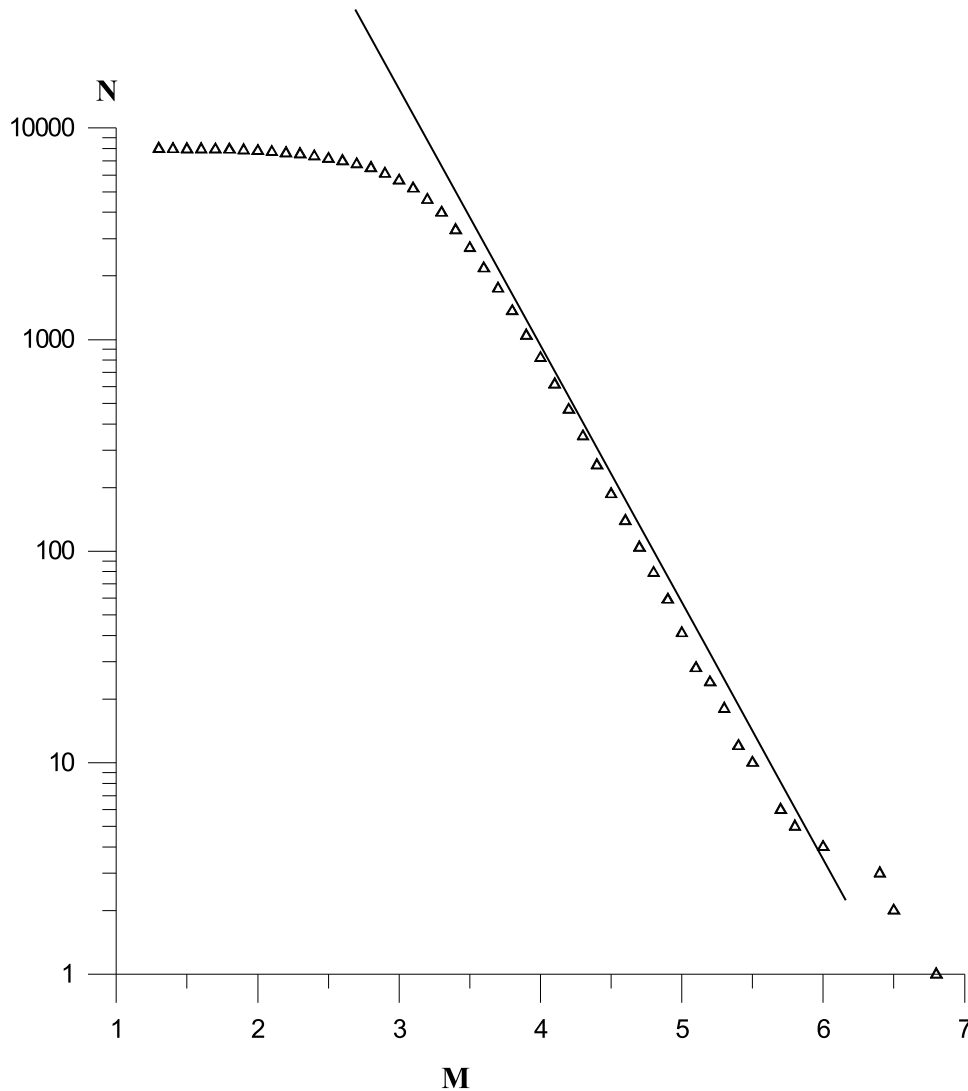
Исторические сведения о сейсмичности суши Камчатки крайне ограничены. Имеется большое число сообщений о землетрясениях в Ключах, силой до 7 баллов, но почти все они явно связаны с вулкано-тектонической активностью Северной группы вулканов. Землетрясение силой 8-9 баллов в пункте Авача (ныне Елизово) в 1827 г. сопровождалось извержением Авачинской сопки и, вероятно, также имеет вулкано-тектонический характер. Отмеченное Крашенинниковым в 1740 г. землетрясение (около 8 баллов) на р. Оглукоминой в Срединном хр. - наиболее яркий известный пример сильного тектонического землетрясения суши Камчатки, в «Новом Каталоге» (Новый каталог, 1977) ему приписано  $M=6,5\pm 1$ .

Палеосейсмологические исследования позволили выявить следы голоценовых землетрясений силой до 10 баллов в бассейне Ср. и Лев. Авачи, в Паратунском грабене, на Камчатском п-ве и в ряде других мест.

За период инструментальных наблюдений по телесеismicким данным (1900-1961) на суше Камчатки мелкофокусных землетрясений почти не отмечено. Важным исключением является землетрясение 1959.06.18 с  $M=7$  в районе пос. Жупаново (9-10 баллов в Жупаново), которое произошло как раз на границе рассматриваемой зоны. Кроме того, есть макросейсмические данные о землетрясении 1928.02.21 в районе влк. Кизимен: «увалы местами сползли, лесу напало очень много, почва на тундре местами лопнула, образовались глубокие трещины, которые затекли водой» (Уланов, 1931); вероятно землетрясение произошло в Щапинском грабене.

### Инструментальные наблюдения региональной сейсмической сетью

С 1961 г. совместной сейсмической сетью Тихоокеанской сейсмической экспедиции ИФЗ АН и Института вулканологии (ИВ) СО АН проводилась регистрация и обработка тектонических землетрясений Камчатки; с 1972 г эти наблюдения проводил ИВ, а с 1979 г. — КОМСП ГС РАН. Главный интерес в этих работах представляли очаги землетрясений из зоны субдукции и вулканические землетрясения; изучение сейсмичности суши Камчатки было лишь побочным результатом. В результате каталог слабых землетрясений для суши Камчатки не вполне однороден по годам и по территории. Обозначим нижний уровень полноты каталога в единицах К или М через  $K_0$  или  $M_0$ . Для полосы Восточное побережье — Срединный хребет с 1961 по 2003 г. —



**Рис. 1.** График повторяемости для коровых землетрясений Камчатки. Коэффициент регрессии (наклон графика) равен -1.25.

**Fig. 1.** Magnitude distribution plot (cumulative) for crustal earthquakes of Kamchatka. The  $b$  - value is estimated as 1.25.

$K_0=9$  (8,5), или  $M_0=3.75$  (3.5). Для западного побережья и района Ука-Палана  $K_0=10$  (9,5), или  $M_0=4.25$  (4.0). Для районов Парапольский дол - Каменское - Пахачи и Корякского нагорья  $K_0=10,5$ , или  $M_0=4.5$ .

На графике повторяемости для коровых землетрясений Камчатки уровень надежной регистрации ограничен снизу землетрясениями с магнитудой  $M=3.5$  (Рис. 1). Наклон графика повторяемости (-1.25) практически совпадает с наклоном для землетрясений из зоны субдукции. На графике повторяемости (Рис. 1) для землетрясений в диапазоне магнитуд  $5.7 < M < 6.7$  имеется заметное отклонение вверх от прямолинейной зависимости. Такое поведение графика существенно с практической точки зрения, так как может вести к значительному занижению оценок сейсмической опасности участков территории. Подобная ошибка может возникнуть, если при этом оценки повторяемости сильных землетрясений ( $M > 6$ ) будут вычисляться на основе прямолинейной экстраполяции графиков повторяемости, построенных по более слабым землетрясениям.

Точность координат эпицентров в каталоге сильно зависит от текущей конфигурации сети, числа станций, зарегистрировавших землетрясение, но в первую очередь — от

того, находится ли эпицентр в пределах периметра этих станций или вне его. В пределах периметра типичная точность эпицентра – 5-10 км; вне периметра ошибки могут достигать 25 км и более. Точность глубины хуже, чем по эпицентру; для большей части территории глубины в пределах коры (0-30 км) не различаются надежно. Когда глубина определяется более уверенно, ее типичные значения – 10-15 км.

### Карты эпицентров

На Рис. 2 представлена карта эпицентров за 1961-2003 г. Эпицентры основной субдукционной очаговой зоны, к востоку от тыловой границы, отмечены серым цветом. Основная особенность карты – наличие многих сгустков или групп эпицентров без выраженной морфологии. Многие мощные сгустки связаны с вулканической активностью, обычно они появляются при конкретных извержениях. Отсутствуют четко выраженные протяженные линеаменты. Известная широтная активная полоса вдоль 55°с.ш. при детальном рассмотрении распадается на отдельные сгустки и линии.

Опишем развитие слабой сейсмичности по десятилетиям (Рис. 3). В 1962-1971 гг. наиболее примечательные события – это рой тектонических землетрясений с максимальной магнитудой  $M=5,5$  в Щапинском грабене, интенсивный рой в районе Козыревско-Быстринских поднятий (Срединный хребет), рой слабых землетрясений в Ганальском хребте. Кроме этого произошли рои вулканических землетрясений на вулкане Шивелуч (1964 г.) и в районе влк. Карымский в Восточно-Камчатском вулканическом поясе.

В 1972-1981 гг. продолжается сейсмическая активность в Срединном хребте (Козыревско-Быстринские поднятия), слабый рой тектонических землетрясений на севере Кроноцкого полуострова, интенсивный рой вулкано-тектонических землетрясений во время Большого трещинного Толбачинского извержения (1975-1976 гг.) и слабый рой в районе Карымского вулкана.

Следующее десятилетие (1982-1991 гг.) характеризуется слабой сейсмичностью практически во всех зонах проявившихся в предыдущие два десятилетия (1962-1981 гг.). Единственным примечательным событием был рой вулкано-тектонических землетрясений в районе влк. Асача (1983 г.).

В 1992-2003 гг. произошло наиболее примечательное событие в сейсмическом режиме на суше Камчатки – это тектоническое землетрясение 1 января 1996 г. в районе влк. Карымский с магнитудой  $M=6.9$ . Главное событие сопровождалось интенсивным афтершоковым процессом. Кроме этого, почти одновременно с основным землетрясением начались извержения вулкана Карымский и в кальдере Академии Наук.

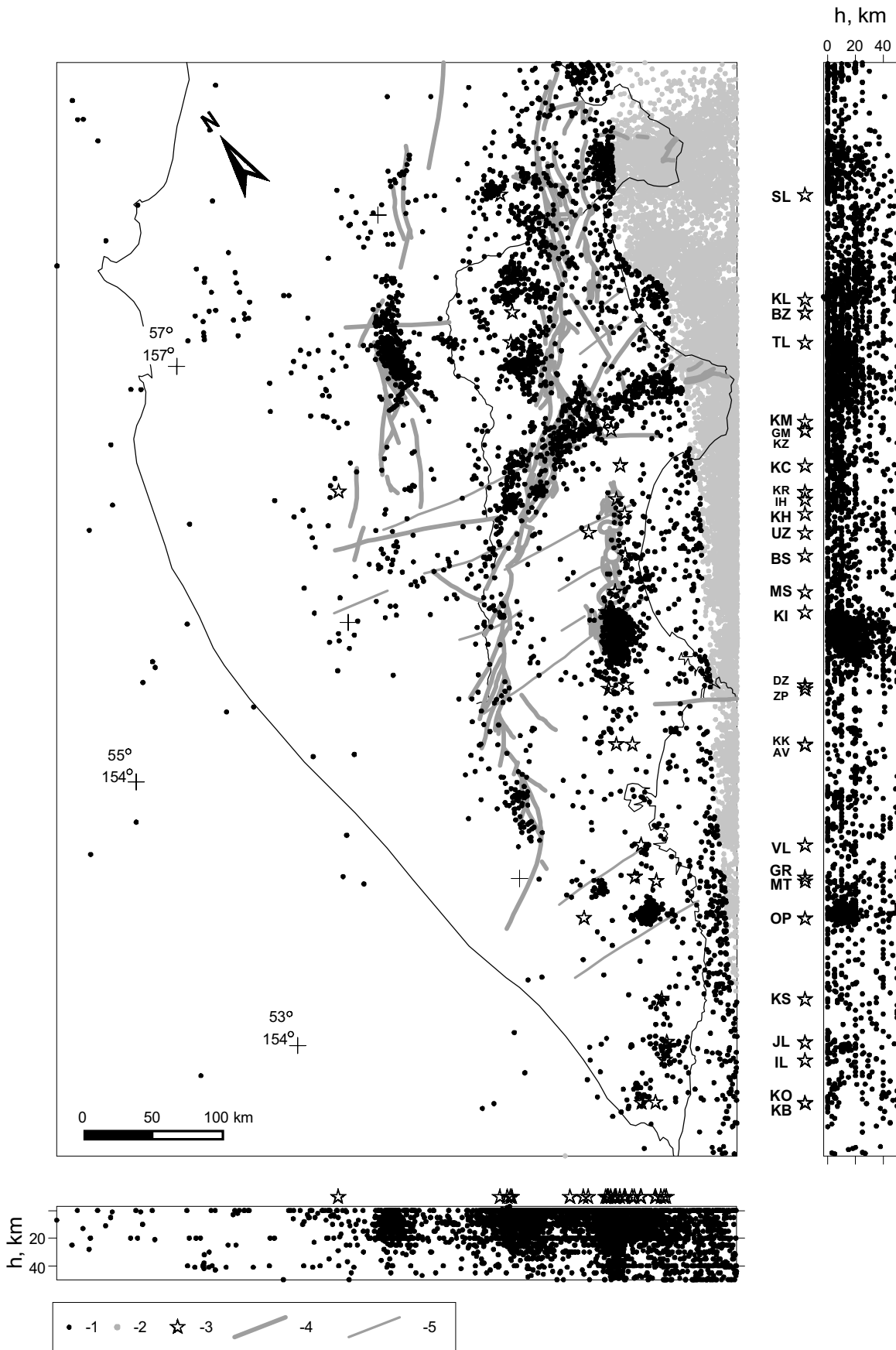
Как видно на Рис. 2 сейсмичность в земной коре на Камчатке сосредоточена в нескольких сейсмоактивных зонах, выделенных по сгусткам эпицентров. Некоторые из этих зон явно связываются с активными вулканами и расположены вблизи них. Это рои концентрации землетрясений в районе Ключевской группы вулканов (Горельчик и др., 1987) вблизи вулканов: Карымского (Широков и др., 1988; Токарев,

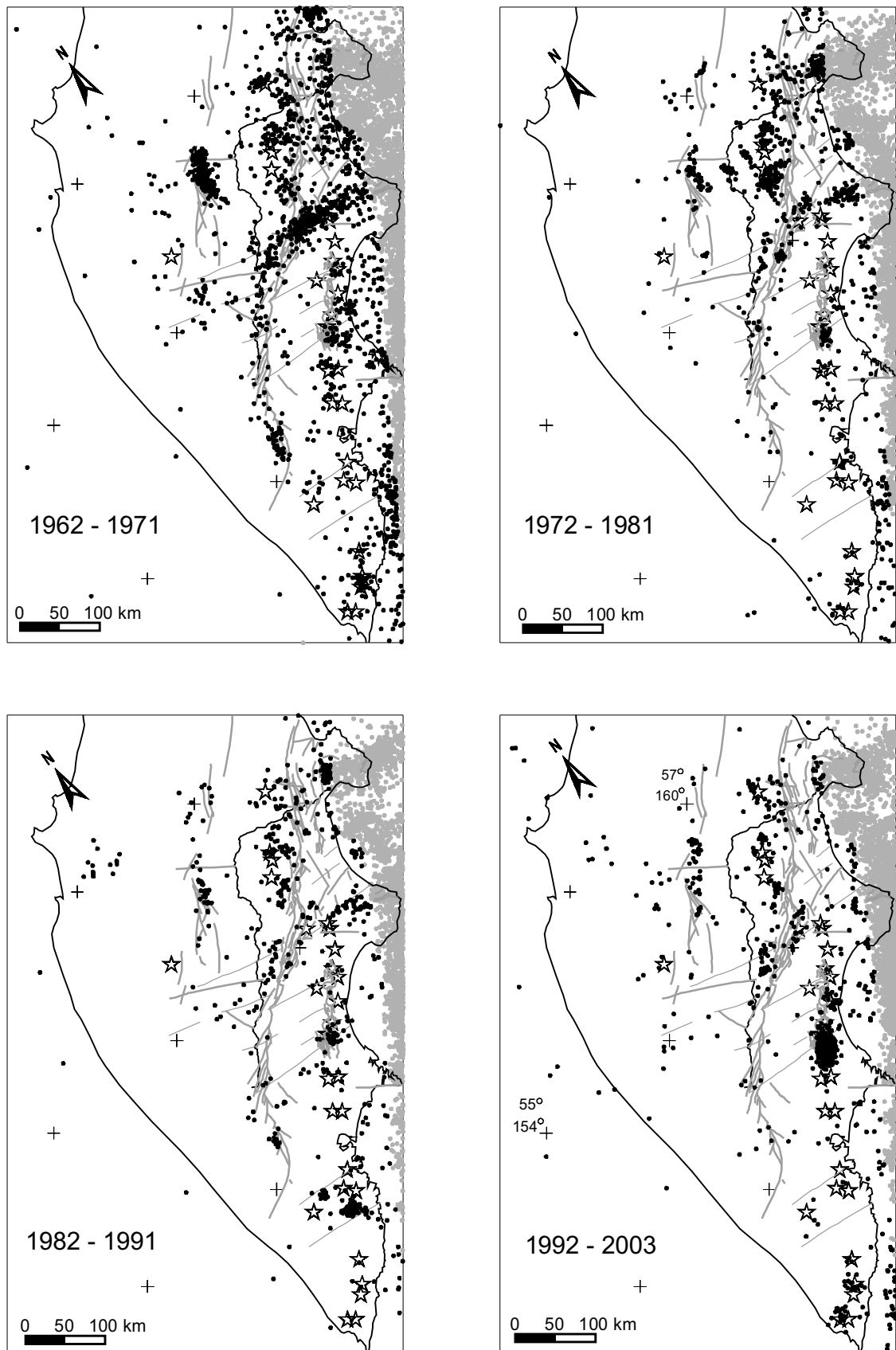
**Рис. 2** (на стр. 66). Карта эпицентров землетрясений Камчатки и вертикальные разрезы вдоль и вкрест фокальной зоны ( $M \geq 3$ ).

1 – эпицентры землетрясений, расположенных к западу от западной границы фокальной зоны на глубинах 26-50 км, выделенной в работе (Федотов и др., 1985); 2 – то же самое, но эпицентры расположены восточнее этой границы; 3 – вулканы; 4 – голоценовые разломы по Кожурину (Kozhurin, 2004), проявившиеся на поверхности; 5 – глубинные разломы.

**Fig. 2** (p. 66). A map of epicenters of earthquakes of Kamchatka and cross-sections along and across the focal zone ( $M \geq 3$ ).

1 - epicenters of earthquakes situated to the West from the western boundary of a main focal zone (aseismic front) at depths 26-50 km; aseismic front according to (Fedotov et al., 1985); 2 - same, but epicenters situated to the East of the same boundary; 3 - volcanoes; 4 – holocene active faults with surface breaks after (Kozhurin, 2004); 5 - deeper fault zones.





**Рис. 3.** Распределение эпицентров землетрясений на территории Камчатки по десятилетиям ( $M \geq 3$ ). Условные обозначения те же, что и на рис. 2.

**Fig. 3.** Epicenters of earthquakes on Kamchatka mainland by successive decades ( $M \geq 3$ ). For legend see Fig. 2.

1989; Леонов, Иванов, 1994), Асача (Токарев, 1984), Желтовского и других. В этих районах сейсмичность непосредственно связана с вулканической деятельностью. Другие сейсмоактивные зоны связаны с тектонической активностью. Наиболее яркими структурами являются зоны центральной части Срединного хребта и протяженная зона от севера Кроноцкого полуострова через Шапинский грабен к Валагинскому хребту. Также можно отметить наиболее активную часть Восточно-Камчатского вулканического пояса в районе Карымского вулкана,

На Рис. 4 приведена карта эпицентров относительно сильных землетрясений суши Камчатки за 40 лет. Картина рассеянной сейсмичности с небольшим числом локальных сгущений видна и здесь.

На Рис. 5 представлена сейсмичность северной части п-ова Камчатка и прилегающей части Азиатского материка. Наиболее выражена здесь полоса сейсмичности от зал. Озерной к прол. Литке и далее на север. Здесь предположительно протягивается граница Северо-Американской плиты (СА) (либо мини-плиты Берингия (БЕ) и Охотоморской плиты (ОХ)). На этой границе располагаются очаги землетрясений 1943 г ( $M=7,1$ ), и 1969г ( $M=7,7$ ) у п-ова Озерной и 1976 г ( $M=6,7$ ) в прол. Литке (Рис. 6). От узла в районе Корф-Хаилино эта граница уходит на запад к Магадану и далее к Момскому рифту. Гипотетическая граница плит СА-БЕ уходит от того же узла на север, она маркируется очагом Хаилинского землетрясения 1992 г ( $M=7,2$ ). Видно, что слабая сейсмичность проявляется в полосах вдоль названных границ; особенно широкая полоса тянется с ЮЗ стороны границы ОХ-БЕ и ОХ-СА.

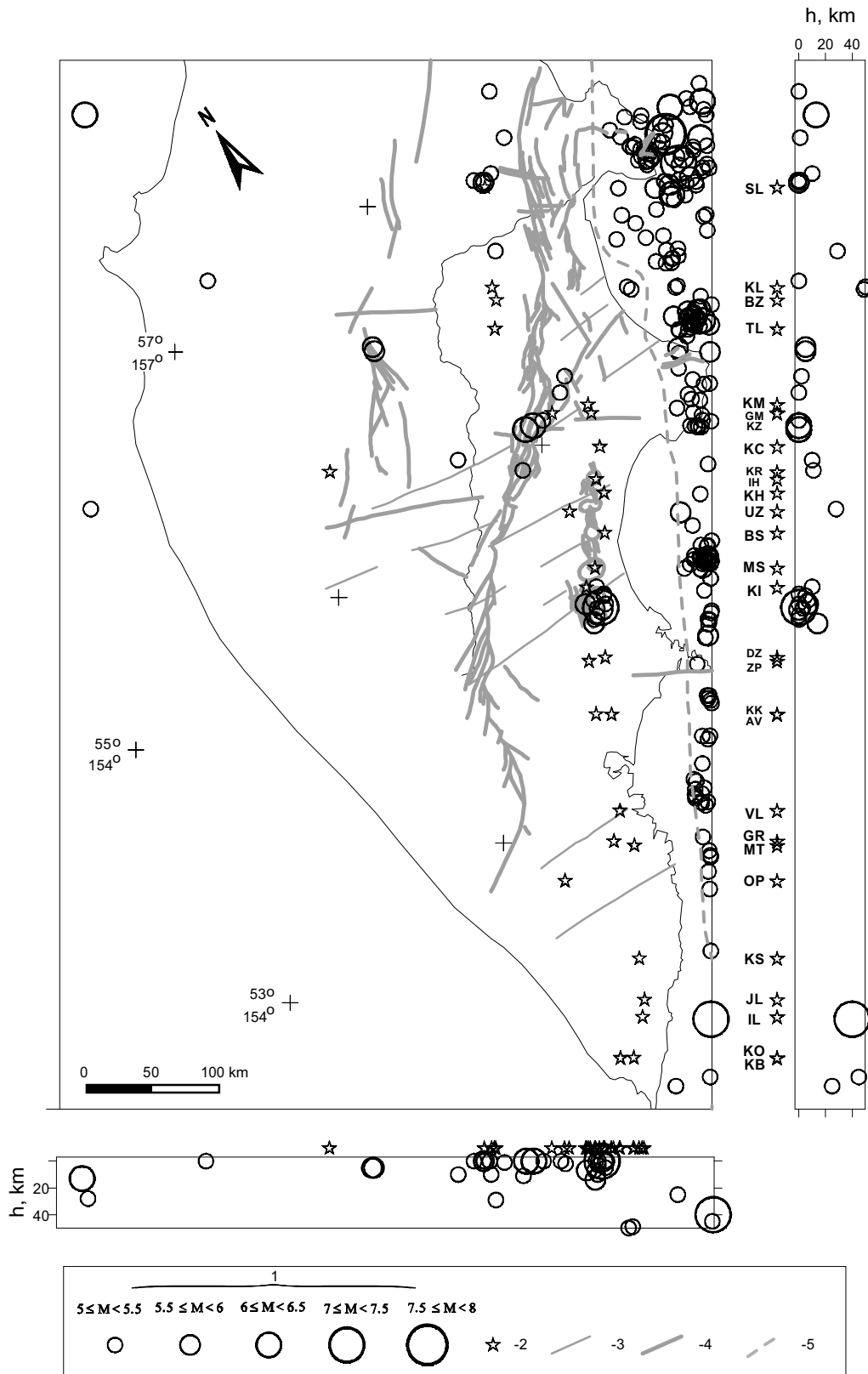
### **Коровая сейсмичность Камчатки и тектонические структуры**

Одну из первых карт разломов Камчатки составил А.Н. Заварицкий (1937, 1956), который показал, что вулканы на полуострове располагаются рядами и трассируют разломы продольного (СВ), поперечного (СЗ) и широтного простирания. Про землетрясения А.Н. Заварицкий писал, что большинство из них “укладывается на ту же систему линий предполагаемых разломов”. В дальнейшем некоторые авторы особо отмечали роль структур СЗ простирания. Так Н.В. Кондорская и В.И. Тихонов (1960) считали, что сгущение эпицентров землетрясений в районах Шипунского и Кроноцкого полуостровов связано с современным развитием доплиоценовых складок, имеющих СЗ простирание. А.В. Горячев (1966) особо подчеркивал значение поперечных наложенных прогибаний и поднятий и считал, что именно к их границам приурочено больше всего землетрясений Камчатки.

В начале 60-х годов на Камчатке начались детальные сейсмические исследования. Уже в первых обобщающих работах было отмечено, что “под Камчаткой землетрясений значительно меньше, чем у ее берегов, в фокальной зоне”, и что “землетрясения связаны с тектоническими структурами земной коры меньшего по сравнению с фокальной зоной порядка” (Федотов и др., 1987). Были выделены участки, где сейсмическая активность повышена. Явной связи сейсмичности с молодыми разломами СВ и СЗ простирания установлено не было. В то же время была выделена субширотная зона сгущения эпицентров землетрясений. Ее значение и причины столь явного ее проявления остаются неясными.

Есть ли соответствие с теми представлениями, которые были высказаны ранее? К сожалению, ни одно из этих представлений (А.Н. Заварицкого, И.В. Кондорской, В.И. Тихонова, А.В. Горячева) подтверждения не нашли. Распределение эпицентров землетрясений с глубиной меньше 50 км, произошедших за период инструментальных наблюдений на Камчатке, не обнаруживает связи ни с какими-либо структурами или разломами СЗ простирания, ни с зонами активных разломов СВ простирания.

В работе Б.В. Баранова с соавторами (1989) мелкофокусная сейсмичность в тылу Курило-Камчатской островной дуги рассмотрена с позиций «клавишной модели», в плане ее связи с сильнейшими землетрясениями в сейсмофокальной зоне. Анализ



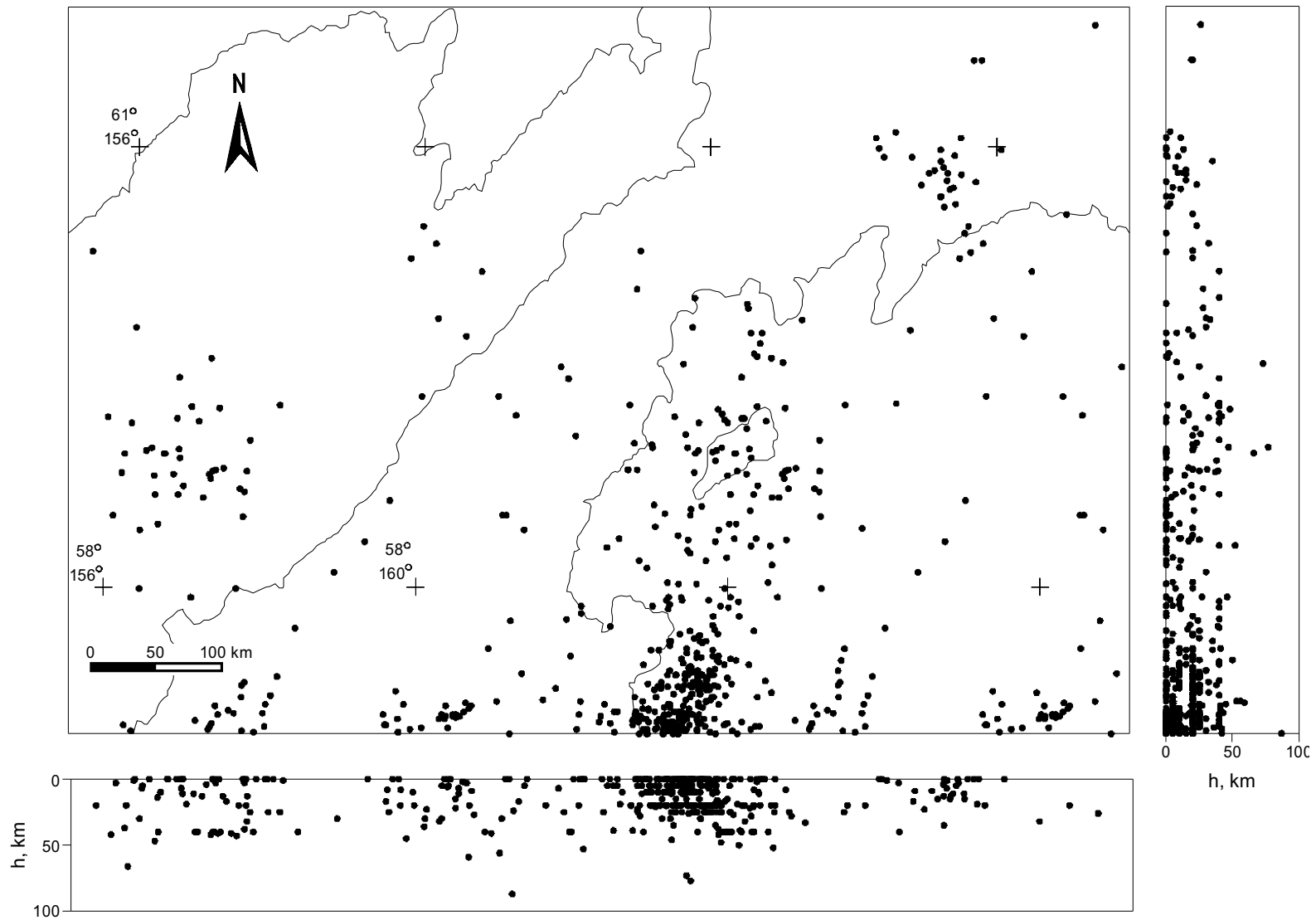
**Рис. 4.** Карта эпицентров сильных землетрясений Камчатки ( $M \geq 5$ ).

1 - эпицентры землетрясений; 2 - вулканы; 3 - глубинные разломы; 4 - поверхностные разломы; 5 - западная граница фокальной зоны на глубинах 25 - 60 (Федотов и др., 1985).

**Fig. 4.** A map of epicenters of larger earthquakes on Kamchatka mainland ( $M \geq 5$ ).

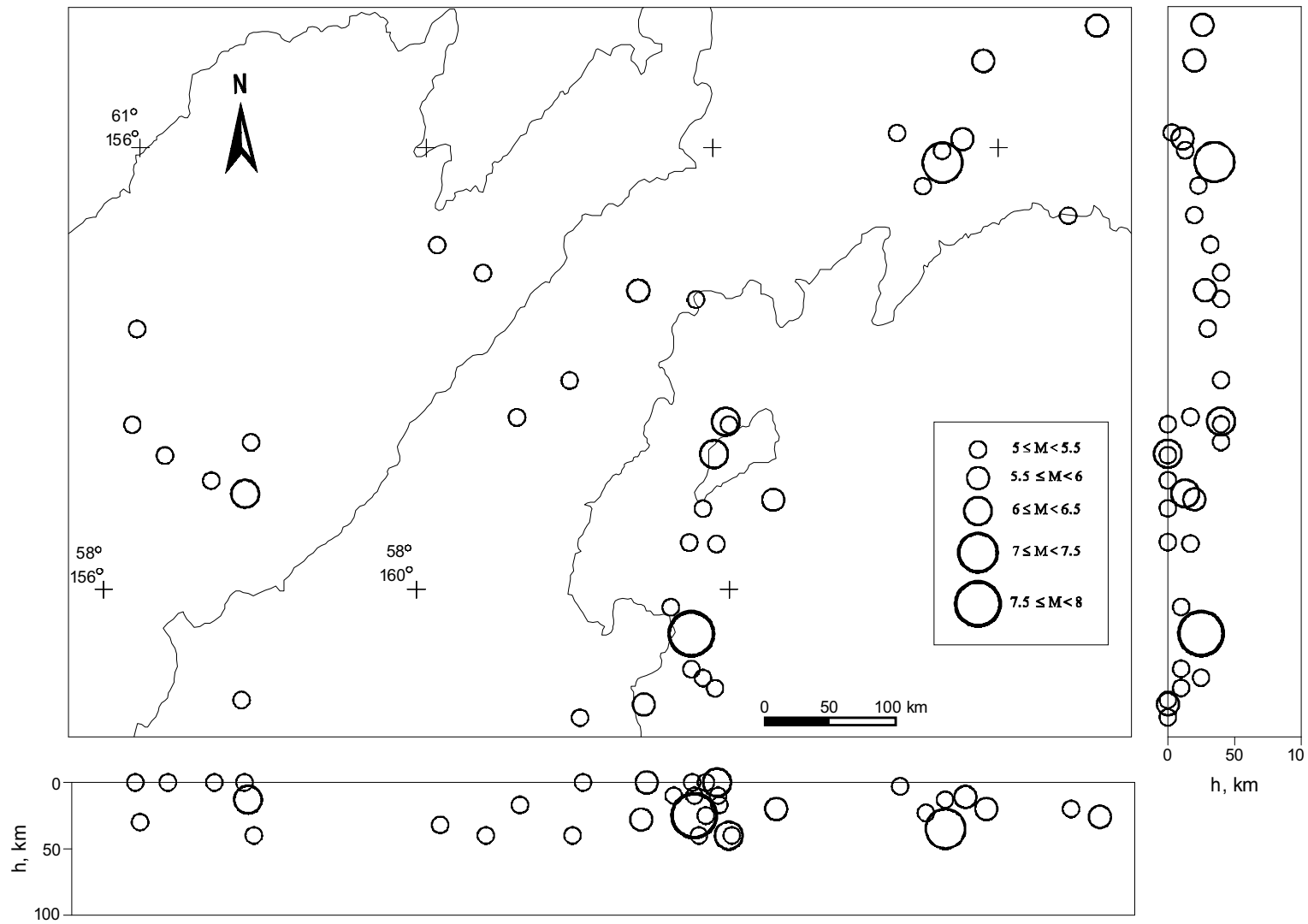
1 - epicenters of earthquakes; 2 - volcanoes; 3 - deeper fault zones; 4 - faults with surface breaks; 5 - aseismic front.





**Рис. 5.** Карта эпицентров землетрясений северной части Камчатки ( $M \geq 3$ ).

**Fig. 5.** A map of epicenters of earthquakes of the northern part of Kamchatka region ( $M \geq 3$ ).



**Рис. 6.** Карта эпицентров сильных землетрясений северной части Камчатки ( $M \geq 5$ ).

**Fig. 6.** A map of epicenters of larger earthquakes of the northern part of Kamchatka region ( $M \geq 5$ ).

сейсмичности был проведен на качественном уровне и не дал убедительных свидетельств в пользу предложенной авторами модели.

Ермаков В.А. (1993) рассмотрел тектонические предпосылки изучения сейсмичности Камчатки на основе составленной им карты четвертичной тектоники. Большую роль в контроле сейсмичности автор отвел субширотным сбросо-сдвигам, которые, как он считает “определяют коровую сейсмичность континентальной суши и ближайшей акватории”.

Кожурин А.И. (1988, 2003, 2004), изучавший в последние годы активные разломы Камчатки, выделил три основных зоны разломов, которые могут контролировать сейсмичность: крупную зону разломов, протянувшуюся вдоль Восточного хребта (правый сдвиг), более мелкую зону разломов Срединного хребта (предположительно сбросы) и зону сбросов, протягивающуюся вдоль оси Восточно-Камчатского вулканического пояса. Ранее последнюю зону описывали В.А. Леглер (1978) и И.В. Флоренский и В.Г. Трифонов (1985). Все эти зоны разломов имеют СВ простирание. Основное значение А.И. Кожурин придает зоне разломов Восточного хребта, которую он сравнивает с такими известными сдвигами, как Альпийский в Новой Зеландии, Срединная линия Японии или Филиппинский разлом на Филиппинах.

Современную коровую сейсмичность на Камчатке трудно объяснить с позиций какой-либо из тектонических схем. С позиций тектоники плит, «клавишной модели», должны были бы быть активны разломы СЗ простирания, но этого нет. С позиций рифтогенеза (Ермаков) землетрясения должны были бы быть сбросового типа, но и этого нет. С позиций “сдвиговых” моделей (Леглер, Кожурин, Флоренский, Трифонов) сейсмичность должна была бы подчеркивать существование продольных сдвигов, прежде всего Восточно-Камчатского (Начикинско-Кумрочского, по Леглеру), но и этого нет.

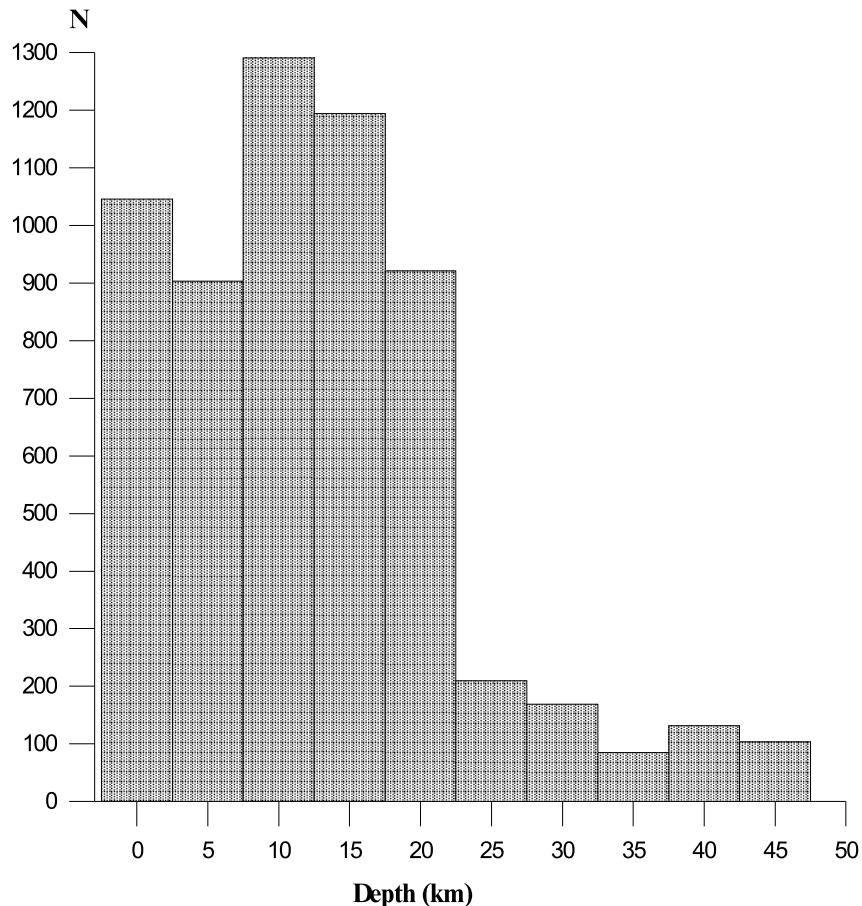


Рис. 7. Распределение коровых землетрясений Камчатки по глубине.

Fig. 7. The depth distribution of crustal earthquakes of Kamchatka mainland.

Большой интерес представляет сопоставление слабой сейсмичности и данных о неотектонике. На Рис. 2 показаны разломы суши Камчатки, активные в голоцене, по А.И. Кожурину (Kozhurin, 2004). Видно, что имеется определенное соответствие между эпицентрами и активностью разломов в голоцене. Многие рои 40-летнего периода явно привязаны к молодым разломам. Некоторые цепочки эпицентров трассируют линеаменты, совпадающие с приведенными разломами полностью или частично. При рассмотрении карты следует иметь в виду, что существенная часть разломов имеют наклонную поверхность разрыва (взбросы, взбросо-сдвиги и т.п.), так что эпицентры связанных с ними землетрясений могут находиться в стороне от линии выхода разлома на дневную поверхность. Распределение гипоцентров землетрясений по глубине (Рис. 7) показывает что наибольшее количество коровых землетрясений сконцентрировано на глубинах не превышающих 20-25 км. Эти землетрясения могут быть связаны с активными разломами в верхней части коры, следы которых отмечаются на поверхности.

### **Обсуждение и выводы**

В работе дано первое обобщение материалов о тектонических землетрясениях суши Камчатки. Эти данные пока не позволяют провести систематический анализ происходящих здесь геомеханических процессов. Неясно, как организована система относительно жестких блоков и подвижных разломных зон между ними, каково среднее направление сеймотектонической деформации. Концепция Кожурина о едином тектоническом линеаменте с преимущественно право-сдвиговым типом движения представляет большой интерес; но не исключено, что ей суждена роль рабочей гипотезы. Отметим, что ранее примерно по той же линии Леглер предполагал наличие левого сдвига. Масштабы движений вне линеамента по Кожурину (Срединный хр., Ганальский хр. и бассейн верхней Авачи) вполне сопоставимы с движениями в пределах линеамента, что наводит на мысль о менее организованной структуре (типа «битая тарелка»). Именно на такую слабо организованную структуру может указывать лишенная ярких черт картина слабой сейсмичности.

Для прикладных целей особый интерес представляет сейсмическая опасность землетрясений суши Камчатки. Низкая повторяемость и отсутствие крупномасштабных структур сильно затрудняют районирование территории по уровню местной сейсмической активности. Особенно трудна проблема оценки максимальной магнитуды. Методы сейсмогеологии будут, вероятно, преобладающими в рекогносцировочной оценке сейсмоопасности от землетрясений суши Камчатки. Однако для надежных оценок понадобится развертывание локальных сейсмических сетей. Существующая редкая сеть станций не обеспечивает достаточно аккуратных оценок эпицентров и особенно глубин, в результате затрудняется сопоставление слабой сейсмичности и геологически выявленных разломов.

Для выявления структурной организации и характера сеймотектонических движений предстоит еще большая работа по дальнейшему сбору и сопоставлению данных слабой сейсмичности, сейсмогеологии и неотектоники.

### *Литература*

1. Баранов Б.В., Викулин А.В., Лобковский Л.И. Мелкофокусная сейсмичность в тылу Курило-Камчатской островной дуги и ее связь с сильнейшими землетрясениями в зоне поддвига, *Вулканология и сейсмология*, № 6, стр. 73-84, 1989.
2. Горельчик В.И., Зобин В.М., Токарев П.И. Сейсмичность вулканов, *Вулканология и сейсмология*, № 6, стр. 61-77, 1987.
3. Горячев А.В. Основные закономерности тектонического развития Курило-Камчатской зоны, М., Наука, 1966. 235 с.

4. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Геометрия сейсмоактивного объема коры и верхней мантии района Камчатки и Командорских островов // Исследования по физике землетрясений. М., Наука, с.194-200, 1975.
5. Ермаков В.А. Тектонические предпосылки изучения сейсмичности Камчатки // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М., ИФЗ РАН, с. 228-239, 1993.
6. Заварицкий А.Н. Линейное расположение вулканов Камчатки, Тр. XVII сессии Международного Геол. Конгресса, М., 1937.
7. Заварицкий А.Н. Об изучении движений земной коры на Камчатке // Избранные труды. Том 1. Изд. АН СССР. М., с. 464-472, 1956.
8. Кожурин А.И. Курило-Камчатская островная дуга: неотектоническое картирование, позднечетвертичные структуры Центральной Камчатки, тектоническая слоистость литосферы в Центральной Камчатке, некоторые основные особенности неотектонических структур Тихоокеанского подвижного пояса // Неотектоника и современная геодинамика подвижных поясов. М. Наука, с. 67-115, 135-151, 1988.
9. Кондорская Н.В., В.И.Тихонов. К вопросу о сейсмичности и тектонике Камчатки и северной части Курильской гряды, Докл. АН СССР, 130, №1, 1960.
10. Леглер В.А. Новейшие разломы и горизонтальные тектонические движения Восточной Камчатки: Автореф. канд. дисс., Хабаровск, 24 с., 1978.
11. Леонов В.Л., Иванов В.В. Землетрясения Карымского вулканического центра и их связь с тектоникой, Вулканология и сейсмология, № 2, с. 24-40, 1994.
12. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г., М., Наука, 576 с., 1977.
13. Токарев П.И. Асачинский рой землетрясений и его природа (Камчатка, март-апрель 1983 г.), Вулканология и сейсмология, № 3, 1984.
14. Токарев П.И. Извержения и сейсмический режим Карымского вулкана в 1965-1986 гг., Вулканология и сейсмология, № 2, с. 3-13, 1989.
15. Уланов А.С. К материалам по сейсмологии Дальнего Востока. Изв. Дальневосточного геофизич. Ин-та., вып. I (VIII), с. 101-138, 1931.
16. Федотов С.А., Гусев А.А., Чернышева Г.В., Шумилина Л.С. Сейсмофокальная зона Камчатки (геометрия, размещение очагов землетрясений и связь с вулканизмом). Вулканология и сейсмология, № 4, с. 91-107, 1985.
17. Федотов С.А., Шумилина Л.С., Чернышева Г.В. Сейсмичность Камчатки и Командорских островов по данным детальных исследований, Вулканология и сейсмология, № 6, стр. 29-60, 1987.
18. Флоренский И.В., Трифонов В.Г. Неотектоника и вулканизм Восточно-Камчатской вулканической зоны. Геотектоника, № 4, с. 78-87, 1985.
19. Широков В.А., Иванов В.В., Степанов В.В. О глубинном строении вулкана Карымского и особенностях его сейсмичности по данным локальной сети, Вулканология и сейсмология, № 3, стр. 71-80, 1988.
20. Kozhurin A.I. Active faulting in Kamchatka – a probable source of strong seismicity // Abstracts of 3<sup>rd</sup> International Workshop Basement Volcanoes Interplay and Human Activities. August 23-25, 2003, Kamchatka, Russia. Petropavlovsk-Kamchatsky, p. 12, 2003.
21. Kozhurin A.I. Active faulting of the Eurasian, North American and Pacific plates junction. Tectonophysics, 380, p. 273-285, 2004.