

УДК 550.34

МЕЛКОФОКУСНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ П-ОВА КАМЧАТКА

© 2006 г. Е. И. Гордеев¹, А. А. Гусев¹, В. И. Левина², В. Л. Леонов¹, В. Н. Чебров²

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

²Камчатский филиал ИС РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

Поступила в редакцию 05.05.2005 г.

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 активных разломов, которые, однако, не образуют ярко выраженных линейментов. Наиболее четко проявились за 40 лет участки повышенной концентрации эпицентров землетрясений на хребтах Срединном, Кумроч, Тумрок, Валагинском, Ганальском, в Шапинском грабене и в Восточном вулканическом поясе. Полоса относительно слабой сейсмичности протягивается на север к Парапольскому долу и Корякскому нагорью. В работе не рассматриваются землетрясения, связанные с вулканической деятельностью.

ВВЕДЕНИЕ

Камчатка известна частыми и сильными землетрясениями в зоне субдукции. Мелкофокусная сейсмичность сейсмофокальной зоны ограничена с запада резкой тыловой границей [6, 24], проходящей по полуостровам Восточной Камчатки (рис. 1, 2). 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 Северный Кавказ.

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 грани 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 одновремен-

но создающие существенную сейсмическую опасность в эпицентральной зоне.

Анализу вулканических землетрясений посвящен ряд статей в этом выпуске журнала, здесь мы не будем рассматривать их сколько-нибудь детально.

Исторические сведения о сейсмичности суши Камчатки крайне ограничены. Имеется большое число сообщений о землетрясениях в районе г. Ключи, интенсивностью 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 г. Елизово) в 1827 г. сопровождалось извержением Авачинской сопки и, вероятно, также имеет вулкано-тектонический характер. Отмеченное СП. Крашенинниковым в 1740 г. землетрясение (около 8 баллов) на р. Облуковинной в Срединном хребте - наиболее яркий известный пример сильного тектонического землетрясения суши Камчатки, в "Новом Каталоге" [18] ему приписана $M = 6.5 \pm 1$.

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

За период инструментальных наблюдений по телесеismicким данным (1900-1961 гг.) 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

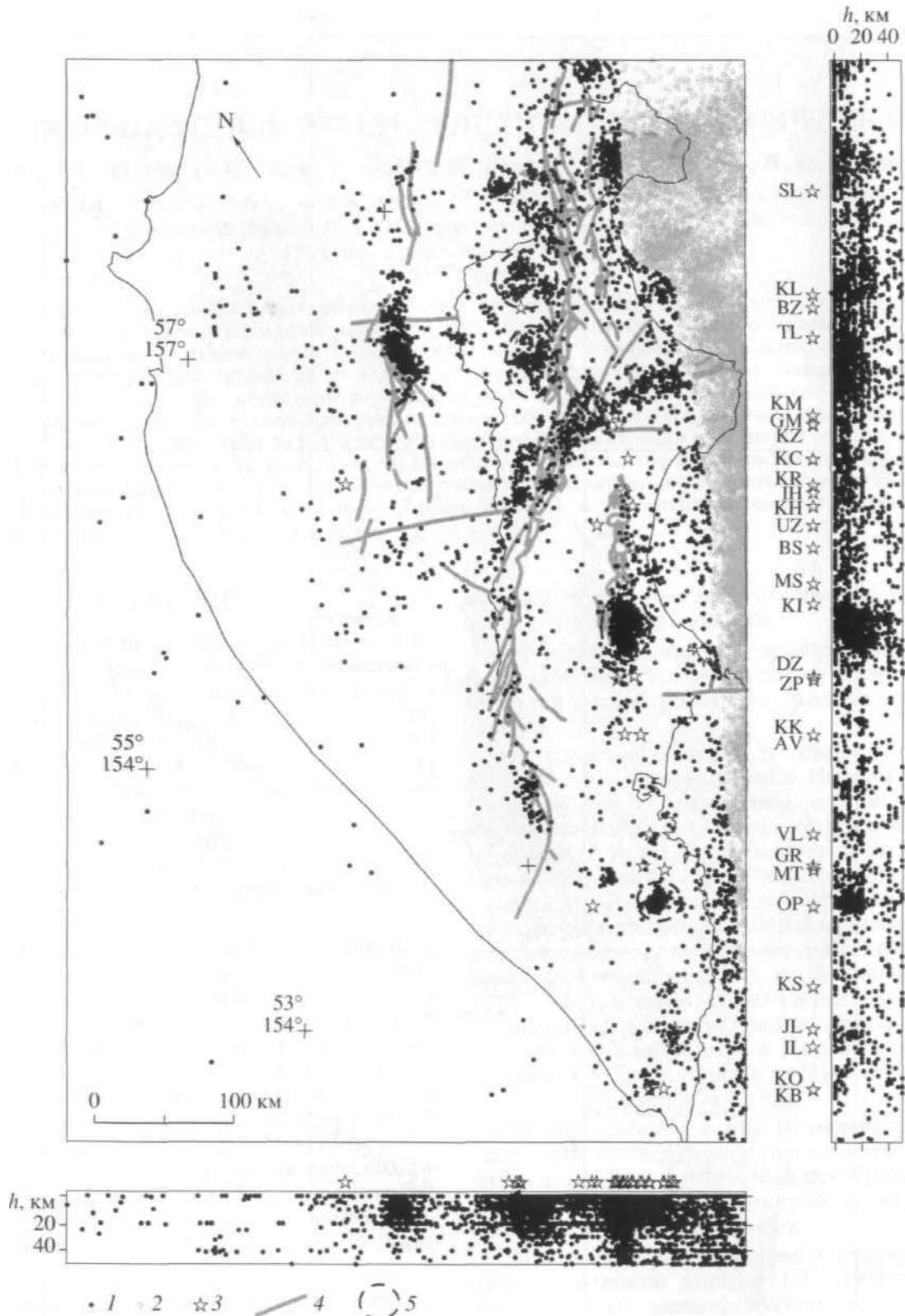


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Камчатки и вертикальные разрезы вдоль и вкост фокальной зоны ($M > 3$): 1 - эпицентры землетрясений, расположенных к западу от западной границы фокальной зоны, выделенной в [2, 24] на глубинах 26-50 км; 2 - то же самое, но эпицентры расположены восточнее этой границы; 3 - вулканы; 4 - активные разломы по [34]; 5 - области локализации "вулканотектонических" землетрясений. Названия вулканов см. на рис. 1.

влк. Кизимен: "увалы местами сползли, лесу напало очень много, почва на тундре местами лопнула, образовались глубокие трещины, которые затекли водой" [21]. Это землетрясение, вероятно, произошло в Шапинском грабене.

Инструментальные наблюдения региональной сейсмической сети. 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 $K_{\Phi 68}^{s_{1,2}}$ [22] или M через K_0 или M_0 . Для полосы Восточное побережье - Срединный хребет с 1961 по 2003 г. $K_0 = 9$ (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 Паропольский дол - Каменское - Пахачи и Корякского нагорья $K_0 = 10.5$, или $M_0 = 4.5$.

В настоящей работе исследовались землетрясения за 1962-2003 гг., расположенные западнее "тыловой границы" фокальной зоны, выявленной в [6, 24]. Она построена с учетом положения гипоцентров землетрясений на глубинах 26-50 км. Диапазон глубин исследуемой в настоящей работе совокупности землетрясений: 0-50 км. Диапазон магнитуд (классов K) - без ограничений. Пространственное положение очагов показано на рис. 2.

Землетрясения, приуроченные к вулканам, могут отражать процессы, связанные с локальными тектоническими движениями, вызванными внедрением магматических расплавов. Такие землетрясения называются "вулcano-тектоническими" и в данной работе детально не рассматриваются. К "вулcano-тектоническим" землетрясениям отнесены все коровые землетрясения в радиусе 10-15 км от активных вулканов, проявляющих выраженную сейсмическую активность.

Наиболее выраженными очаговыми зонами слабых тектонических землетрясений являются районы Срединного хребта и Шапинского грабена. На рис. 2 области тектонических землетрясений из районов Срединного хребта и Шапинского грабена и "вулcano-тектонических" землетрясений, выделены пунктирными линиями.

Для расчетов повторяемости был составлен каталог землетрясений с моментной магнитудой M_w . Энергетические оценки землетрясений Кам-

чатки в виде значения классов шкалы $K_{\Phi 68}^{s_{1,2}}$ в настоящее время автоматически преобразуются в величины локальной магнитуды ML по формуле:

$$ML = 0.5K_{\Phi 68}^{s_{1,2}} - 0.75.$$

Для относительно слабых землетрясений по данным $K_{\Phi 68}^{s_{1,2}}$ может быть построена приближенная оценка моментной магнитуды M_w , для чего используется формула

$$M_w = 0.5K_{\Phi 68}^{s_{1,2}} - 0.82.$$

Для более сильных землетрясений ($ML > 4.5$) значения M_w определяются по следующей схеме:

- 1 - если есть оценка $M_w(HRV)$ (Гарвард), принималось это значение;
- 2 - если есть оценка $M_s(NEIS)$, то это значение пересчитывалось в $M_w(M_s_{NEIS})$ по магнитудным соотношениям из [5];
- 3 - если есть оценка MLH/MS (Обнинск), то это значение пересчитывалось в $M_w(MLH_{OBN}_{KKY})$ по магнитудным соотношениям из [5] для региона Камчатка-Курилы-Япония;
- 4 - если этих оценок нет, то M_w вычисляется по вышеупомянутой формуле $M_w = 0.5K_{\Phi 68}^{s_{1,2}} - 0.82$. Эта же формула применяется для всех землетрясений с $ML < 4.5$.

Для полученного таким образом каталога построены кумулятивные графики повторяемости (рис. 3). По данным графикам можно сделать следующие выводы:

- представительными землетрясениями на суше можно считать события приблизительно с уровня $M_w > 3.5$;
- вклады "вулcano-тектонических" и "тектонических" землетрясений в общий каталог приблизительно одинаковы;
- для каждой из трех совокупностей наблюдается отклонение вверх от прямолинейного графика в области больших магнитуд. Достаточно надежно это видно только для районов Срединного хребта и Шапинского грабена.

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 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

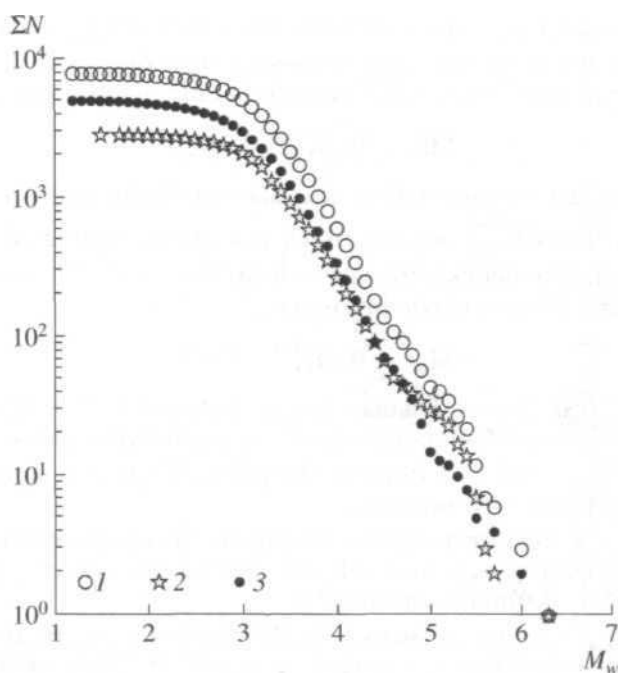


Рис. 3. Кумулятивные графики повторяемости для мелкофокусных землетрясений полуострова Камчатка: 1 - для совокупности всех землетрясений; 2 - для землетрясений из вулканических районов; 3 - для совокупности тектонических землетрясений.

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 гг. 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. 4). В 1962-1971 гг. наиболее примечательные события — это рой тектонических землетрясений с максимальной магнитудой $M = 5.5$ в Шапинском грабене [23], интенсивный рой в районе Козыревско-Быстринских поднятий (Срединный хребет) [23], рой слабых землетрясений в Ганальском хребте [28]. Кроме этого, произошли рои вулканических землетрясений на вулкане Шиве-

луч (1964 г.) [29] и в районе вулкана Карымский в Восточно-Камчатском вулканическом поясе [20].

В 1972-1981 гг. продолжается сейсмическая активность в Срединном хребте (Козыревско-Быстринские поднятия) [27], слабый рой тектонических землетрясений на севере Кроноцкого полуострова [25], интенсивный рой вулкано-тектонических землетрясений во время Большого трещинного Толбачинского извержения (1975-1976 гг.) [26] и слабый рой в районе Карымского вулкана [20, 11].

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 вулкана Асача (1983 г.) [19].

В 1992-2003 гг. произошло наиболее примечательное событие в сейсмическом режиме на суше Камчатки - это тектоническое землетрясение 01 января 1996 г. в районе вулкана Карымский с магнитудой $M = 6.7$. Главное событие сопровождалось интенсивным афтершоковым процессом. Кроме этого, почти одновременно с основным землетрясением начались извержения вулкана Карымский и Нового эруптивного центра в Карымском озере [2, 14].

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 концентрация землетрясений в районе Северной группы вулканов [3], вблизи вулканов: Карымский [32, 20, 17, 2, 14], Асача [19], Желтовский [15] 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. 5 приведена карта эпицентров относительно сильных землетрясений суши Камчатки за 40 лет. Картина рассеянной сейсмичности с наибольшим числом локальных сгущений видна и здесь.

На рис. 6 представлена сейсмичность северной части п-ова Камчатка и прилегающей части Азиатского материка. Наиболее выражена здесь полоса сейсмичности от зал. Озерной к проливу Литке и далее на север. Здесь предположительно протягивается граница между Северо-Американ-

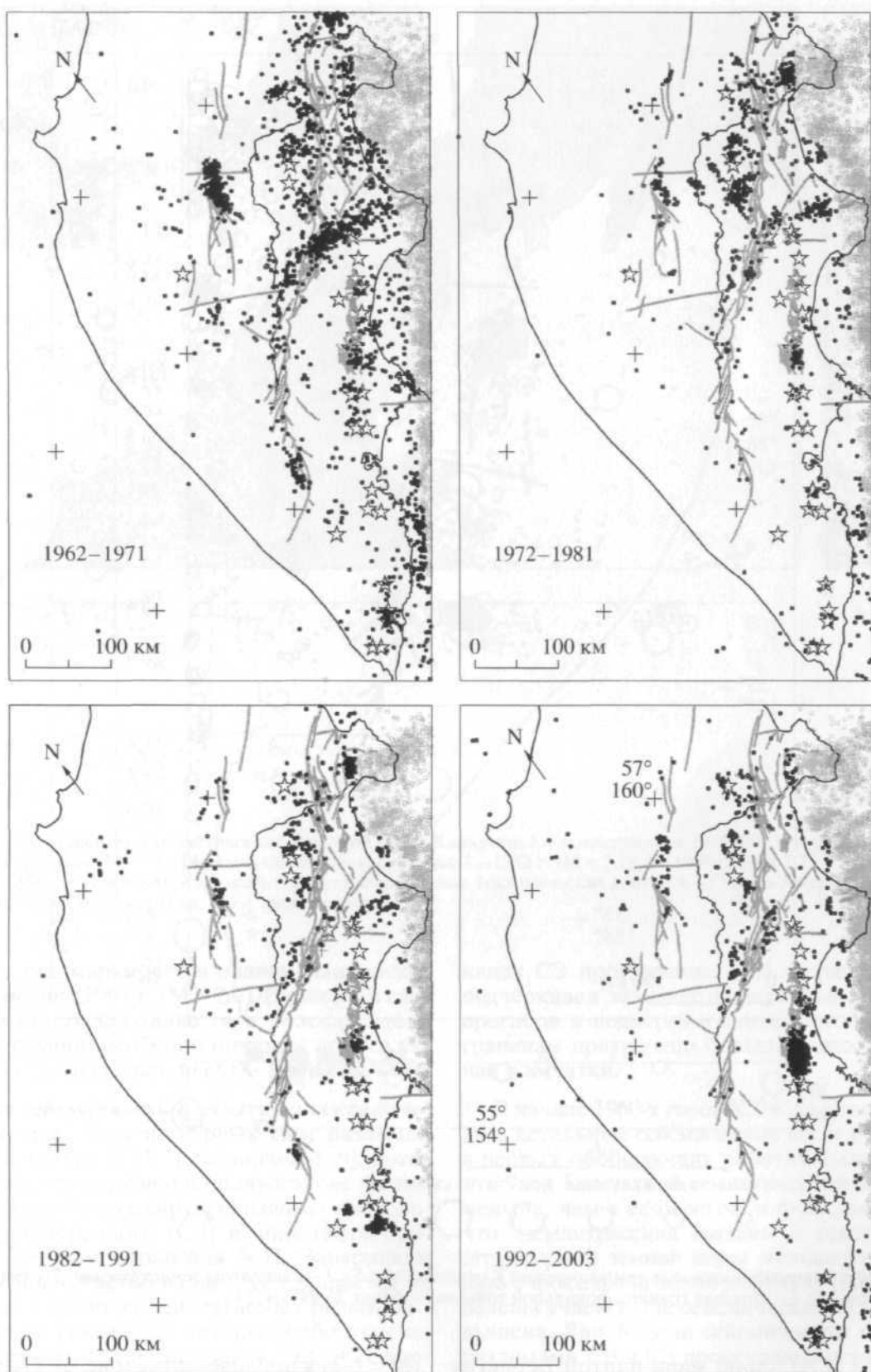


Рис. 4. Распределение эпицентров землетрясений на территории Камчатки по десятилетиям ($M > 3$). Услов. обозн. см. на рис. 2.

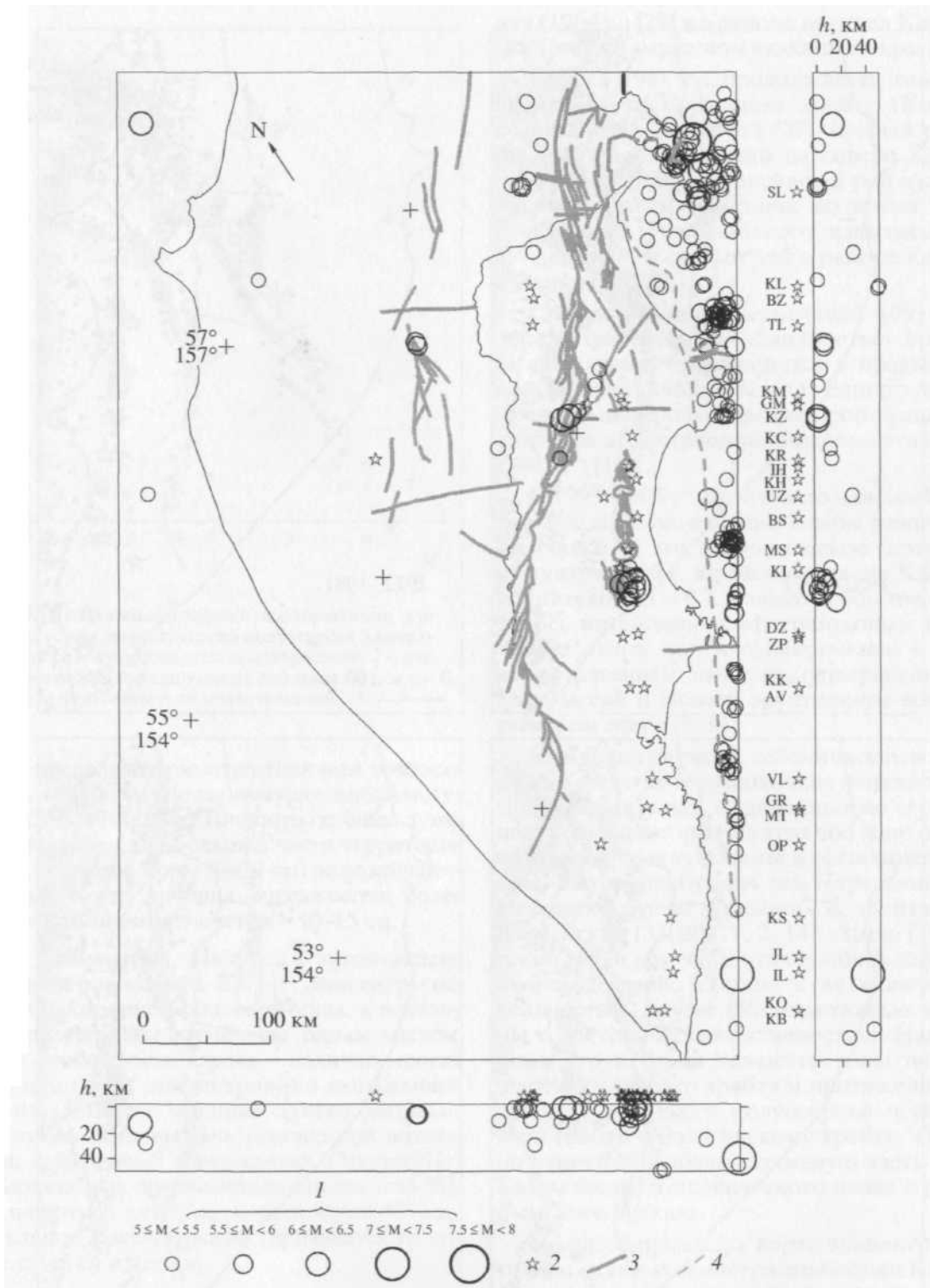


Рис. 5. Карта эпицентров сильных землетрясений Камчатки ($M > 5$): 1 - эпицентры землетрясений; 2 - вулканы; 3 - разломы (рис. 2); 4 — западная граница фокальной зоны на глубинах 25-60 км [24].

ской плитой (СА), (либо мини-плитой Берингия (БЕ)) и Охотоморской плитой (ОХ). На этой границе располагаются очаги землетрясений 1943 г. ($M = 7.1$) и 1969 г. ($M = 7.7$) у п-ова Озерной и 1976 г.

($M = 6.3$) в проливе 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 уз-

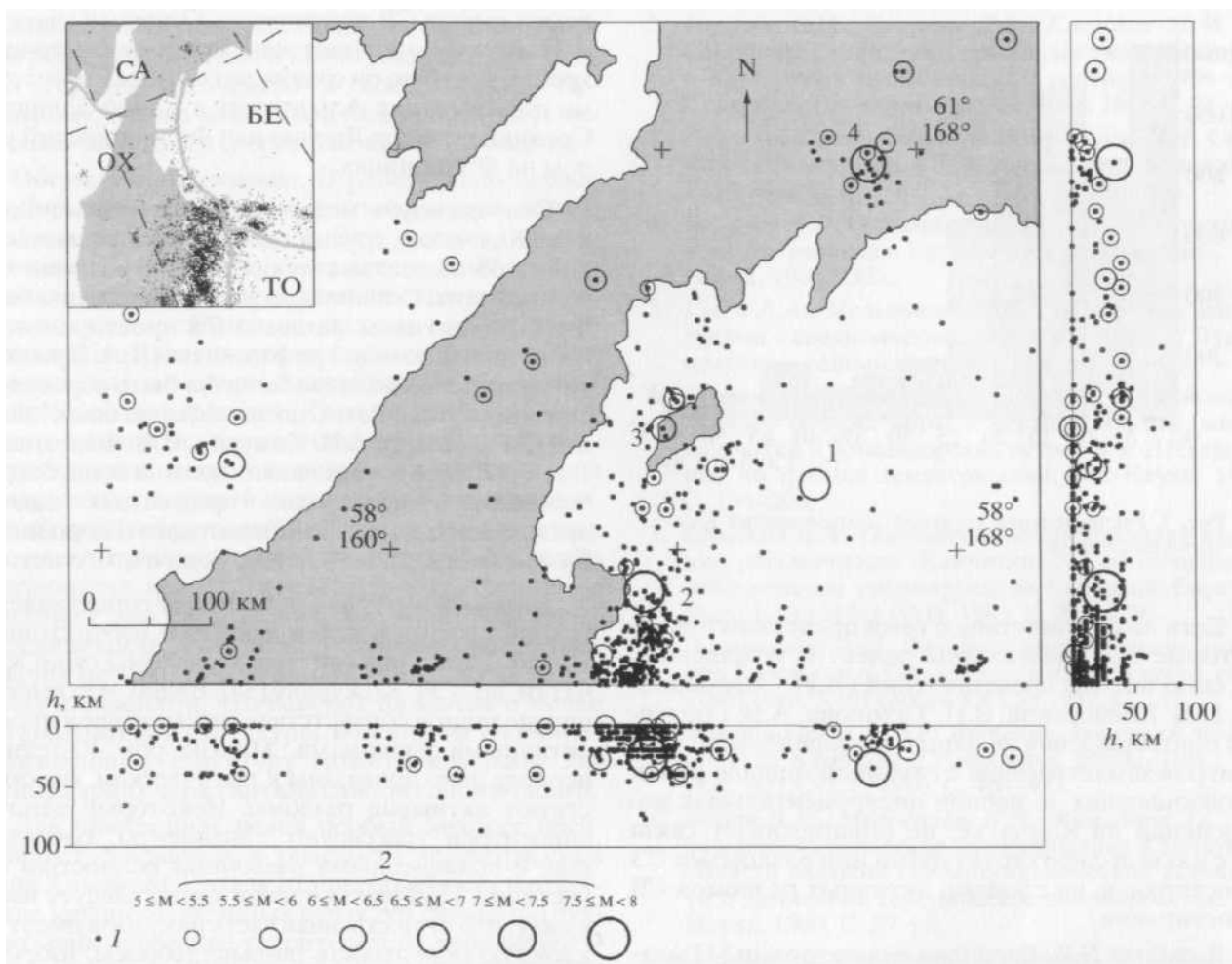


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений северной части Камчатки: 1 - землетрясения 1962-2003 гг. ($M > 3$); 2 - сильные землетрясения ($M > 5$). Цифрами обозначены события: 1 - 1943 г. ($M = 7.1$); 2 - 1969 г. ($M = 7.7$); 3 - 1976 г. ($M = 6.3$); 4 - 1991 г. ($M = 7.0$). На врезке показано расположение тектонических плит: СА - Северо-Американская, БЕ - Берингия, ОХ - Охотоморская, ТО - Тихоокеанская.

ла на север, она маркируется очагом Хаилинско-го землетрясения 1991 г. ($M = 7.0$). 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 [8, 9], 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. Н.В. Кондорская и В.И. Тихонов [13] считали, что сгущение эпицентров землетрясений в районах Шипунского и Кроноцкого полуостровов связано с современным развитием доплиоценовых складок, име-

ющих СЗ простирание. А.В. Горячев [4] особо подчеркивал значение поперечных наложенных прогибов и поднятий и считал, что именно к их границам приурочено больше всего землетрясений Камчатки.

В начале 1960-х годов XX в. 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" [30]. 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.

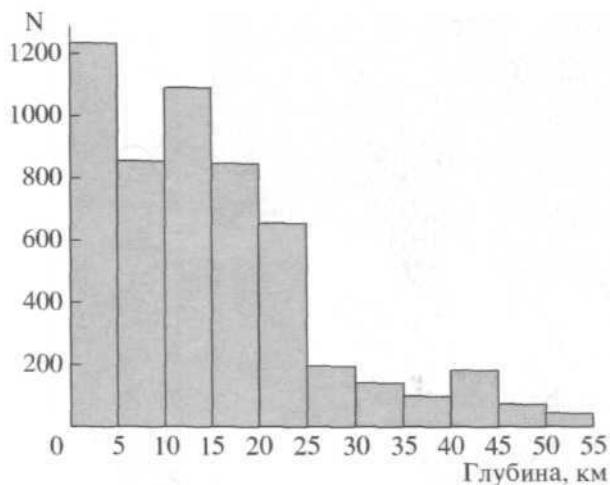


Рис. 7. Распределение коровых землетрясений Камчатки по глубине.

Есть ли соответствие с теми представлениями, которые были высказаны ранее? К сожалению, ни одно из этих представлений (А.Н. Заварицкого, Н.В. Кондорской, В.И. Тихонова, А.В. Горячева) подтверждения не нашло. 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 [1] мелкофокусная сейсмичность в тылу Курило-Камчатской островной дуги рассмотрена с позиций "клавишной модели", в плане ее связи с сильнейшими землетрясениями в сейсмофокальной зоне. Анализ сейсмичности был проведен на качественном уровне и не дал убедительных свидетельств в пользу предложенной авторами модели.

В.А. Ермаков [7] 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".

А.И. Кожурин [12,33,34], 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 Среднего хребта (предположительно сбросы) и зону сбросов, протягивающуюся вдоль оси Восточно-Камчатского вулканического пояса. Ранее последнюю зону описывали В.А. Леглер [16], И.В. Флоренский и В.Г. Трифионов [31]. Все эти зоны раз-

ломов 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 мелкофокусную сейсмичность п-ва Камчатка 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 (В.А. Ермаков) землетрясения должны были бы быть сбросового типа, но и этого нет. С позиций "сдвиговых" моделей (В.А. Леглер, А.И. Кожурин, И.В. Флоренский, В.Г. Трифионов) сейсмичность должна была бы подчеркивать существование продольных сдвигов, прежде всего Восточно-Камчатского (Начикинско-Кумрочского, по В.А. Леглеру), но и этого нет.

Большой интерес представляет сопоставление слабой сейсмичности и данных о неотектонике. На рис. 2 показаны активные разломы суши Камчатки, по А.И. Кожурину [34]. Видно, что имеется определенное соответствие между эпицентрами и активными разломами. Многие рои 40-летнего периода явно привязаны к тем участкам, где существуют активные разломы. Некоторые цепочки эпицентров трассируют линеаменты, совпадающие с приведенными разломами полностью или частично. При рассмотрении карты следует иметь в виду, что существенная часть разломов имеет наклонную поверхность разрыва (сбросы, 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 показывать глубину проникновения активных разломов в верхней части земной коры.

В прикладном аспекте, при работах по детальному сейсмическому районированию, И.В. Мелекесцевым изучалась сейсмогеология окрестностей г. Петропавловска-Камчатского [10]. Он выявил здесь участки современных интенсивных горообразовательных движений, сопровождавшихся сильными местными землетрясениями. Индикаторами таких движений были сейсмодислокации: дизъюнктивные нарушения, скальные обвалы и оползни. В качестве участков возможных 8-9-балльных землетрясений отмечены: дно и борта грабена южной части Центральной Камчатской депрессии, районы рек Средней илевой Авачи, пос. Начики, пос. Ганалы, грабены рек Быстрой, Корякской, районы Налычевских горячих источников и Начикинского озера, п-ов Ши-

пунский. В качестве особо активных выделены районы рек Средней Авачи и Паратунки, Больше-Баных горячих источников и пос. Начики. По-видимому, оценка возможной балльности здесь несколько занижена и скорее близка к 9-10 баллам.

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 сейсмотектонической деформации. Концепция А.И. 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, В.А. Леглер предполагал наличие левого сдвига. Масштабы движений вне линеамента, по А.И. Кожурину (Срединный хр., Ганальский хр. и бассейн верхней Авачи), вполне сопоставимы с движениями в пределах линеамента, что наводит на мысль о менее организованной структуре. Именно на слабо организованную структуру может указывать лишенная ярких черт картина слабой сейсмичности.

Для прикладных целей особый интерес представляет сейсмическая опасность землетрясений суши Камчатки. Низкая их 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 сейсмотектонических движений предстоит еще большая работа по дальнейшему сбору и сопоставлению данных слабой сейсмичности, сейсмогеологии и неотектоники.

Авторы признательны А.И. Кожурину за предоставление файлов описания разломов [34].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Б.В., Видулин А.В., Лобковский Л.И. Мелкофокусная сейсмичность в тылу Курило-Камчатской островной дуги и ее связь с сильнейшими землетрясениями в зоне подвига // Вулканология и сейсмология. 1989. № 6. С. 73—84.
2. Гордеев Е.И., Дроздин Д.В., Касахара М. и др. Сейсмические явления, связанные с извержениями в Крымском вулканическом центре в 1996 г. // Вулканология и сейсмология. 1998. № 2. С. 28-48.
3. Горельник В.И., Зобин В.М., Токарев П.И. Сейсмичность вулканов // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 61-77.
4. Горячев А.В. Основные закономерности тектонического развития Курило-Камчатской зоны. М.: Наука, 1966. 235 с.
5. Гусев А.А., Мельникова В.Н. Связи между магнитудами — среднемировые и для Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1990. № 6. С. 55-63.
6. Гусев А.А., Шумилина Л.С. Геометрия сейсмоактивного объема коры и верхней мантии района Камчатки и Командорских островов // Исследования по физике землетрясений. М.: Наука, 1976. С. 194-200.
7. Ермаков В.А. Тектонические предпосылки изучения сейсмичности Камчатки // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М.: ИФЗ РАН, 1993. С. 228-239.
8. Заварицкий А.Н. Линейное расположение вулканов Камчатки // Тез. докладов на Междунар. геол. конгрессе, XVII сессия. СССР. 1937. С. 137.
9. Заварицкий А.Н. Об изучении движений земной коры на Камчатке // Избранные труды. Том 1. М.: Изд. АН СССР, 1956. С. 464-472.
10. Зобин В.М., Мелекесцев И.В., Шумилина Л.С. Детальное сейсмическое районирование Камчатки в области высокой сейсмовулканической активности // Детальное сейсмическое районирование. М.: Наука, 1980. С. 89-95.
11. Зобин В.М., Фирстов П.П., Иванова Е.И. Рой землетрясений в районе вулкана Крымский в январе-феврале 1978 года // Вулканология и сейсмология. 1983. № 5. С. 64-73.
12. 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, 1988. С. 67-115, 135-151.
13. Кондорская Н.В., Тихонов В.И. К вопросу о сейсмичности и тектонике Камчатки и северной части Курильской гряды // Докл. АН СССР. 1960. Т. 130. № 1. С. 146-149.
14. Левина В.И., Иванова Е.И., Гордеев Е.И. и др. Крымское землетрясение 1 января 1996 г. ($M_s = 7.0$) // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. М.: ГС РАН, 2002. С. 129-137.
15. Левина В.В., Фирстов П.П., Зобин В.М. Сейсмичность Паужетского геотермального района на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1980. № 2. С. 81-97.
16. Леглер В.А. Новейшие разломы и горизонтальные тектонические движения Восточной Камчатки: Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Хабаровск. 1978. 24 с.

17. *Леонов В.Л., Иванов ВВ.* Землетрясения Карымского вулканического центра и их связь с тектоникой // *Вулканология и сейсмология.* 1994. № 2. С. 24-40.
18. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 576 с.
19. *Токарев ПИ.* Асачинский рой землетрясений и его природа (Камчатка, март-апрель 1983 г.) // *Вулканология и сейсмология.* 1984. № 3. С. 3-13.
20. *Токарев П.И.* Извержения и сейсмический режим Карымского вулкана в 1965-1986 гг. // *Вулканология и сейсмология.* 1989. № 2. С. 3-13.
21. *Уланов АС.* К материалам по сейсмологии Дальнего Востока // *Изв. Дальневосточного геофизического ин-та.* Вып. I (VIII). 1931. С. 101-138.
22. *Федотов С.А.* Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.
23. *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. // *Землетрясения в СССР в 1963 г.* М.: Наука, 1966. С. 167-194.
24. *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.* 1985. № 4. С. 91-107.
25. *Федотов С.А., Кондратенко А.М., Феофилактов В.Д., Токарев П.И.* Землетрясения Камчатки и Командорских островов // *Землетрясения в СССР в 1972 г.* М.: Наука, 1976. С. 132-145.
26. *Федотов С.А., Симбирева И.Г., Феофилактов В.Д. и др.* Землетрясения Камчатки // *Землетрясения в СССР в 1975 г.* М.: Наука, 1978. С. 111-114.
27. *Федотов С.А., Симбирева И.Г., Феофилактов В.Д., Матвиенко Ю.Д.* Землетрясения Камчатки и Командорских островов // *Землетрясения в СССР в 1974 г.* М.: Наука, 1977. С. 145-156.
28. *Федотов С.А., Токарев П.И., Годзиковская А.А., Зобин В.М.* Землетрясения Камчатки и Командорских островов // *Землетрясения в СССР в 1968 г.* М.: Наука, 1972. С. 189-211.
29. *Федотов С.А., Токарев П.И., Бобков М.Ф., Кузин И.П.* Землетрясения Камчатки и Командорских островов по данным детальных сейсмологических наблюдений // *Землетрясения в СССР в 1964 г.* М.: Наука, 1967. С. 166-184.
30. *Федотов С.А., Шумилина ЛС, Чернышева Г.В.* Сейсмичность Камчатки и Командорских островов по данным детальных исследований // *Вулканология и сейсмология.* 1987. № 6. С. 29-60.
31. *Флоренский И.В., Трифонов В.Г.* Неотектоника и вулканизм Восточно-Камчатской вулканической зоны // *Геотектоника.* 1985. № 4. С. 78-87.
32. *Широков В.А., Иванов В.В., Степанов ВВ.* О глубинном строении вулкана Карымского и особенностях его сейсмичности по данным локальной сети // *Вулканология и сейсмология.* 1988. № 3. С. 71-80.
33. *Kozhurin A.I.* Active faulting in Kamchatka - a probable source of strong seismicity // *Abstracts of 3rd International Workshop Basement Volcanoes Interplay and Human Activities.* August 23-25. 2003. Kamchatka. Russia. Petropavlovsk-Kamchatsky. 2003. P. 12.
34. *Kozhurin A.I.* Active faulting of the Eurasian, North American and Pacific plates junction // *Tectonophysics.* 2004. V. 380. P. 273-285.

Shallow Earthquakes in the Kamchatka Peninsula

E. I. Gordeev¹, A. A. Gusev¹, V. I. Levina², V. L. Leonov¹, V. N. Chebrov²

¹ *Institute of Volcanology and Seismology, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, Russia*

² *Kamchatka Branch, Geophysical Service, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, Russia*

This paper presents a review of tectonic seismicity in mainland Kamchatka, in a band west-northwest of the Kuril-Kamchatka subduction zone. The historical seismicity for this area is almost unknown. Paleoseismological data indicate appreciable seismicity rates there. Hundreds of small and moderate earthquakes have been recorded during the period of detailed observation (the last 40 years). These events frequently occurred in clusters. The clusters and discrete epicenters were frequently confined to known or hypothetical active fault zones that do not however form well-defined lineaments. The best defined locations of concentrated seismicity during the last 40 years include the Sredinnyi, Kumroch, Tumrok, Valagino, and Ganal ranges, the Shchapino graben, and the Eastern volcanic range. A band of comparatively low-magnitude seismicity is extending northward in the direction of the Parapol valley and the Koryak highland. Earthquakes related to volcanic activity are not considered.