

УДК

СЕЙСМИЧНОСТЬ КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА 1962–2011 гг.

© 2013 г. В. И. Левина¹, А. В. Ландер², С. В. Митюшкина³, А. Ю. Чеброва³

¹Геофизическая служба РАН

249030 Обнинск Калужской обл., пр. Ленина, 189,

e-mail: vlr.levina@gmail.com

²Международный Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН

117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32,

e-mail: land@mitp.ru

³Камчатский филиал Геофизической службы РАН

683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9,

e-mail: mitik@emsd.ru

Поступила в редакцию 14.03.2012 г.

Представлен обзор сейсмичности Камчатки за 50-летний период наблюдений. На основе полученных данных проведена регионализация сейсмоактивного объема Камчатки и прилегающих областей. Выделено 10 зон, различных по своей активности и природе сейсмичности. Представлен сравнительный анализ сейсмичности наиболее активных зон. Обнаружено существенное различие в строении южного и северного сегментов камчатского участка Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны. Сейсмологические данные подтвердили связь зоны субдукции с поддвижением Тихоокеанской плиты под Евразийскую. Данные 50-летнего периода наблюдений позволили выделить новый Корякский сейсмический пояс, охватывающий северо-западное побережье Берингова моря. Дан краткий обзор макросейсмических проявлений наиболее заметных землетрясений за период 1962–2010 гг.

DOI: 10.7868/S0203030613010057

ВВЕДЕНИЕ

Детальные сейсмологические наблюдения, начавшиеся на Камчатке в конце 1961 г., позволили собрать уникальные данные по региональной сейсмичности Камчатки и прилегающих к ней территорий. В течение 50-ти лет камчатскими исследователями проводились работы по сбору и накоплению сведений как о сильнейших землетрясениях, так и о многочисленных слабых событиях, происходящих в регионе. За это время создан региональный каталог землетрясений Камчатки, Командорских островов и прилегающих территорий, который насчитывает свыше 130 000 событий¹. Кроме каталога в банке сейсмологических данных также имеются подробные станционные данные о параметрах волн от зарегистрированных землетрясений, макросейсмические сведения об ощутимых событиях и фокальные механизмы сильных землетрясений. Полученный

за 50 лет сейсмологический материал предоставил многочисленным исследователям возможность изучения строения земной коры, взаимодействия литосферных плит, процессов, происходящих в очагах землетрясений. Исследования сейсмичности Камчатки по данным регионального каталога выполнялись С.А. Федотовым, А.А. Гусевым, И.П. Кузиным, Л.Б. Славиной, Л.С. Шуминой, В.М. Зобиным, П.И. Токаревым, Н.И. Селиверстовым и многими другими исследователями. Наиболее детально сейсмичность региона рассмотрена в работах [Федотов и др., 1974; Федотов и др., 1985; Федотов и др., 1987; Зобин, 1987; Гордеев и др., 2006; Структура ..., 2006; Ландер и др., 2010]. Годовые каталоги и соответствующие описания сейсмичности, а также статьи по сильным землетрясениям до 1992 г. публиковались в ежегодниках “Землетрясения в СССР” [Землетрясения ..., 1967–1991]. Начиная с 1992 г., соответствующие статьи и каталоги публикуются в ежегодном издании “Землетрясения Северной Евразии” [Землетрясения ..., 1992–2011].

¹ Региональный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов / Банк сейсмологических данных Камчатки и Командорских островов. Фонды Камчатского филиала ГС РАН. (http://data.emsd.iks.ru/dbquake.txt_min).

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

При определении координат землетрясений используется скоростная модель и годограф P - и S -волн, рассчитанные И.П. Кузиным и С.А. Федотовым [Кузин, 1974]. Положение гипоцентра, его основные параметры до 2010 г. определялись по программе А.А. Гусева [Гусев, 1979], а, начиная с 2010 г., был осуществлен переход на программу Д.В. Дрознина [Дрознин, Дрознина, 2010]. В качестве энергетических оценок землетрясений в каталоге используется энергетический класс $K_{S1,2}^{\Phi 68}$ [Федотов, 1972], класс K_C [Лемзиков, Гусев, 1989] и магнитуда по кода-волнам M_C [Гордеев и др., 1999], определяемая по записям длиннопериодной аппаратуры. Для некоторых наиболее сильных землетрясений класс $K_{S1,2}^{\Phi 68}$ определить невозможно из-за ограниченного динамического диапазона сейсмических станций. Для таких землетрясений используются формулы пересчета из телесейсмических магнитуд, либо класс по коде (K_C). Большинство энергетических характеристик сейсмичности, приводимых в данной работе, рассчитано исходя из класса $K_{S1,2}^{\Phi 68}$, единообразно определявшегося на протяжении основного периода наблюдений. В настоящей работе для всех типов энергетического класса используется единое обозначение K . Следует отметить, что оценка высвобожденной сейсмической энергии через класс K не всегда является объективной, поскольку отражает только ее высокочастотную часть, и не всегда согласуется с оценками, полученными через магнитуду.

На рис. 1 представлена карта эпицентров землетрясений с $K \geq 8.6$, зафиксированных в регионе в течение всего периода наблюдений с 1962 г. по март 2011 г. Основные черты сейсмичности региона, отмеченные в работе [Федотов и др., 1987] по данным 25-летних наблюдений, сохранились и на протяжении 50 лет. Основная масса землетрясений (75%) сосредоточена в пределах Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны (см. рис. 1). Глубины событий, зафиксированных в этой зоне, лежат в интервале $h = 0-700$ км. Доля поверхностных толчков ($h \leq 70$ км) составляет 93% от всех событий, происходящих в сейсмофокальной зоне (рис. 2). Сохранились также основные особенности зоны субдукции и ее геометрия, выявленные в работе [Федотов и др., 1985]. На территории п-ва Камчатка, в окрестностях Алеутского глубоководного желоба, на окраине Командорской котловины и в Корякском Автономном округе землетрясения располагаются в основном на глубинах

$h \leq 70$ км. В то же время наблюдаются некоторые изменения в характере сейсмичности региона. Так, начиная с 1991 г., значительно усилилась сейсмическая активность Корякского нагорья, считавшегося ранее асейсмичным районом. Более подробный анализ сейсмичности отдельных районов Камчатки и прилегающих территорий будет рассмотрен ниже.

На протяжении всего полувекового периода наблюдений представительным практически для всего каталога является значение $K_{\min} = 8.5$. Подавляющее число землетрясений находится внутри изолинии $K_{\min} = 8.5$ (см. рис. 1). С развитием сети сейсмических станций контур $K_{\min} = 8.5$ несколько расширился и захватывает почти весь Курило-Камчатский глубоководный желоб, западное побережье Камчатки, Северные Курильские острова и юго-западную окраину Берингова моря. В настоящее время существующая сеть сейсмических станций способна регистрировать без пропусков землетрясения с $K_{\min} \geq 9.5$ на всей территории региона.

На рис. 2 представлена диаграмма распределения по глубине всех землетрясений Камчатской сейсмофокальной зоны и представительных событий (минимальный представительный класс для событий поверхностного и промежуточного слоев зоны субдукции равен $K_{\min} = 9$, а для глубокого — $K_{\min} = 10$). Значительная часть всех землетрясений (81%) располагается в поверхностном слое на глубинах $h \leq 60$ км, затем число событий резко уменьшается и достигает своего минимума на глубине $h = 400$ км. Глубже число землетрясений несколько возрастает, а ниже 700 км землетрясения не фиксируются. Видно, что для представительных событий распределение по глубине имеет тот же характер, как и для полного набора данных. Распределения землетрясений по глубинам в остальных районах Камчатки будет приведено ниже.

По состоянию на 3 мая 2011 г. в региональном каталоге землетрясений имеется 132242 события в диапазоне классов $K = 2.6-15.9$. Самым высоким классом обладает землетрясение 24 ноября 1971 г. с $K = 15.9$, $M = 7.3^2$, произошедшее в Авачинском заливе на глубине $h = 110$ км. Самое глубокое землетрясение зафиксировано 13 января 2008 г. ($K = 10.0$) в южной части Камчатской сейсмофокальной зоны на глубине $h = 701$ км. Распределение числа землетрясений и высвобожден-

² Здесь и далее обозначение M относится к магнитуде M_W , или, если последняя отсутствует, к M_{HK} , или M_{LN} в табл. 2.

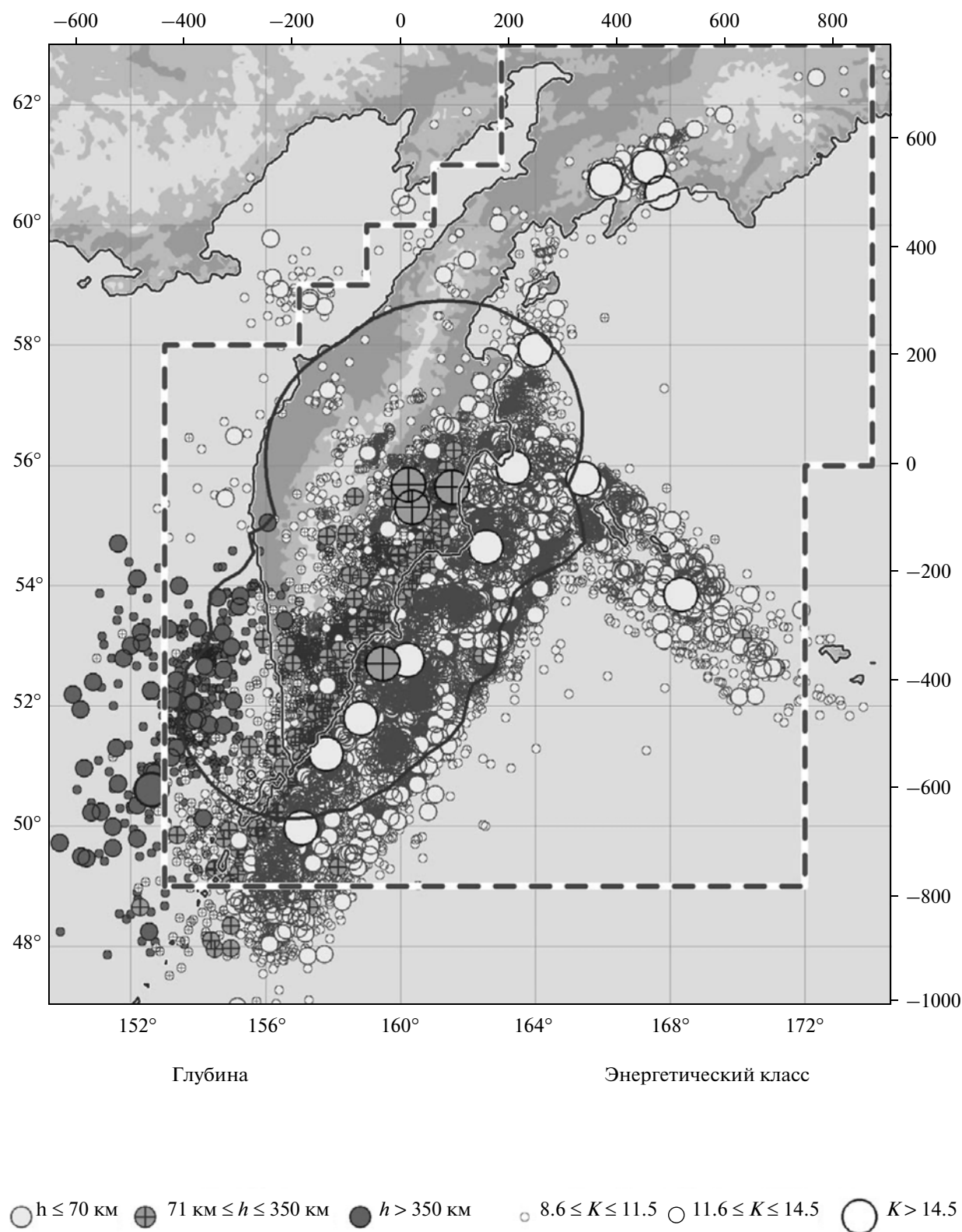


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Камчатки, Командорских островов и прилегающих территорий за период с 1962 г. по март 2011 г.: пунктирная линия – граница зоны ответственности сети КФ ГС РАН; сплошная – изолиния $K_{\min} = 8.5$ для сети 2007 г.

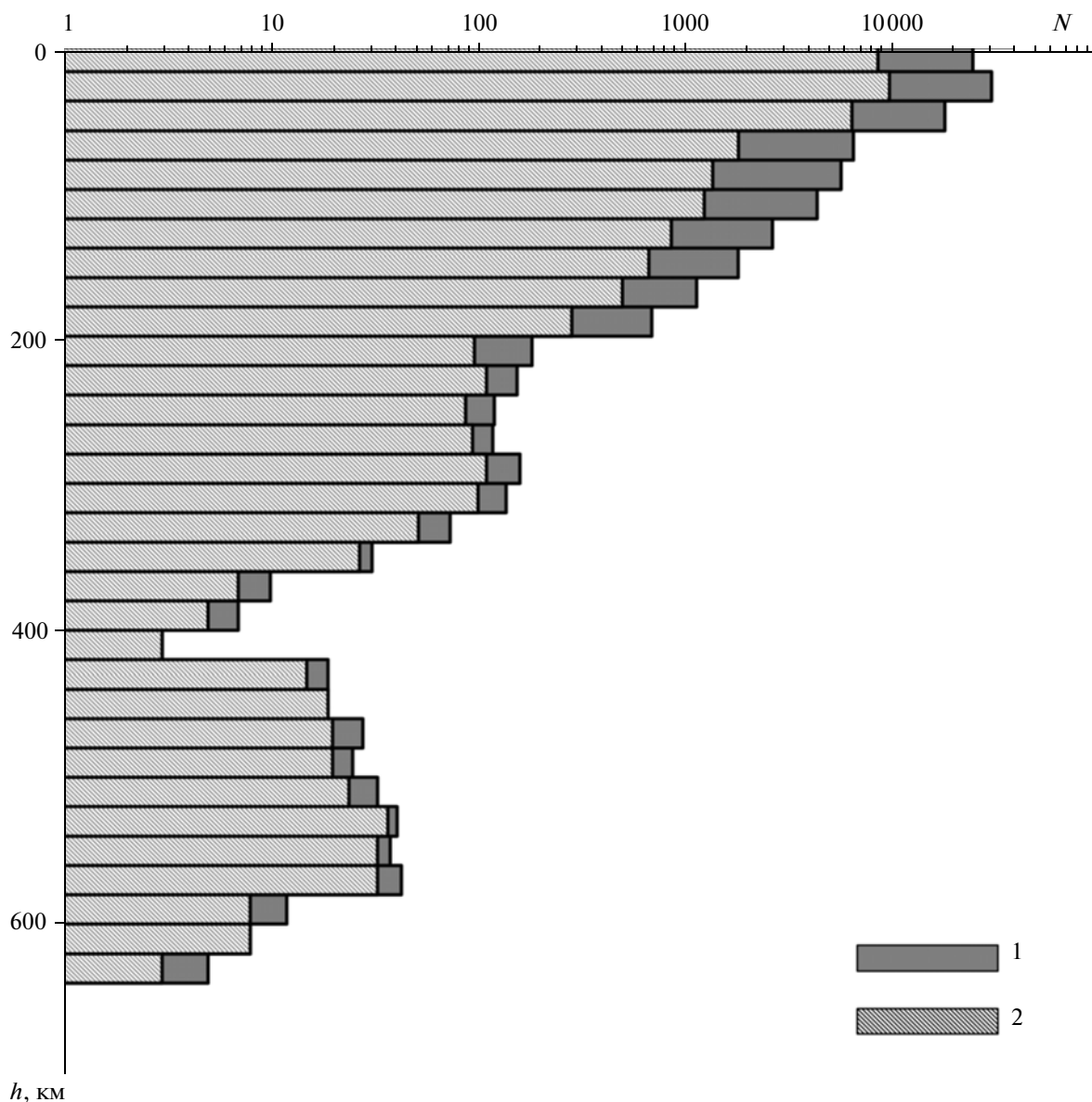


Рис. 2. Распределение по глубине землетрясений Камчатской сейсмофокальной зоны (1962–2011 гг.), локализованных внутри границ зоны ответственности КФ ГС РАН.

1 – все землетрясения; 2 – представительные землетрясения с $K \geq 8.6$ для поверхностного и промежуточного слоев и $K \geq 9.6$ для глубокого слоя.

ной ими сейсмической энергии во времени показано на рис. 3.

За 50 лет наблюдений в регионе зафиксировано четыре значительных сейсмических активизации (см. рис. 3). В 1971 г. произошло одно из самых сильных в регионе – Петропавловское землетрясение 24 ноября с $M = 7.3$ ($K = 15.9$), а 15 декабря того же года в Камчатском проливе зафиксировано еще одно сильное событие с $K = 15.4$ и $M_S(\text{NEIS}) = 7.8$, $h = 20$ км. Благодаря этим двум землетрясениям в 1971 г. оказалось самое большое

значение высвобожденной сейсмической энергии. Следующим сильным событием стало Быстринское землетрясение 17 августа 1983 г. с $K = 15.4$ и $M_W(\text{HRVD}) = 7.0$, $h = 97$ км. Затем 5 декабря 1997 г. под восточным берегом Кроноцкого полуострова на глубине $h = 10$ км произошло сильнейшее землетрясение с $K = 15.5$ и $M_W(\text{HRVD}) = 7.8$, а в апреле 2006 г. в Корякском нагорье зафиксировано разрушительное Олюторское землетрясение с $K = 15.7$ и $M_W(\text{HRVD}) = 7.6$, $h = 1$ км. Следует также отметить Озерновское землетрясение

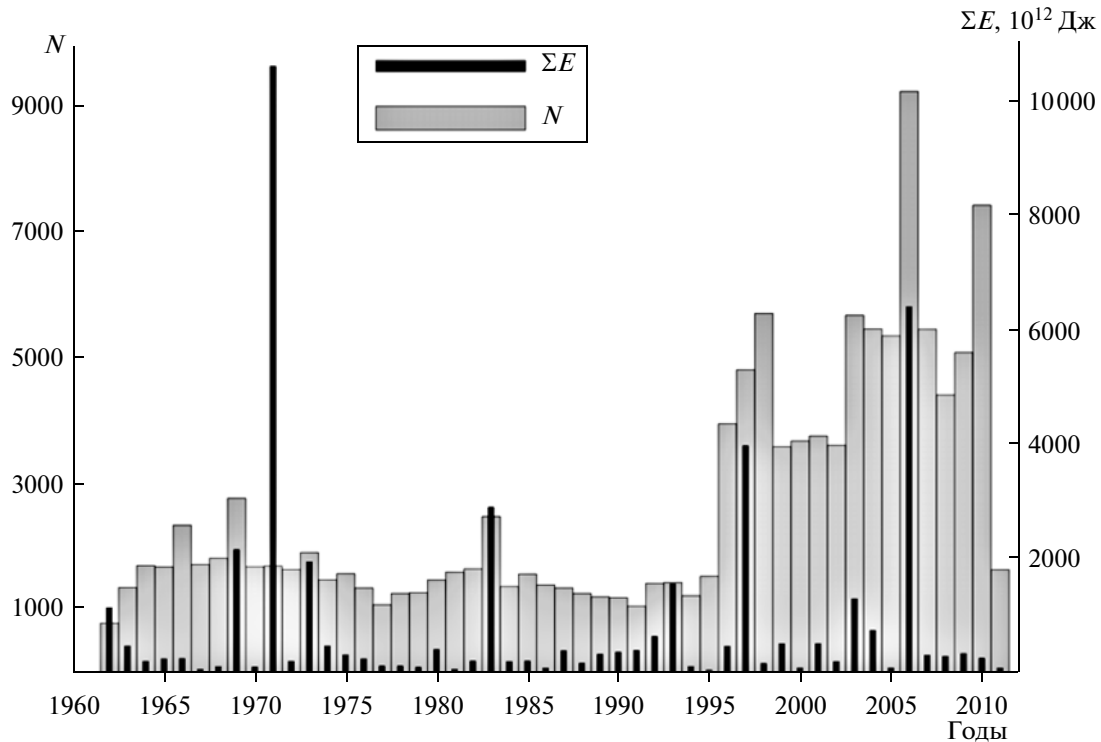


Рис. 3. Распределение ежегодных чисел землетрясений и высвобожденной ими сейсмической энергии во времени.

22 ноября 1969 г. ($K = 15.4$, $M = 7.7$, $h = 40$ км). Это землетрясение ощущалось на территории Камчатки с интенсивностью до 8 баллов и вызвало волну цунами высотой до 12–15 м.

Ежегодные числа землетрясений в период работы сети с аналоговым типом регистрации (1962–1995 гг.) менялись несущественно. Активизация, наблюдаемая в 1969 г., связана с афтершоковым процессом Озерновского землетрясения. Сильные землетрясения 1971 г. не повлекли за собой увеличения числа толчков. Вероятно, это связано с возможностями регистрации слабых землетрясений сетью сейсмических станций с аналоговой регистрацией. Настоящим прорывом в регистрации слабых землетрясений явился переход на цифровую регистрацию, осуществленный в 1996 г. Этот момент хорошо виден на гистограмме ежегодных чисел землетрясений. 1 января 1996 г. было введено аналого-цифровое преобразование сигналов Петропавловского куста РТТС. Это оказалось очень своевременно, так как в это же время в Карымском вулканическом центре началась мощная сейсмическая активизация, связанная с сильным коровым землетрясением 1 января ($M_{LN} = 7.0$) и одновременными извержениями Карымского вулкана и нового эруптивного центра в кальдере Академии Наук. Цифровая система регистрации и обработки зем-

летрясений впервые позволила составить полноценный каталог афтершоков Карымского землетрясения. Для Кроноцкого землетрясения 5 декабря 1997 г., которое сопровождалось мощной афтершоковой последовательностью, также был составлен подробный каталог афтершоков. Сильнейшее землетрясение Корякского нагорья 20 апреля 2006 г. также сопровождалось большим количеством афтершоков. К 2006 г. сеть сейсмических станций была значительно расширена на север региона, что позволило качественно зарегистрировать и обработать эту уникальную афтершоковую серию.

ЗОНЫ СЕЙСМИЧНОСТИ КАМЧАТСКОГО РЕГИОНА

Землетрясения, происходящие на Камчатке, в том числе сильнейшие с $M > 7$, имеют различную тектоническую природу. Более 75% из них приходится на зону субдукции Тихоокеанской плиты, но здесь сходятся также Алеутский, Арктический и Корякский сейсмические пояса, отражающие взаимодействие литосферных плит: Охотской, Северо-Американской, Евразийской, Берингии, Тихоокеанской [Ландер и др., 1994; Maskey, 1997]. Кроме того, мелкофокусные землетрясения, не относящиеся к зоне субдукции (как вулканические, так и тектонические), происходят в цен-

тральных районах Камчатского полуострова [Гордеев и др., 2006]. Такое разнообразие тектонических обстановок требует строгого разделения существующих и непрерывно развивающихся каталогов землетрясений с возможно более точной идентификацией природы каждого сейсмического события. Строгое фиксированное пространственное разделение землетрясений необходимо также для получения и систематического наблюдения за различными статистиками сейсмического процесса. С этой целью на основе накопленной на сегодняшний день информации о пространственном распределении и механизмах землетрясений и с учетом современных представлений о новейшей тектонике региона проведена регионализация сейсмоактивного объема Камчатки и прилегающих областей. Поскольку сейсмичность в целом распределена в пространстве весьма неравномерно, на некоторых участках деление региона проведено по географическому принципу.

Камчатский регион и прилегающие к нему области разделены на десять тектоно-географических зон (структур), имеющих существенно различные характеристики сейсмичности. Карта-схема деления на зоны показана на рис. 4.

Зоны 1, 2, 3, 5, 6 и 10 имеют сложную трехмерную конфигурацию и наклонные по глубине границы. Оставшиеся четыре зоны не содержат глубоких землетрясений и имеют вертикальные границы.

Дополнительно, в соответствии с сейсмологической традицией, все перечисленные зоны разделены по вертикали на три горизонтальных слоя: мелкофокусных $h \leq 70$ км, промежуточных $70 < h \leq 350$ км, и глубоких $h > 350$ км землетрясений. Единственное исключение в вертикальном делении относится к структуре “Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны” и обсуждается ниже. Максимальная глубина землетрясений во всех зонах практически не ограничена (формально введена граница на глубине 1000 км). Приведем краткое описание выделенных тектоно-географических зон внутри области ответственности камчатской сети.

Весь объем, занимаемый землетрясениями, происходящими на границе плиты, погружающейся в Камчатскую зону субдукции, разделен на две структуры: *Сейсмофокальную зону Курил и Южной Камчатки* (зона 1) и *Северную часть Камчатской сейсмофокальной зоны* (зона 2). Их восточная вертикальная граница проведена по оси глубоководного желоба и отделяет взбросовые и надвиговые события верхнего края зоны субдукции от преимущественно сбросовых оча-

гов землетрясений океанического вала, отнесенных к зоне Тихоокеанской плиты. Окончание зоны субдукции в районе сочленения Камчатки с Алеутской дугой (зона 2) на глубинах более 70 км формально продлено к северу примерно на 100 км в область, где землетрясений до сих пор не зафиксировано. Это сделано для того, чтобы правильно идентифицировать субдукционные события в случае умеренных ошибок в определении их гипоцентра.

Висячее крыло пологого участка зоны субдукции в используемых структурах не выделено. Северо-западная граница структур сейсмофокальной зоны достигает поверхности значительно западнее глубоководного желоба, вблизи побережья, во внутренней части камчатских заливов. При этом два полуострова: Шипунский и Кроноцкий оказываются почти полностью в пределах структуры сейсмофокальной зоны. Это связано с тем, что на сегодняшний день точность определения глубины землетрясений, происходящих восточнее побережья Камчатки (то есть в районе пологого участка зоны субдукции), недостаточна, чтобы отличить события, происходящие на главной поверхности субдукции, от землетрясений, локализованных в верхней нависающей плите. Таким образом, к сейсмофокальной зоне отнесены все землетрясения, происходящие в районе ее пологого участка, независимо от их формально определенной глубины. Северо-западная граница в целом наклонно падает под континент, имея перегиб на глубине 70 км, но в деталях имеет сложную форму, соответствующую реальному распределению сейсмичности. Аналогично сложную трехмерную форму имеют границы зон в районе сочленения Камчатки с Командорским сегментом Алеутской дуги. Южная граница *Сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки* для нашего региона определяется зоной ответственности Камчатской сети и ограничена шириной $\varphi = 49^\circ$.

Согласно современным тектоническим представлениям [Авдейко и др., 2002; Леглер, 1977; Lander, Shapiro 2007], северная часть современной Камчатской зоны субдукции (севернее Авачинского залива) значительно моложе (2–7 млн лет) ее южной части. За это время северный участок погружающейся плиты еще не успел погрузиться до типичных максимальных глубин, на которых южнее наблюдаются многочисленные землетрясения. Действительно, в районе Авачинского залива (точнее, поперечной Авачинской вулканотектонической структуры) происходит резкое изменение максимальных глубин подавляющего большинства землетрясений с 650 до 380 км

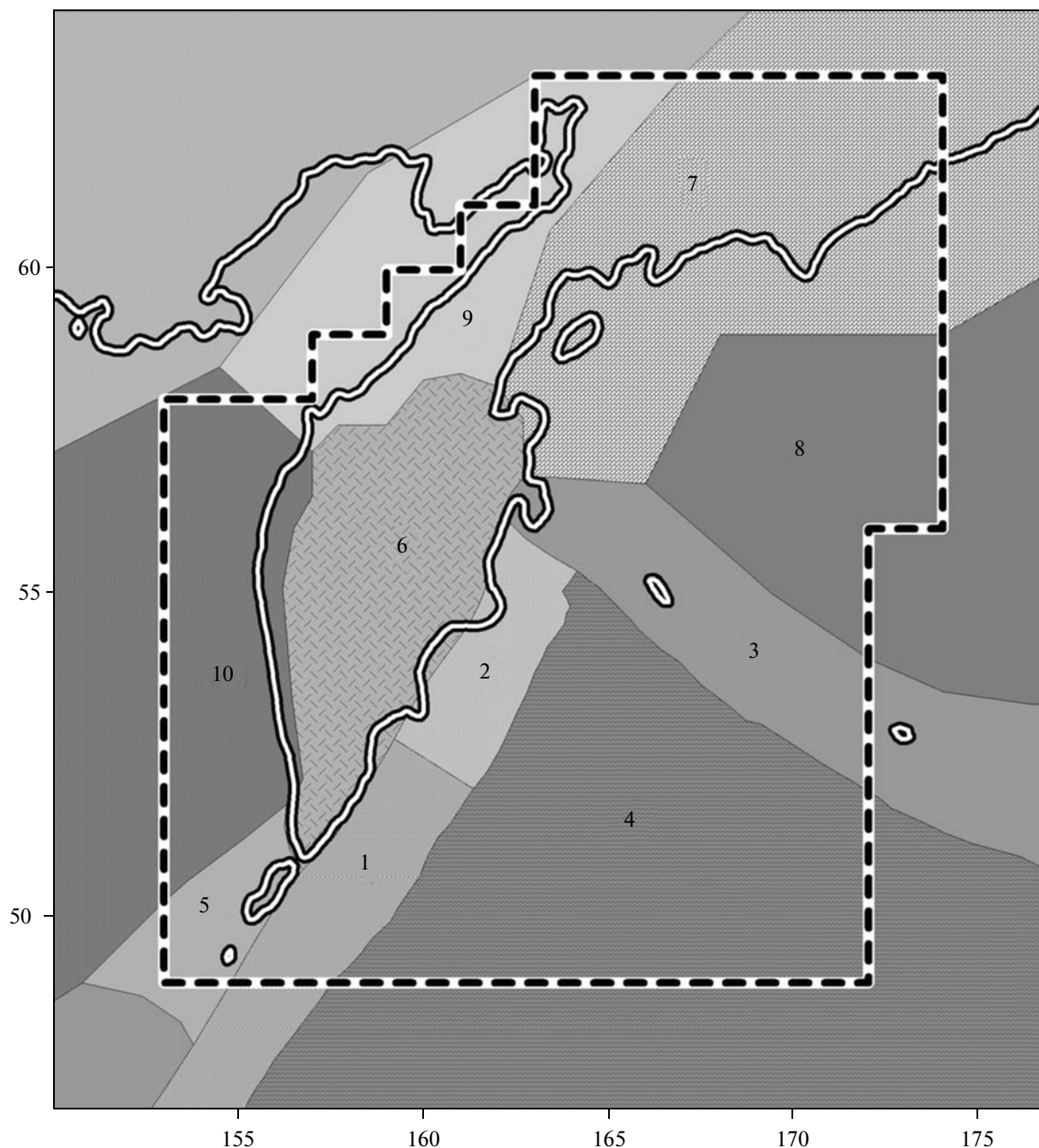


Рис. 4. Поверхностное сечение зон сейсмичности Камчатского региона и его окрестностей: 1 – Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки; 2 – Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны; 3 – Командорский сегмент Алеутской дуги; 4 – Тихий океан; 5 – Северные Курилы; 6 – Континентальные области Камчатки; 7 – Корякский сейсмический пояс; 8 – Берингово море; 9 – Залив Шелихова; 10 – Охотия. Пунктирная линия – граница зоны ответственности региональной сети КФ ГС РАН.

(рис. 5, 6). Этот факт является весьма ярким подтверждением данной тектонической гипотезы.

Однако, необходимо отметить, что за все время наблюдений в северной области все же произошло 10 землетрясений с глубиной до 550 км,

четыре из них из оперативного каталога. Некоторые события могут быть связаны с ошибками определения гипоцентров в региональных каталогах. Все события произошли недалеко от границ области, и, возможно, только отражают факт

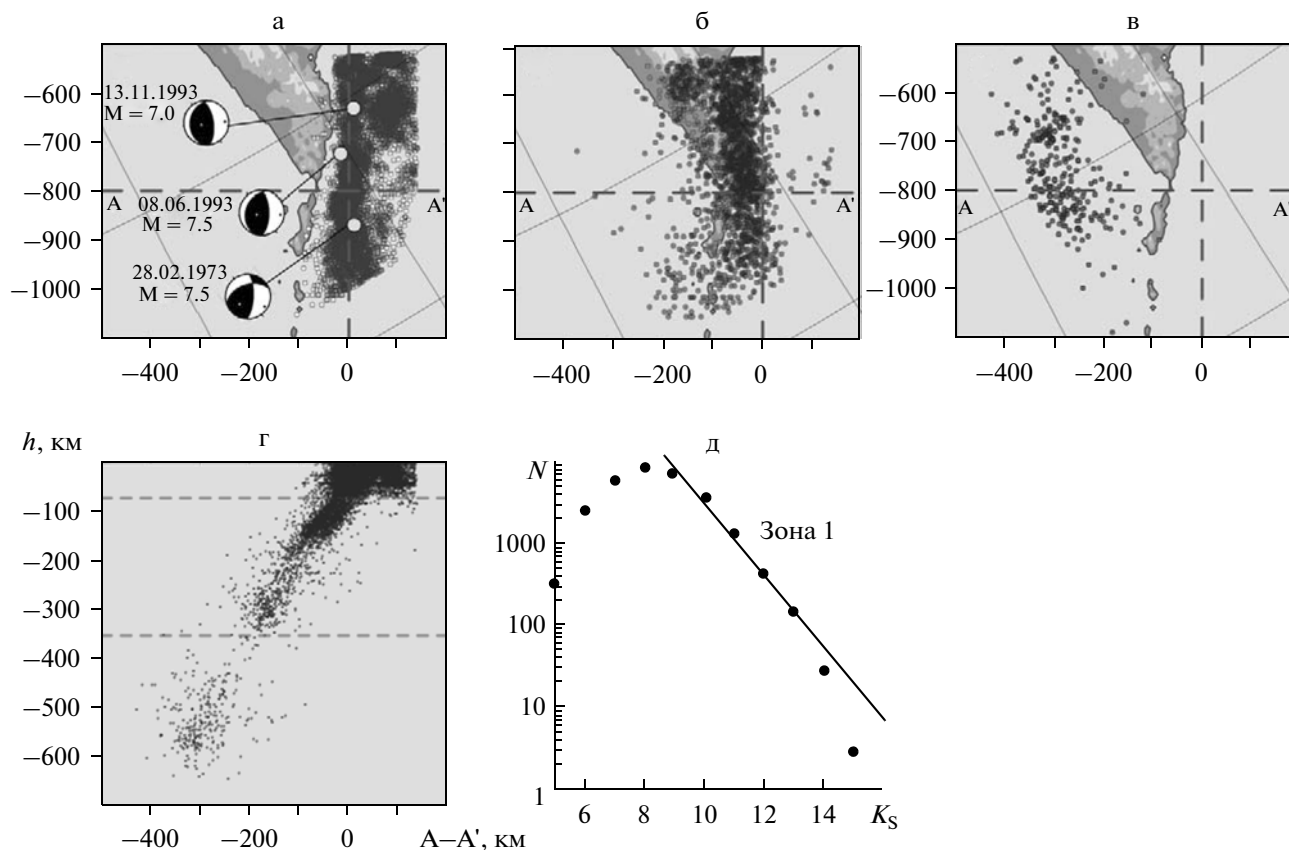


Рис. 5. Послойные карты эпицентров землетрясений Сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки с $K \geq 8.6$. а – поверхностный слой ($h \leq 70$ км); б – промежуточный ($h = 71–350$ км); в – глубокий ($h > 350$ км); г – проекция гипоцентров на вертикальную плоскость А–А'; д – график повторяемости землетрясений зоны 1. Приведены стереограммы механизмов очагов сильнейших землетрясений зоны в 1962–2011 гг.

несовершенства упрощенной модели, в которой поперечная Авачинская структура является плоскостью во всем интервале глубин.

Опираясь на изложенные факты, мы сочли необходимым разделить Курило-Камчатскую сейсмофокальную зону на две структуры – **Сейсмофокальную зону Курил и Южной Камчатки** и **Северную часть Камчатской сейсмофокальной зоны**. Причем, граница промежуточного и глубокого слоев в зоне 2 проходит на глубине $h = 380$ км, несколько отличающейся от стандартной. Появление в дальнейшем новых землетрясений в глубокой **Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны** весьма интересно, и может позволить уточнить наши представления о тектонике региона, и наоборот, их длительное отсутствие подтверждает современную тектоническую теорию.

Командорский сегмент Алеутской дуги (зона 3) включает в себя землетрясения, происходящие на границах Командорской микроплиты, зажатой между двумя значительно более крупными образованиями: медленной плитой Берингией [Ландер и

др., 1994] на севере и быстро перемещающейся на северо-запад Тихоокеанской плитой [Ландер и др., 2009]. Узкая (ширина менее 100 км) Командорская микроплита протянулась на ~500 км в направлении, практически параллельном вектору движения Тихоокеанской плиты, и отделена от последней трансформной границей, проходящей по Алеутскому глубоководному желобу. В очагах землетрясений на обеих параллельных границах Командорской микроплиты преобладают правые сдвиги [Зобин, 1987]. На западе Командорская микроплита упирается в небольшой блок полуострова Камчатского мыса, который, в свою очередь, имеет сложную трехмерную границу с континентальной Камчаткой. В данном построении эти две мелкие структуры объединены в единую зону.

Зона Тихого океана (зона 4) включает в себя землетрясения, происходящие на океаническом валу за глубоководным желобом. Для этих событий характерен сбросовый тип очаговой подвижки.

Географическое положение остальных зон показано на рис. 4. Их границы либо совпадают с

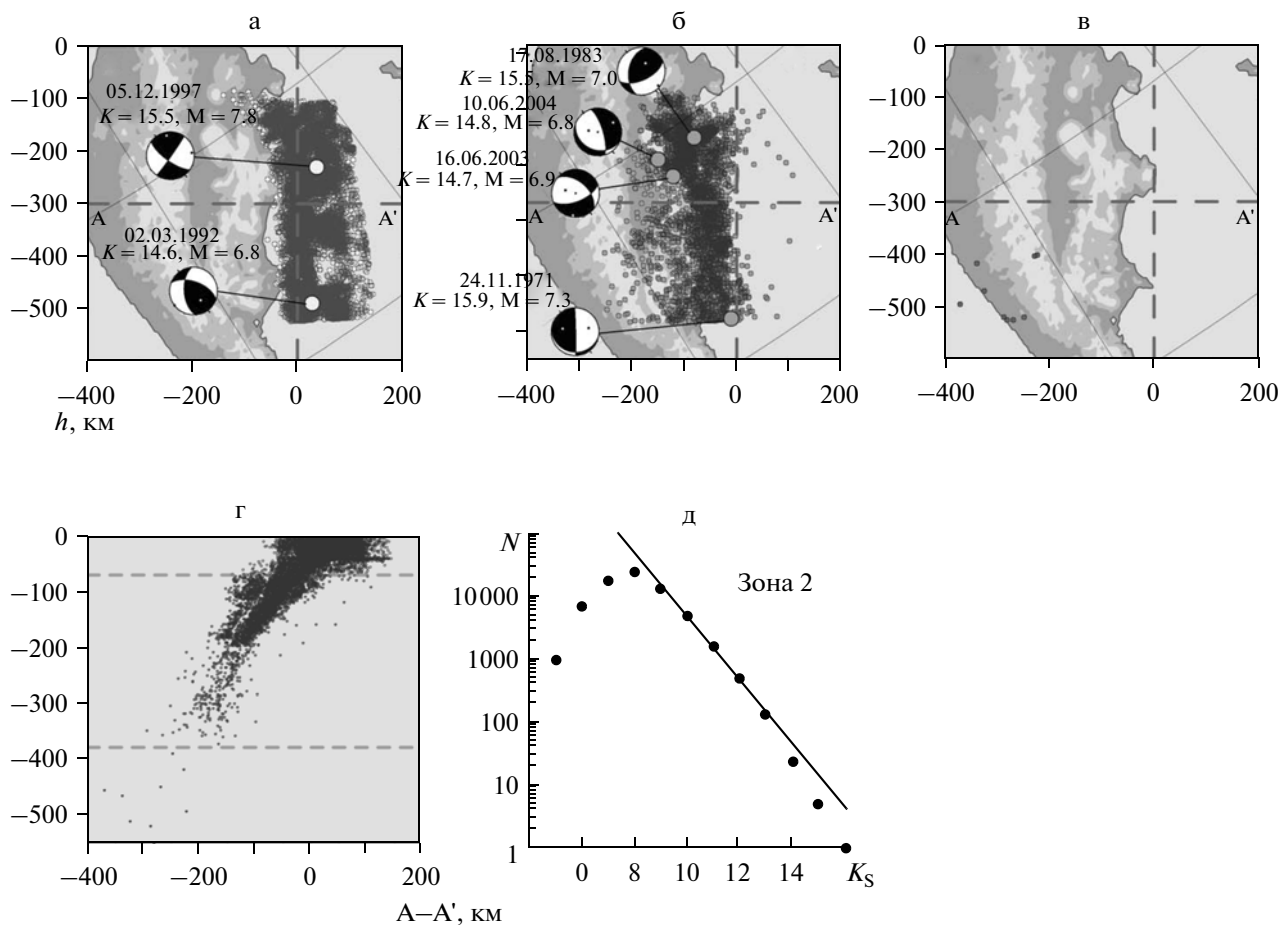


Рис. 6. Послойные карты эпицентров землетрясений с $K \geq 8.6$ Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны. а – поверхностный слой ($h \leq 70$ км); б – промежуточный ($h = 71–380$ км); в – глубокий ($h > 380$ км); г – проекция гипоцентров на вертикальную плоскость А–А'; д – график повторяемости землетрясений зоны 2. Приведены стереограммы механизмов очагов сильнейших землетрясений зоны в 1962–2011 гг.

предыдущими, либо вертикальны. **Континентальные области Камчатки, Северные Курилы и Охотия** (зоны 6, 5 и 10) включают в себя мелкофокусные землетрясения, происходящие на Камчатке и в Охотском море, значительно выше зоны субдукции, и имеющие отличающуюся от последней тектоническую природу. **Корякский сейсмический пояс и Залив Шелихова** (зоны 7 и 9) включают континентальные сейсмические пояса – границы плит, образованные, преимущественно, мелкофокусными землетрясениями. **Берингово море** (зона 8) почти асейсмична. Однако формально в ее границах зафиксировано несколько землетрясений, возможно, попавших в нее вследствие ошибок в определении гипоцентров.

Зоны 3–10 также стандартно разделены на три слоя, но землетрясения в них локализируются, как правило, в поверхностном слое и лишь небольшое количество переходит в промежуточный.

ОБЗОР СЕЙСМИЧНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ТЕКТОНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ЗОН КАМЧАТКИ

Как уже упоминалось выше, все зоны имеют различный характер сейсмичности и уровень активности. В табл. 1 приведено распределение ежегодных чисел землетрясений и высвобожденной сейсмической энергии по зонам.

Хорошо видно, что наибольшая активность наблюдается в **Северной части сейсмофокальной зоны** (зона 2), где было зафиксировано 20356 землетрясений с $K \geq 8.6$, из них 650 событий с $K \geq 11.6$. Величина суммарной высвобожденной в этой зоне энергии $\sum E = 19.5 \cdot 10^{15}$, Дж³.

Во второй по активности структуре – **Сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки** (зона

³ Здесь и далее $E = 10^K$, Дж.

Таблица 1. Распределение чисел землетрясений и высвобожденной сейсмической энергии по тектоно-географическим структурам региона

Зона	N (в каталоге)	$N(K \geq 8.6)$	$N(K \geq 8.6)\%$	$N(K \geq 11.6)$	$\sum E \cdot 10^{15}$, Дж	$\sum E$, %
1	29217	12415	28.2	591	7.83	18.2
2	69026	20356	46.2	650	19.49	45.4
3	12275	5616	12.7	245	5.96	13.9
4	4837	2538	5.8	59	0.52	1.2
5	103	87	0.2		0.08	0.2
6	12028	2064	4.7	29	0.54	1.3
7	3892	941	2.1	44	8.32	19.4
8	2	1	0.002			
9	64	45	0.1	7	0.20	0.5
10	73	45	0.1	2	0.02	0.05

1) суммарная сейсмическая энергия достигла значения $\sum E = 7.8 \cdot 10^{15}$ Дж, здесь в границах ответственности Камчатской сети произошло 12415 землетрясений, из них 591 событие имело энергетический класс $K \geq 11.6$.

Доля землетрясений, происходящих в остальных зонах, составляет 25.7% от общего числа землетрясений с $K \geq 8.6$, происходящих внутри границ региона. Доля сейсмической энергии, высвобожденной в зонах 3–10, несколько больше и составляет 36% от общего количества. Как следует из табл. 1, активность зон 5, 8–10 крайне низка.

В течение последних 50-ти лет наблюдений на Камчатке и прилегающих к ней территориях произошло 16 сильнейших землетрясений с $K \geq 14.6$. Параметры этих событий приведены в табл. 2.

Рассмотрим более подробно сейсмическую обстановку в отдельных тектоно-географических зонах.

Зона 1 – Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки (см. рис. 4, 5). На протяжении 50 лет детальных сейсмологических наблюдений эта зона занимала второе место по активности. Региональный каталог землетрясений насчитывает 29217 землетрясений, отнесенных к зоне 1 и находящихся внутри области ответственности Камчатской сети. Пространственное распределение гипоцентров, представленное на рис. 5а, 5б, 5в, 5г, подтверждает отмеченные ранее в работах

[Федотов и др., 1985; Федотов и др., 1987]⁴ характерные особенности геометрии сейсмофокальной зоны. Распределение гипоцентров внутри зоны носит неравномерный характер – на долю поверхностного слоя приходится 80% событий и 83% сейсмической энергии. В промежуточном слое происходит 17.7% землетрясений и 9.3% сейсмической энергии. И, соответственно, в глубоком слое зафиксировано 2.3% событий и 7.2% энергии. Следует отметить, что существенное отклонение положения отдельных землетрясений от общего распределения гипоцентров (см. рис. 5г) может быть связано с ошибками в определениях координат и, возможно, их параметры должны быть уточнены.

Исходя из графика повторяемости, приведенного на рис. 5д, представительным для **Сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки** является $K_{\min} = 9$. График повторяемости линейен в диапазоне классов $K = 9–13$, и угол наклона, рассчитанный для этого диапазона, составляет $\gamma = -0.43 \pm 0.02$, что близко к значению этого параметра, полученного для всего региона ($\gamma = -0.47 \pm 0.02$), что естественно, поскольку фокальная зона дает

⁴ Структура сейсмофокальной зоны и современный вулканизм Камчатки: выявление закономерных связей между особенностями проявления современного вулканизма и геодинамикой региона // Отчет о научно-исследовательской работе. № госрегистрации 01.2.00.106359. Фонды ИВиС. Петропавловск-Камчатский, 2006. 83 с.

Таблица 2. Параметры сильнейших землетрясений Камчатки и прилегающих территорий в 1962–2011 гг.

№	Дата д. м. г.	Время в очаге			Координаты			К	M _C	M _{LH}	M _{NK}	m _B	M _S	m _B [*]	M _S [*]	M _W	Структура
		ч	мин	сек	φ°, км	λ°, км	h, км										
1	26.12.1962	22	25	15.50	53.850	168.320	10.0	15.0		6.8	6.7			6.5			Командорский сегмент Алеутской дуги
2	22.11.1969	23	9	31.50	57.930	164.000	40.0	15.3		7.7	7.7	6.2		6.3	7.3		Корякский сейсмический пояс
3	24.11.1971	19	35	29.40	52.710	159.470	110.0	15.9		7.3		6.4		6.3			Северная часть Камчатской сейсмо-фокальной зоны
4	15.12.1971	8	29	55.00	55.970	163.350	20.0	15.4			7.8	6.2		6.1	7.8		Командорский сегмент Алеутской дуги
5	28.02.1973	6	37	49.40	49.970	157.060	59.0	15.1		7.5	7.5	6.0		6.3	7.2		Сейсмофокальная зона Курил и Юж-ной Камчатки
6	17.08.1983	10	55	55.50	55.640	161.530	97.0	15.4		6.8		6.4		6.6		7.0	Северная часть Камчатской сейсмо-фокальной зоны
7	02.03.1992	12	29	38.50	52.760	160.200	20.0	14.6		7.1		6.4	6.9	6.5	6.8	6.8	Северная часть Камчатской сейсмо-фокальной зоны
8	08.06.1993	13	3	37.00	51.200	157.800	40.0	15.0	7.3	7.4		6.3		6.4	7.3	7.5	Сейсмофокальная зона Курил и Юж-ной Камчатки
9	13.11.1993	1	18	6.80	51.790	158.830	40.0	14.6	7.0	7.1		6.4	6.9	6.5	7.0	7.0	Сейсмофокальная зона Курил и Юж-ной Камчатки
10	05.12.1997	11	26	51.00	54.640	162.550	10.0	15.5	7.7	7.9		6.1	7.4	6.3	7.6	7.8	Северная часть Камчатской сейсмо-фокальной зоны
11	16.06.2003	22	8	1.80	55.300	160.340	190.0	14.7	6.6	6.2		6.2		6.3		6.9	Северная часть Камчатской сейсмо-фокальной зоны
12	05.12.2003	21	26	14.10	55.780	165.430	29.0	14.8	7.0	6.8		6.0	6.6			6.6	Командорский сегмент Алеутской дуги
13	10.06.2004	15	19	54.90	55.678	160.246	208.1	14.8	6.6			6.2		6.1		6.8	Северная часть Камчатской сейсмо-фокальной зоны
14	20.04.2006	23	24	57.81	60.981	167.370	0.6	15.7	7.8	7.7		6.6	7.6	6.8	7.6	7.6	Корякский сейсмический пояс
15	29.04.2006	16	58	3.62	60.538	167.764	0.0	14.6	6.7	6.6		6.2	6.7	6.4	6.6	6.6	Корякский сейсмический пояс
16	22.05.2006	11	11	56.64	60.753	166.097	3.1	14.7		6.8		6.0	6.8	6.0	6.7	6.6	Корякский сейсмический пояс

Примечание. M_C – магнитуда по кода-волнам [Гордеев и др., 1999]; M_{LH} – [Сейсмологический бюллетень (ежедекадный)]; M_{NK} – [Новый каталог ..., 1977]; m_B, M_S – Bulletin of the International Seismological Centre (<http://www.isc.ac.uk>); m_B^{*}, M_S^{*} – USGS National Earthquake Information Centre (<http://neis.usgs.gov/neis/epic/epic.html>); M_W – CMT catalog (<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>).

основной вклад в статистику сейсмичности региона.

Сейсмическая активность *Сейсмофокальной зоны Курил и Южной Камчатки* на территории, контролируемой региональной сетью сейсмических станций КФ ГС РАН, на протяжении последних 50-ти лет была довольно умеренной (см. табл. 1). Было зафиксировано всего три землетрясения с $K \geq 14.6$ и $M \geq 7$. Эти события показаны на рис. 5а большими кружками. Все они располагаются в поверхностном слое сейсмофокальной зоны. В промежуточном и глубоком слоях таких событий зарегистрировано не было.

Для наиболее сильных событий на рис. 5а приведены диаграммы фокальных механизмов.⁵ В очагах этих землетрясений наблюдается характерное для поверхностного слоя зоны субдукции близгоризонтальное сжатие под действием сил, направленных вкост фокальной зоны.

Зона 2 — Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны (см. рис. 4, 6) является наиболее активной зоной в последнем пятидесятилетии. Региональный каталог землетрясений насчитывает 69026 землетрясений, отнесенных к зоне 2. На ее долю приходится 46% от общего числа событий с $K \geq 8.6$, зафиксированных в регионе и 46% высвобожденной сейсмической энергии.

Как и в случае зоны 1, здесь сохраняются основные особенности сейсмофокальной зоны, установленные ранее по материалам наблюдений 1962—1982 гг. В поверхностном слое сосредоточено 80% от общего числа событий, зафиксированных в зоне, в промежуточном — 20%, а в глубоком всего 0.05%. В энергетической области соотношение несколько иное: за 50 лет в поверхностном слое высвободилось 35% энергии, в промежуточном — 64% и в глубоком — 0.5%. Характерной особенностью *Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны* является практически полное отсутствие землетрясений на глубинах свыше 380 км. Как упоминалось выше, здесь зафиксировано всего 10 землетрясений. Четыре из них присутствуют на таких глубинах и в телесейсмических каталогах ISC и NEIC. Предполагается, что отсутствие глубоких землетрясений в северной части сейсмофокальной зоны Камчатки связано с более молодым возрастом северного участка Тихоокеанской плиты, не успевшей погрузиться до глубин 700 км. Поэтому появление любых событий в глубоком слое этой структуры должно рассматри-

ваться особо и подвергаться дополнительному тщательному контролю определения координат.

Исходя из графика повторяемости (см. рис. 6д) для зоны 2 следует считать представительным $K_{\min} = 9$. Угол наклона графика, рассчитанный в диапазоне $K = 9-13$, равен $\gamma = -0.50 \pm 0.02$, что близко к значению для всего региона, но значительно выше, чем таковое значение для зоны 1. По-видимому, увеличение угла наклона графика повторяемости связано с присутствием большого числа слабых землетрясений из очага Кроноцкого землетрясения.

Сейсмическая активность *Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны* в период детальных наблюдений была значительно выше, чем в *Сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки*. Здесь зафиксировано 6 сильнейших землетрясений с $K = 14.7-15.9$ и $M = 6.8-7.8$. Наиболее заметные из них — Петропавловское землетрясение 24 ноября 1971 г., макросейсмическое воздействие которого было самым сильным за исследуемый период наблюдений, интенсивность сотрясений в г. Петропавловске-Камчатском достигала 7 баллов, на м. Шипунском — 7–8 баллов. Наиболее изученным событием зоны 2 явилось Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 г.

Для сильнейших землетрясений приведены диаграммы механизмов очагов землетрясений, рассчитанные по знакам первых вступлений объемных волн. В очагах сильнейших событий поверхностного слоя сейсмофокальной зоны Камчатки наблюдается близгоризонтальное сжатие, ориентированное по направлению движения Тихоокеанской плиты (см. рис. 6а, 6б). Движения в очагах промежуточного слоя более разнонаправлены, здесь наблюдается как взбросовый тип подвижки, так и сбросовый.

Как отмечалось выше, остальные зоны вносят существенно меньший вклад в сейсмичность Камчатки. Карта эпицентров землетрясений зон 3–10 и диаграммы механизмов очагов сильнейших событий приведены на рис. 7. Распределение соответствующих гипоцентров по глубине приведено на рис. 8.

Зона 3 — Командорский сегмент Алеутской дуги. В региональном каталоге содержится 12275 событий, отнесенных к этой зоне. На уровне $K \geq 8.6$ это составляет 12.7% от событий, зарегистрированных в регионе. В энергетической области на долю *Командорского сегмента Алеутской дуги* приходится 13.9% сейсмической энергии. Здесь зафиксировано 245 землетрясений с $K \geq 11.6$, среди них три с $K \geq 14.6$.

⁵ Каталог механизмов землетрясений Камчатки и Командорских островов / Банк сейсмологических данных Камчатки и Командорских островов. Фонды КФ ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский.

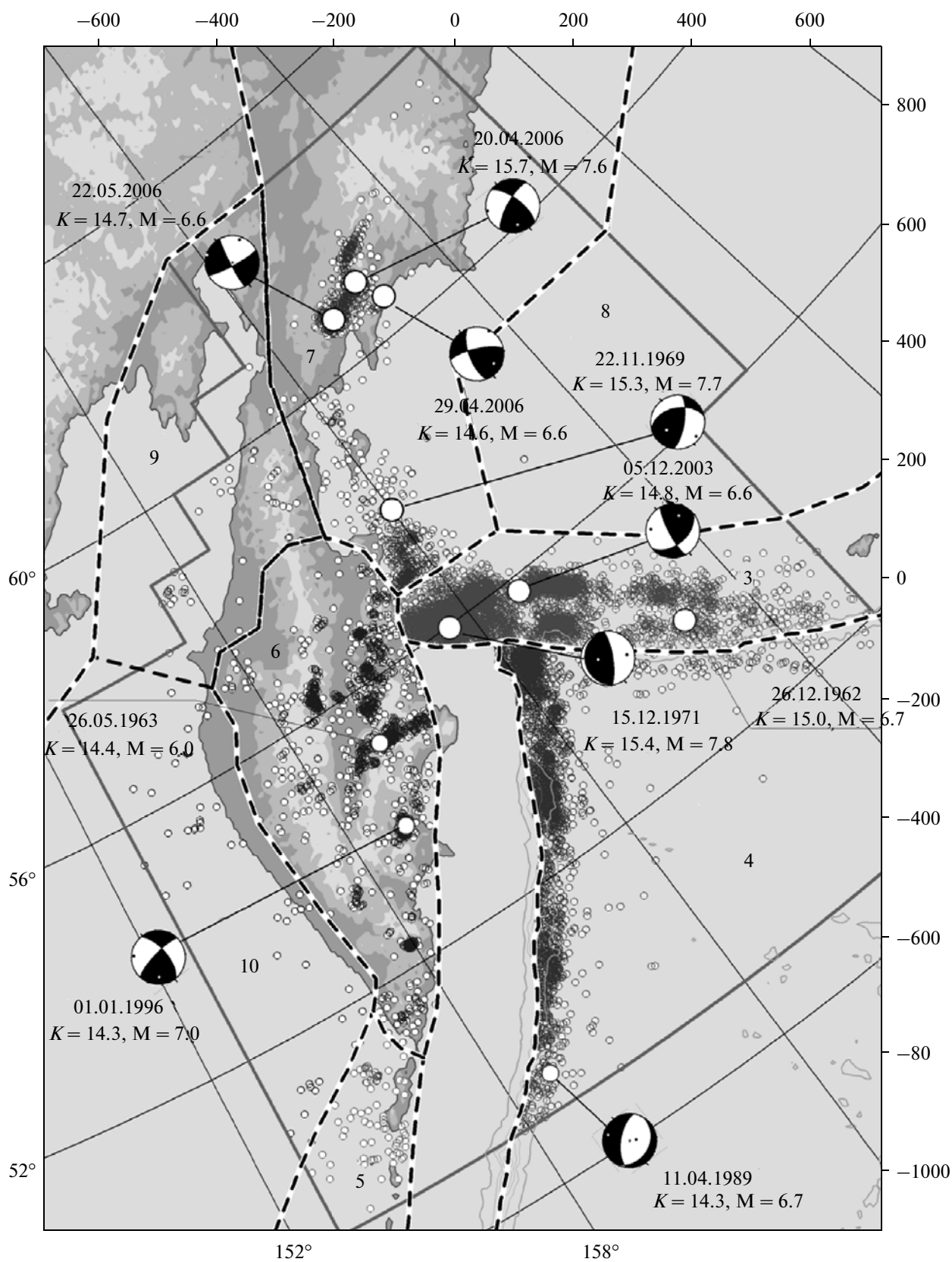


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений зон 3–10 и стереограммы механизмов очагов сильнейших землетрясений этих зон в 1962–2011 гг.

Пунктиром обозначены границы зон на глубине $h = 0$ км, а цифрами 3–10 их номера.

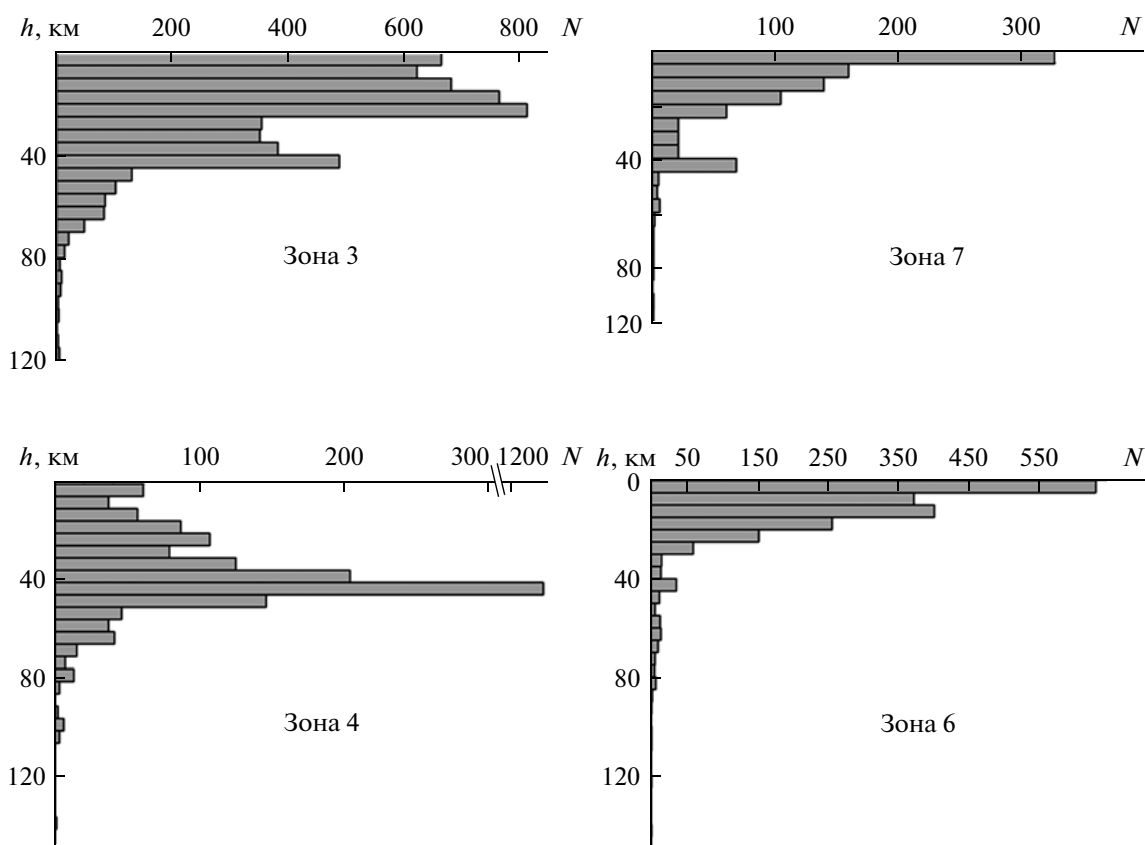


Рис. 8. Распределение землетрясений зон 3, 4, 6 и 7 по глубине.

Основная масса землетрясений *Командорского сегмента Алеутской дуги* (91%) располагается в верхнем интервале на глубинах $h < 45$ км (см. рис. 7). Неравномерное распределение событий на гистограмме (см. рис. 8), выражающееся в пиках на глубинах 0 км, 20 км и 40 км, связано с методическими особенностями определения координат, конфигурацией сети и скоростным разрезом земной коры, используемым при локации землетрясений.

Незначительный процент землетрясений (около 1%) располагается на глубинах ниже 70 км. Частично это может быть связано ошибками локации, однако несколько землетрясений с промежуточными глубинами зафиксировано здесь и мировыми сетями.

Угол наклона графика, рассчитанный в диапазоне $K = 9-13$, равен $\gamma = -0.45 \pm 0.02$, что близко к значению γ для зоны 1. Наиболее значительным для *Командорского сегмента Алеутской дуги* явилось землетрясение 15 декабря 1971 г. (см. табл. 2), которое произвело в населенных пунктах Крутоберегово и Усть-Камчатске сотрясения интенсивностью $I = 6-7$ баллов.

Землетрясения *Командорского сегмента Алеутской дуги* сосредоточены, главным образом, на границах Командорской микроплиты и образуют два узких сейсмических пояса, которые сливаются в районе Камчатского пролива и полуострова Камчатского мыса.

В очагах землетрясений на обеих параллельных границах Командорской микроплиты преобладают правые сдвиги [Левина и др., 2010]. Это указывает на то, что узкая вытянутая микроплита скользит на северо-запад параллельно движению Тихоокеанской плиты, отставая от последней. Механизм очага землетрясения 5 декабря 2003 г. хорошо согласуется с таким предположением (см. рис. 7).

Зона 4 — Тихий океан включает в себя землетрясения, происходящие на океаническом валу и обращенном к океану склоне глубоководного желоба. В региональном каталоге присутствует 4837 землетрясений, отнесенных к этой зоне, среди них 59 событий имеют энергетический класс $K \geq 11.6$. Среди землетрясений с $K \geq 8.6$ на долю зоны *Тихий океан* приходится 5.8% событий, а про-

цент сейсмической энергии, высвобожденной в ней, составил 1.2%. Землетрясений с $K \geq 14.6$ за 50-летний период здесь не зафиксировано. Угол наклона графика повторяемости, рассчитанный в диапазоне классов $K = 9–13$ оказался равным $\gamma = -0.53 \pm 0.02$.

По глубине землетрясения распределены в диапазоне $h = 0–80$ км (см. рис. 8). Отдельные землетрясения, уходящие на глубину более 80 км, скорее всего, являются ошибками локации. Наблюдаемый на гистограмме пик на глубине 40 км является следствием методических погрешностей, имеющихся в нынешней версии программы локации. Самое сильное землетрясение в зоне 4 зафиксировано 11 апреля 1989 г. в ее южной части. Механизм очага соответствует типичной картине для землетрясений океанического вала — растяжение под действием близгоризонтальных сил, ориентированных вкост простираения фокальной зоны (см. рис. 7).

Зона 6 — Континентальные области Камчатки. Сейсмичность этой зоны определяется тектоническими движениями по разломам земной коры, а также связана с активностью действующих вулканов Камчатки [Гордеев и др., 2006]. В отличие от рассматриваемых прежде структур активность в этой зоне крайне неравномерна во времени. На фоне продолжительных сейсмических затиший наблюдаются роевые активизации. Наиболее значительные всплески активности зафиксированы в 1963–1964 гг., 1983 г. и 1996 г. Первая активизация была связана с оживлением тектонических структур Шапинского грабена. Здесь 26 мая 1963 г. произошло одно из самых сильных землетрясений зоны с $K = 14.4$ и $M = 6.0$. Два других усиления сейсмической активности связаны с тектонической и вулканической деятельностью в Карымском вулканическом центре. Максимум активности в зоне 6 был достигнут 1–2 января 1996 г., когда произошло одновременное извержение двух вулканов — Карымского и Академии наук и сильное землетрясение с $K = 14.3$ и $M = 7.0$ [Гордеев и др., 1998]. Сейсмическая подготовка извержения и афтершоковый процесс, сопровождающий землетрясения, были хорошо зарегистрированы и изучены благодаря тому, что именно в этот момент был осуществлен перевод телеметрических станций на цифровую регистрацию.

Доля землетрясений **Континентальные области Камчатки** с $K \geq 8.6$ составляет 4.7%, а сейсмической энергии — 1.3%. Региональный каталог содержит 12028 событий, отнесенных к зоне 6. Характерной особенностью сейсмичности этой зоны является довольно высокий процент слабых землетрясений, доля которых ($K \leq 8.6$) составляет

83% от общего числа событий, зафиксированных здесь. Столь значительное число слабых землетрясений связано не только с их природой, но и возможностями сети, расположенной в континентальной части Камчатки. С преобладанием слабых землетрясений и отсутствием сильных событий связано также и высокое значение угла наклона графика повторяемости $\gamma = -0.70 \pm 0.06$.

Основная масса землетрясений зоны 6 сосредоточена в земной коре, на глубинах $h = 0–40$ км. Лишь у 1.5% событий значения глубин превышают 40 км, и единичные события достигают 200 км, что может быть связано как с ошибками локации, так и не совсем точным определением границ зоны субдукции.

Зона 7 — Корякский сейсмический пояс. На протяжении последних 20 лет представления о сейсмичности этой зоны претерпели наиболее существенные изменения [Ландер и др., 2010]. Долгое время эта область считалась практически асейсмичной, особенно ее северная часть — Корякское нагорье. После Озерновского землетрясения, произошедшего 22 ноября 1969 г., в этой зоне на протяжении почти 20 лет фиксировались лишь отдельные слабые землетрясения. Оживление Корякского сейсмического пояса началось в конце 1980-х годов. 8 марта 1991 г. в южной части Корякского нагорья произошло ощутимое Хаилинское землетрясение с $K = 14.4$, $M = 6.6$. Исследование этого землетрясения и его афтершоков позволило выделить самостоятельный Корякский сейсмический пояс и плиту Берингию [Ландер и др., 1994]. Через 15 лет после Хаилинского землетрясения практически в том же месте 20 апреля 2006 г. произошло значительно более сильное Олюторское землетрясение с $K = 15.7$, $M = 7.6$. Очаг землетрясения вышел на поверхность, в эпицентральной зоне были обнаружены многочисленные разрывы. Интенсивность макросейсмических проявлений достигала 9-ти баллов. К этому времени сеть сейсмических станций КФ ГС РАН была продвинута далеко на север — в Корякском Автономном округе работала цифровая станция японского производства POSEIDON. После основного толчка в эпицентральной зоне были развернуты временные цифровые станции. Модернизированная сеть сейсмических станций позволила в полном объеме зарегистрировать и обработать мощный афтершоковый процесс, последовавший за основным толчком. Полученные данные дали возможность детально исследовать процессы в очаге Олюторского землетрясения, произошедшего в этом отдаленном и малоизученном районе [Ландер и др., 2010; Ландер и др., 2010а; Ландер, Пинегина, 2010].

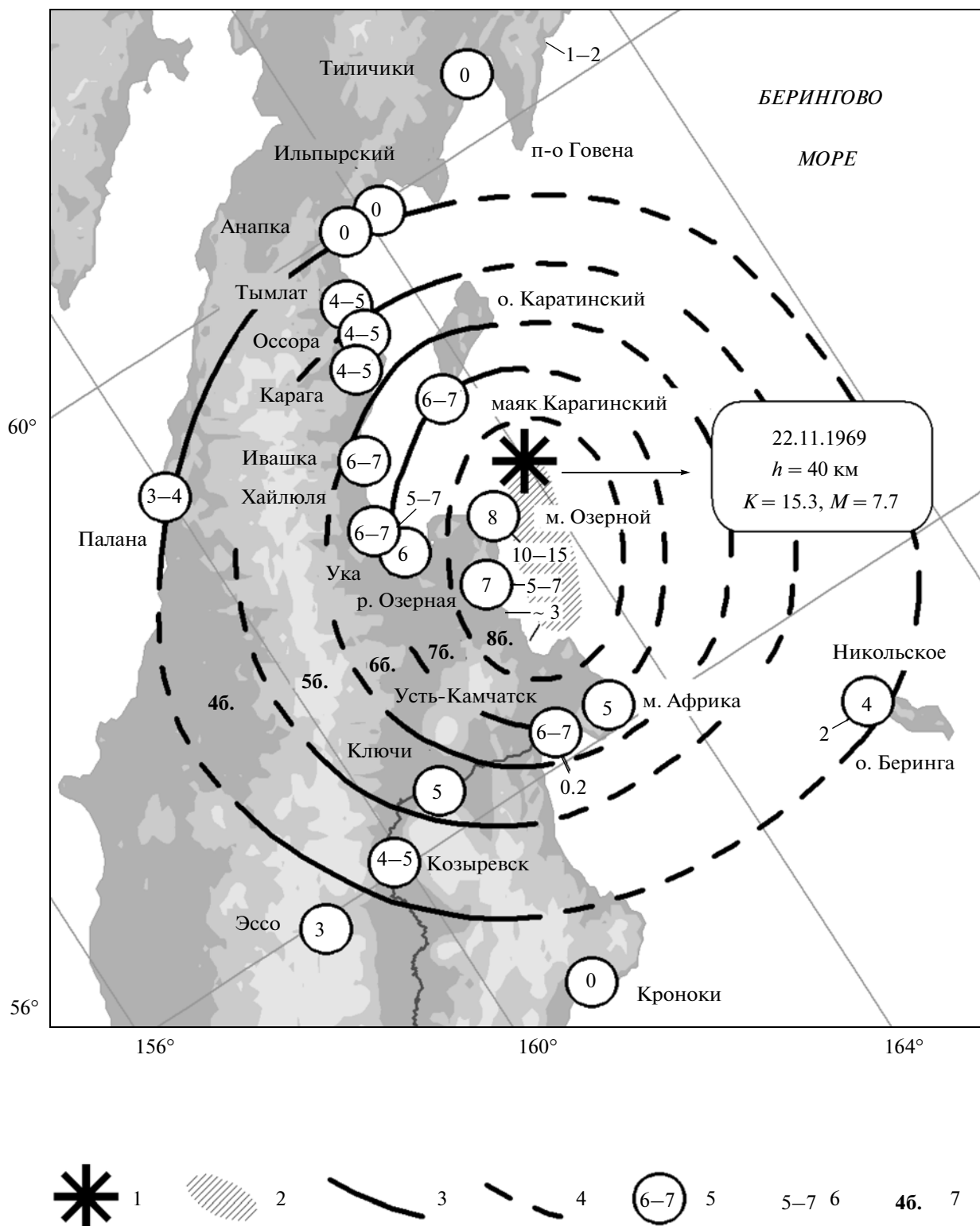


Рис. 9. Карта макросейсмических проявлений Озерновского землетрясения в населенных пунктах Камчатского края и приближенная схема изосейст из [Федотов и др., 1973].

1 — эпицентр; 2 — очаговая зона; 3 — уверенные изосейсты; 4 — приближенные изосейсты; 5 — интенсивность в пункте, баллы; 6 — высота цунами, м; 7 — интенсивность сотрясения в обозначенной области.

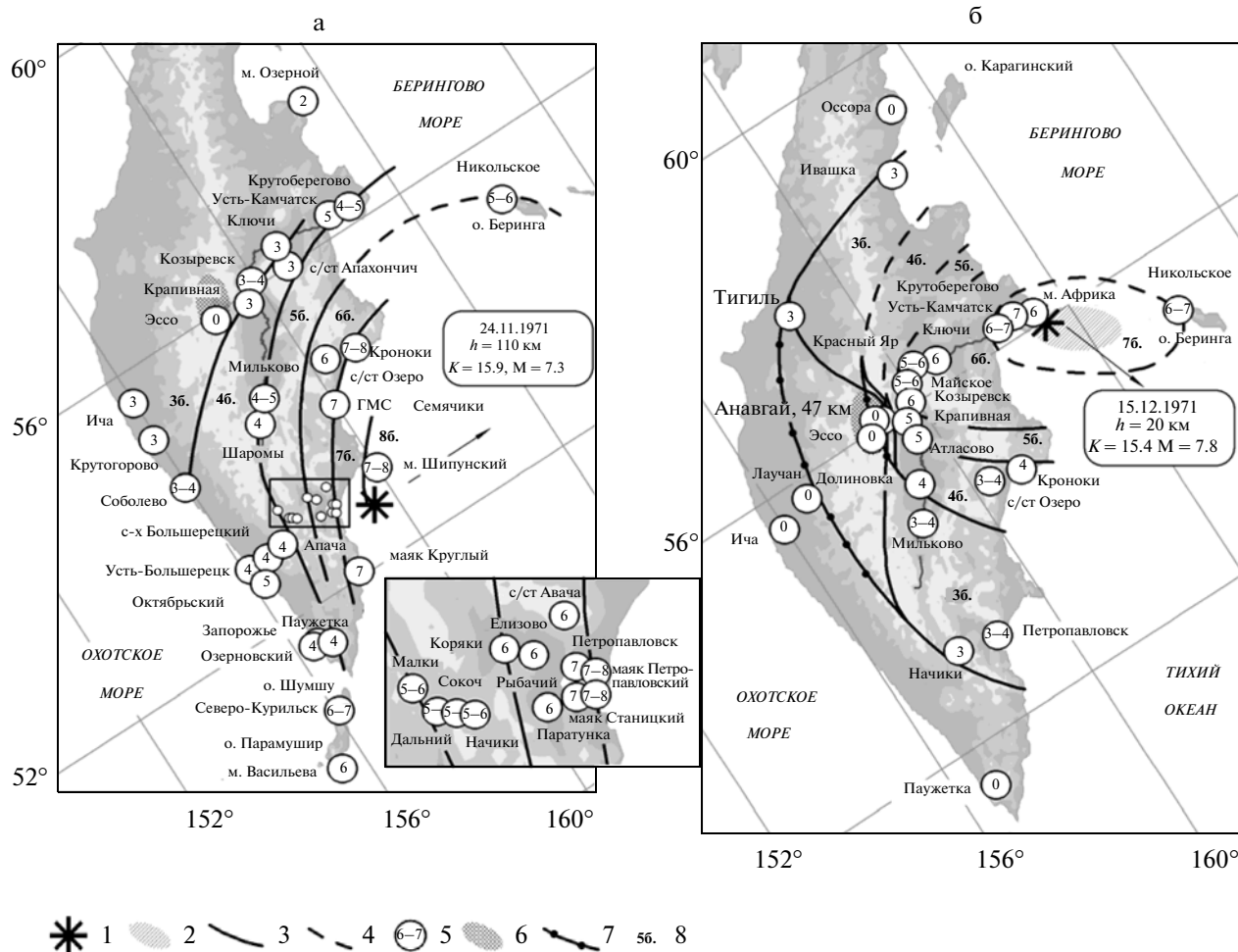


Рис. 10. Карты изосейст и макросейсмических проявлений в населенных пунктах Камчатского края Петропавловского землетрясения 1971 г. по [Гусев и др., 1975] (а) и Усть-Камчатского землетрясения 1971 г. по [Гусев, Зобин, 1975; Гусев и др., 1975а] (б).

1 — эпицентр; 2 — очаговая зона; 3 — уверенные изосейсты; 4 — приблизительные изосейсты; 5 — интенсивность в пункте, баллы; 6 — область anomalно низкой интенсивности; 7 — прохождение изосейсты в [Гусев и др., 1975а]; 8 — интенсивность сотрясения в обозначенной области.

Региональный каталог насчитывает 3892 землетрясения, отнесенных к зоне **Корякского сейсмического пояса**, из них 44 события с $K \geq 11.6$. Доля событий с $K \geq 8.6$, приходящаяся на зону 7 составляет 2.1%, а доля высвобожденной сейсмической энергии значительно выше — 19.4%.

Распределение землетрясений **Корякского сейсмического пояса** показано на рис. 8. Хорошо видно, что основная масса землетрясений расположена на глубинах менее 40 км. Незначительная доля событий с глубинами $h > 70$ км, скорее всего, является ошибками локации. Пик на глубине $h = 40$ км относится к событиям, произошедшим в юго-западной части зоны и связан с методическими проблемами гипоцентрии.

Активность зон 5, 8, 9 и 10 на протяжении 50 лет наблюдений была относительно низкой, и подробный анализ сейсмичности этих зон в данной работе не проводится.

КРАТКИЙ ОБЗОР МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО СИЛЬНЕЙШИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ КАМЧАТСКОГО КРАЯ 1962–2011 гг.

Самые сильные макросейсмические проявления на территории Камчатского края вызвали пять землетрясений, из представленных в табл. 2 (№ 2–4, 10, 14). Среди них два события произошли в **Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны**: **Петропавловское** землетрясение 24 ноября 1971 г.

(см. рис. 6б) и **Кроноцкое** 5 декабря 1997 г. (см. рис. 6а); два в **Корякском сейсмическом поясе**: **Озерновское** землетрясение 22 ноября 1969 г. и **Олюторское** 20 апреля 2006 г. (см. рис. 7, зона 7); и еще одно — **Усть-Камчатское** 15 декабря 1971 г. (см. рис. 7, зона 3) — в области сочленения Камчатской сейсмофокальной зоны и Алеутской дуги. Рассмотрим эти события в хронологическом порядке. Из-за малого количества макросейсмических пунктов приведенные на картах изосейсты сильно сглажены. Это характерно для всех землетрясений, рассматриваемых в данном макросейсмическом обзоре.

Озерновское землетрясение 22 ноября 1969 г. (см. табл. 2, № 2) произошло на юго-западе **Корякского сейсмического пояса** (зона 7) в районе мыса Озерной. Размер его очага имел протяженность около 100 км и был ориентирован на Ю-ЮЗ вдоль континентального склона Командорской котловины Берингова моря (рис. 9). Согласно [Федотов и др., 1973] землетрясение вызвало максимальные сотрясения с интенсивностью 8 баллов на маяке и метеостанции на м. Озерном, а также цунами с высотой волны до 10–15 м в том же районе. Ощущались два сильных толчка с интервалом 1.5–2 мин, сопровождавшиеся сильными плавными колебаниями. Людям было трудно устоять на ногах. В зданиях из шлакоблоков в районе маяка частично разбило стекла, в стенах и перекрытиях возникли сквозные трещины, а также в дымоходах и печах. В деревянном из бруса здании метеостанции разрушены печные трубы и дымоходы. Кирпичи труб с силой брошены на Ю-ЮЗ. В долине р. Ольховая, в устье которой расположена метеостанция, возникли трещины в грунте длиной до 10 м и шириной до 30 см. Произошел небольшой обвал на крутом склоне сопки и оползень в пойме реки. Во время землетрясения в устье реки замечено два фонтана воды высотой 70 см. Через 15–20 мин после землетрясения наблюдался подход волны цунами высотой около 10 м. У дома метеостанции она выросла до 12–15 м. Этой волной был поломан кедровый стланник возле станции, выбита стена у дощатой бани. Волна прошла вверх по реке на расстояние до 500 м, таща за собой лодку и бочки с горючим. Взломанный речной лед толщиной 20 см на протяжении 300 м был выброшен на речную террасу. Через 20 мин подошла вторая волна высотой 3–5 м.

Во всех пунктах 4–6 балльных зон землетрясение имело сильное физиологическое воздействие на людей: многие ощущали головокружение и тошноту. Характер колебаний менялся от тряски с сильными толчками и сопутствующими плавными

колебаниями в 8 балльной зоне до плавных колебаний в 4–5 балльной зоне.

На рис. 9 представлена карта макросейсмических проявлений Озерновского землетрясения в населенных пунктах Камчатского края и приближенная схема изосейст из работы [Федотов и др., 1973]. Изосейсты землетрясения проведены исследователями достаточно условно. В пунктах Анапка, Ильпырский и Тиличики авторами [Федотов и др., 1973] допускается интенсивность 2–3 балла, хотя по их же макросейсмическим данным землетрясение в этих пунктах не ощущалось. Вызывает вопрос и низкая интенсивность сотрясений на м. Африка. Тем не менее, закономерность затухания балльности с расстоянием сохраняется.

Как упоминалось выше, Озерновское землетрясение вызвало сильное цунами. Это единственное событие инструментального периода наблюдений 1962–2010 гг., вызвавшее сильное цунами, которое наблюдалось на всем побережье залива Озерного, в пос. Никольском на о. Беринга, в бухте Лаврова на восточном побережье п-ва Говена (см. рис. 9). Также мареографами записаны волны высотой 0.2 м в Усть-Камчатске, 0.4 м и 0.52 м на островах Атту и Шемя в группе Ближних и 0.27 м на о. Адах в группе Андреяновских Алеутских островов [Федотов и др., 1973].

Петропавловское землетрясение 24 ноября 1971 г. (см. табл. 2, № 3) произошло под океаном вблизи Петропавловска на глубине 110 км (рис. 10а). Макросейсмическому воздействию подверглись населенные пункты, расположенные на расстояниях до 600 км от эпицентра. Самые сильные сотрясения 7–8 баллов наблюдались как в ближайших пунктах — на м. Шипунском, на Петропавловском и Станицком маяках, так и в значительно более отдаленном пос. Кроноки. С интенсивностью сотрясений 7 баллов землетрясение проявилось в Петропавловске и Рыбачьем, расположенных вблизи эпицентра, а также в одинаково удаленных от эпицентра пунктах — ГМС Семячки и маяк Круглый. Во всех упомянутых выше пунктах наблюдались в той или иной степени повреждения конструктивных частей зданий, падение предметов различной тяжести и устойчивости, испуг, паника жителей и трудность сохранять ими равновесие — земля под ногами “ходила волнами”. Качались дома, столбы, деревья. Во всех этих пунктах на поверхности земли образовались трещины шириной до 1 см и длиной в несколько метров. На м. Шипунском вдоль бровки крутого склона в мерзлом грунте замечена трещина шириной до 10 см. В Петропавловске зафиксированы многочисленные повреждения водопроводной сети и канализации; в на-

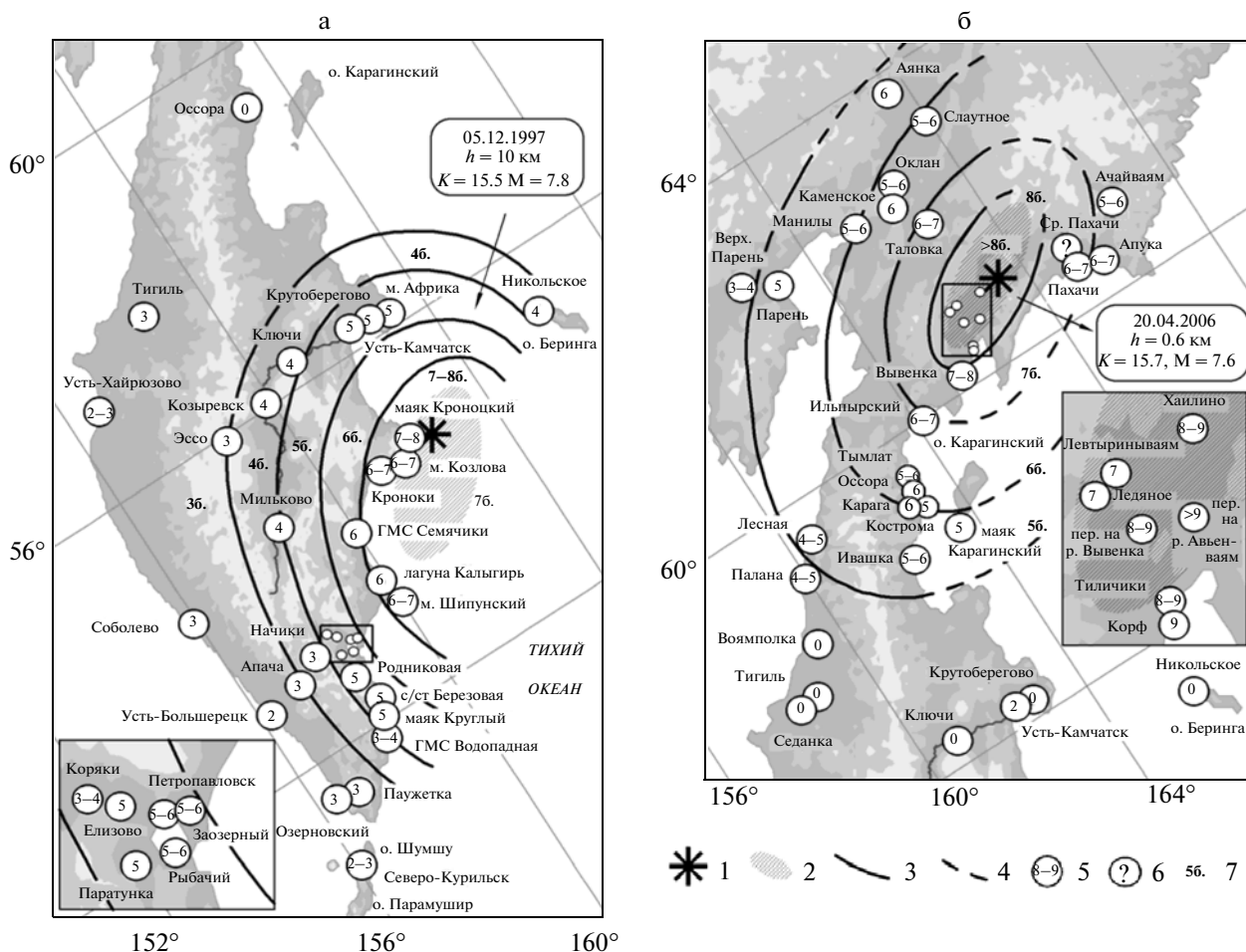


Рис. 11. Карты изосейст и макросейсмических проявлений Кроноцкого землетрясения 1997 г. [Гусев и др., 1998] (а) и Олюторского землетрясения 2006 г. [Митюшкина и др., 2007] (б).

1 – эпицентр; 2 – очаговая зона; 3 – уверенные изосейсты; 4 – приближенные изосейсты; 5 – интенсивность в пункте, баллы; 6 – землетрясение ощущалось, но мало данных для определения интенсивности; 7 – интенсивность сотрясения в обозначенной области.

мытых грунтах образовалась система трещин шириной до 10 см, в двух местах просадка грунта до 0.5 м. На Култушном и Халактырском озерах разбило трещинами лед толщиной в 30 см, местами со слабым торошением и выплескиванием воды. На башне маяка Станицкого на стыке цоколя и ствола маяка образовалась сквозная трещина со смещением в восточном направлении [Баранников и др., 1975; Гусев и др., 1975].

Карта изосейст из [Гусев и др., 1975] и интенсивности сотрясений в населенных пунктах Камчатского края показана на рис. 10а. Наблюдается вытянутость изосейст вдоль восточного побережья по простирацию сейсмофокальной зоны. В работе [Гусев и др., 1975] исследователи предполагают, что это можно объяснить слабым затуханием сейсмической энергии в фокальной зоне, а также направлением подвижки в очаге. Обращает

внимание отсутствие ощущений землетрясения в Эссо. Хотя в других пунктах, расположенных на таком же расстоянии от эпицентра, интенсивность сотрясения составляла 3 балла. Это объяснялось существованием под соответствующим участком Эссо – Анавгай крупной зоны разлома, выходящей на поверхность в районе Анавгай и обладающей высокими поглощающими свойствами [Гусев и др., 1975а].

Усть-Камчатское землетрясение 15 декабря 1971 г. (см. табл. 2, № 4). Землетрясение и ряд его афтершоков формально относятся к **Командорскому сегменту Алеутской дуги** (см. рис. 4, 7, зона 3). Однако его очаг, по-видимому, тесно связан с границей этой структуры и Камчатской сейсмофокальной зоны. Очаг имел протяженность около 100 км с ориентацией СЗ-ЮВ и был расположен в Камчатском проливе, южнее п-ва Кам-

чатский мыс (см. рис. 106). В указанном районе это единственное событие в XX веке подобной магнитуды ($M = 7.8$). Землетрясение интересно еще и тем, что его местоположение и первоочередность были предсказаны С.А. Федотовым на основе метода долгосрочного сейсмического прогноза [Федотов, 1968].

Усть-Камчатское землетрясение ощущалось с интенсивностью от 3 до 7 баллов в населенных пунктах, расположенных на расстоянии до 500 км от эпицентра. В максимальную 7 балльную зону сотрясений попали пос. Крутоберегово, Усть-Камчатск и Никольское на о. Беринга. На момент землетрясения поселки в основном состояли из одно-, двухэтажных засыпных, деревянных, шлакоблочных и бетоноблочных зданий с антисейсмическим усилением. В большинстве строений появились различные повреждения. Во всех поселках во многих деревянных и засыпных домах наблюдались трещины в штукатурке и в смыкании дымоходов и печей со стенами или потолком, в отдельных домах зафиксировано падение кирпичных труб. В новом поселке Усть-Камчатска во многих бетоноблочных зданиях с усилением наблюдались сквозные волосяные и до 1 мм трещины, трещины в штукатурке, перегородках, несущих стенах, наблюдалось раскрытие антисейсмических швов. В пос. Никольском в отдельных шлакоблочных домах — тонкие сквозные трещины в стенах, падение части дымовых труб, трещины в кирпичных печах. Во всех этих поселках отмечены повреждения подземных участков водопровода и отопления, линии электропередачи и радиосети. Наблюдалось проявление землетрясения и на поверхности земли: на замерзших водоемах треснул лед, вдоль берегов водоемов появились трещины в грунте, просел смерзшийся снег в лесу, на взлетно-посадочной полосе Усть-Камчатского аэропорта — вспучивание и трещины в грунте. В Усть-Камчатске мареографами зафиксирована небольшая волна цунами с размахом 0.5 м [Гусев, Зобин, 1975; Гусев и др., 1975a].

На рис. 106 представлена карта изосейст из [Гусев, Зобин, 1975; Гусев и др., 1975a] и интенсивности сотрясения в населенных пунктах Камчатского края. К построению карты изосейст сейсмологи подходили дважды. В первом варианте, представленном в [Гусев и др., 1975a], изосейсты имели классическую эллиптическую форму. Позже карта была пересмотрена. У исследователей вызывала интерес область аномально низкой интенсивности в районе Эссо (в населенных пунктах Эссо, Анавгай, 47-км землетрясение не ощущалось, аналогичная аномалия наблюдалась и при Петропавловском землетрясении). Поэтому

авторами [Гусев, Зобин, 1975] было решено провести изосейсты по факту макросейсмических данных, отражая присутствие аномальной зоны высокого поглощения сейсмических волн (см. рис. 106).

В [Гусев, Зобин, 1975; Гусев и др., 1975a] отмечалось, что интенсивность сотрясений в ближней зоне была ниже ожидаемой для землетрясения с $M = 7.8$. В первую очередь это относится к ближайшему к эпицентру пункту м. Африка ($I = 6$ баллов). Подобная аномалия в значениях интенсивности сотрясения на м. Африка наблюдалась и при Озерновском землетрясении 1969 г. — 5 баллов в 6–7 балльной зоне (см. рис. 9).

Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 г. (см. табл. 2, № 10) произошло в *Северной части Камчатской сейсмофокальной зоны* (см. рис. 6a) вблизи Кроноцкого полуострова. Оно является самым сильным землетрясением в этом районе за весь 50-летний период сейсмологических наблюдений. Очаг протяженностью около 200 км имеет ЮЗ простирание (рис. 11a). Землетрясение вызвало максимальные сотрясения 7–8 баллов на Кроноцком маяке, ближайшем к эпицентру населенном пункте и располагающемся на границе очаговой зоны. Через три дня после землетрясения было проведено макросейсмическое обследование эпицентральной зоны с воздуха (на вертолете) вдоль береговой линии по маршруту Петропавловск — ГМС Семячки — далее до Кроноцкого маяка, с посадками в населенных пунктах по маршруту. Во время осмотра береговой линии наблюдался битый лед в устьях ручьев (толщина льда 15–20 см), местами небольшие оползни и небольшие осыпи крутых скальных берегов. Для всей прибрежной полосы, где есть пляж, характерны многочисленные трещины до 5 см в мерзлом песке на верхнем краю пляжа. Наблюдалась следы небольшого цунами с высотой заплеска до 1.5 м на побережье Кроноцкого полуострова и более слабое в Кроноцком заливе [Гусев и др., 1998].

Заметим, что при макросейсмическом обследовании построек на территории Кроноцкого маяка были выявлены повреждения, характерные для интенсивности сотрясений 6–7 баллов. В одноэтажном шлакоблочном доме появились небольшие трещины на стыках между бетонными плитами перекрытия, в небольшом количестве тонкие трещины в перегородках, в основном в углах проемов. В печи на цементной кладке тонкие трещины. С внешней стороны здания никаких повреждений не замечено. Качество строительства визуально хорошее. Печных труб нет. Во время землетрясения все жители маяка выбежали на

улицу. От сильных колебаний на несколько десятков секунд вышел из строя аппарат вращения линзы маяка. Когда колебания пошли на убыль, линза снова начала вращаться. При осмотре никаких трещин в стволе маяка или на отмошке не обнаружили [Гусев и др., 1998].

Во время сводного анализа макросейсмических данных оказалось, что оценка интенсивности сотрясений в районе Кроноцкого маяка значительно ниже ожидаемой, всего 6–7 баллов. Учитывая, что маяк расположен на скальных грунтах, исследователи внесли исправление балльности, приведя ее к средним грунтам, т.е. увеличив на 1 балл. Полученное значение интенсивности сотрясений 7–8 баллов также считается аномально низким.

Карта с изосейстами из [Гусев и др., 1998] и интенсивностью проявления Кроноцкого землетрясения в населенных пунктах Камчатского края представлена на рис. 11а. Наблюдается вытянутость изосейст вдоль простирания очага и островной дуги в направлении СВ-ЮЗ, что характерно для камчатских землетрясений. Однако изосейсты асимметричны относительно центра очага — они вытянуты к ЮЗ. Исследователи в работе [Гусев и др., 1998] объясняют это эффектом направленности излучения больших амплитуд колебаний в ЮЗ направлении. При сравнении интенсивности сотрясений в населенных пунктах, равноудаленных от эпицентра, очевидно, что в пунктах, расположенных на тихоокеанском побережье южнее очага, балльность выше, чем в пунктах севернее очага и центральной части Камчатки.

Олюторское землетрясение 20 апреля 2006 г. (см. табл. 2, № 14) произошло в **Корякском сейсмическом поясе** (см. рис. 7, зона 7) в южной части Корякского нагорья (см. рис. 11б). Его очаговая область протянулась в северо-восточном направлении на расстояние более 200 км. Землетрясение ощущалось на всей территории Корякского автономного округа, входящего в состав Камчатского края. Сотрясению подверглась территория около 400 000 км². В очаговой зоне на протяжении 140 км образовались сейсморазрывы с амплитудой смещения до 4 м [Пинегина, 2007]. Для жителей населенных пунктов, расположенных в эпицентральной зоне — пос. Хаилино, Тилички, Корф — это событие стало катастрофическим. Однако жертв среди населения не было: застройка в поселках в основном деревянная или каменная одно-, двух-этажная, землетрясение произошло в дневное время, и жители успели покинуть помещения. Во всех этих поселках во время землетрясения образовались трещины в грунте, которые подходили ко многим зданиям или проходили под ними, тем самым, раскалывая их фундаменты, а иногда и

несущие стены. Образовались зазоры между фундаментом и грунтом до 15 см. Вдоль трещин местами наблюдались грязевые выбросы и просадка грунта. В Корфе 72% зданий имели конструктивные повреждения на грани обрушения или с разрушением отдельных частей зданий. Характер повреждений преимущественно связан с водонасыщенными и рыхлыми грунтами поселка. По степени повреждений зданий и проявлениям на поверхности земли интенсивность сотрясений в Корфе достигала 9 баллов. В поселках Тилички и Хаилино аналогичные повреждения имели около 50% зданий. Интенсивность сотрясения в них определена 8–9 баллов. Интенсивность более 9 баллов дана для пункта “переправа на р. Авьенваям”, так как довольно крепкий деревянный домик на фундаменте получил существенные повреждения снаружи и внутри. Здание находится в нескольких километрах от сейсморазрыва. Вызывает вопрос низкая интенсивность сотрясения в геологических пос. Ледяное и Левтыриновы. В этих поселках деревянные балки стоят прямо на земле без фундамента. Возможно, что интенсивность сотрясений здесь была более 7 баллов, но утверждать это нет оснований, имеются лишь признаки реакции предметов и людей. Следует также заметить, что землетрясение произошло в период сезонного промерзания грунтов до 2,5 м, реки были скованы льдом, толщина которого доходила до 1–1,5 м. Сезонная мерзлота также могла привести к уменьшению макросейсмического проявления землетрясения [Константинова, 2007; Митюшкина и др., 2007; Иванова и др., 2010].

На рис. 11б представлена карта с изосейстами из [Митюшкина и др., 2007] и интенсивностью проявления Олюторского землетрясения в населенных пунктах Камчатского края. В связи с отсутствием достаточного количества данных не удалось провести изосейсты высокой балльности — 9 и более. По той же причине на карте отсутствуют изосейсты менее 5 баллов. Наблюдается вытянутость изосейст в направлении ЮЗ-СВ вдоль очаговой зоны.

Во время землетрясения жителей поселков, расположенных в эпицентральной и 7–8 балльной зонах, охватила всеобщая паника. Колебания были такой силы, что многие теряли равновесие и падали. В испуге люди с трудом покидали помещения. В эпицентральной зоне люди, оказавшись на улице, еще больше были потрясены образованием на их глазах трещин в грунте, которые то сужались, то расширялись. Из трещин били фонтаны грязи. Рвало провода от сильного раскачивания телеграфных столбов. Дома грохотали и подпрыгивали. Деревья сильно раскачивало. Были

повреждены инженерные коммуникации (теплотрасса, водопровод, линии электропередач).

Во всех населенных пунктах, расположенных в области от 6 балльной изосейсты к эпицентру, на замерзших водоемах наблюдалось испаривание и разрыв метрового льда, из трещин просачивалась или била фонтанами вода.

Характерной особенностью Олюторского землетрясения явилось его сильное физиологическое воздействие на людей. Кроме сильного испуга и паники в большинстве поселков жители ощущали недомогание, тошноту и сильную головную боль. Все очевидцы отмечали длительность колебаний до 5 мин и схожесть их с сильной качкой как на корабле в море.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детальные сейсмологические наблюдения, начатые на Камчатке 50 лет назад, позволили накопить уникальный материал для исследования строения земной коры, взаимодействия литосферных плит, связей вулканизма и тектоники, физики очага сильного землетрясения, а также решения многих научно-прикладных задач. Уже первые 25 лет наблюдений выявили основные черты сейсмичности Камчатки [Федотов и др., 1987], которые были подтверждены данными последующей четверти века.

Однако полувековой ряд наблюдений во многом изменил и дополнил представления о сейсмичности Камчатского региона. В первую очередь это касается сейсмофокальной зоны, строение которой было уточнено. Было обнаружено существенное различие в строении ее южного и северного сегментов. Сейсмологические данные подтвердили связь зоны субдукции с поддвижением Тихоокеанской плиты под Евразийскую.

В Командорском сегменте Алеутской островной дуги обнаружена северная ветвь сейсмичности, позволяющая выделять самостоятельную Командорскую микроплиту, которая с меньшей скоростью движется параллельно Тихоокеанской плите. Механизмами землетрясений подтвержден сдвиговый характер движений в этой зоне.

Выделены два новых, ранее неизвестных, сейсмических пояса — юго-восточное замыкание Арктического пояса, служащего границей Евразийской и Северо-Американской плит, и Корякского, охватывающего все северо-западное побережье Берингова моря и являющегося границей плиты Берингии. Существенно пополнились сведения об активности внутренних районов Камчатки.

Одной из важных научно-прикладных задач сейсмологии является сейсмическое районирование территорий как всей России, так и Камчатского края, в частности. Созданный за 50 лет детальный каталог землетрясений сыграл немало важную роль в составлении карты ОСР-97, а также при проведении работ по микрорайонированию территорий.

В заключение авторы статьи выражают огромную благодарность создателям региональной сети сейсмических станций Камчатки, системы и методики обработки землетрясений: С.А. Федотову, И.П. Кузину, П.И. Токареву, М.Ф. Бобкову, О.Ф. Шайдулину, А.М. Багдасаровой, А.А. Годзиговской и др. Мы благодарны всем сотрудникам Тихоокеанской сейсмологической экспедиции, Института вулканологии и Камчатского филиала ГС РАН, без кропотливого и самоотверженного труда которых были бы невозможны многие исследования сейсмичности Камчатки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авдейко Г.П., Попруженко С.В., Палуева А.А. Тектоническое развитие и вулcano-тектоническое районирование Курило-Камчатской островодужной системы // Геотектоника. 2002. № 4. С. 64–80.
- Баранников Л.Б., Борисова Н.С., Ершов И.А. и др. Макросейсмическое обследование последствий землетрясения 24 (25) ноября 1971 г. на территории г. Петропавловска-Камчатского // Сильные Камчатские землетрясения 1971 года. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 15–62.
- Гордеев Е.И., Гусев А.А., Левина В.И. и др. Мелкофокусные землетрясения п-ва Камчатка // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 28–38.
- Гордеев Е.И., Дроздин Д.В., Касахара М. и др. Сейсмические явления, связанные с извержениями в Карымском вулканическом центре // Вулканология и сейсмология. 1998. № 2. С. 28–48.
- Гордеев Е.И., Левина В.И., Чебров В.Н. и др. Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. М.: ГС РАН, 1999. С. 102–114.
- Гусев А.А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. 1979. № 1. С. 74–81.
- Гусев А.А., Зобин В.М. Макросейсмическое описание Усть-Камчатского землетрясения. // Сильные Камчатские землетрясения 1971 года. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 85–96.
- Гусев А.А., Зобин В.М., Кондратенко А.М. и др. Петропавловское землетрясение 24 (25). XI // Землетрясения в СССР в 1971 году. М.: Наука, 1975. С. 163–171.
- Гусев А.А., Зобин В.М., Кондратенко А.М. и др. Усть-Камчатское землетрясение 15. XII // Землетрясения в СССР в 1971 году. М.: Наука, 1975а. С. 172–184.
- Гусев А.А., Левина В.И., Салтыков В.А. и др. Сильное Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 года: основные данные, сейсмичность очаговой зоны, механизм

- очага, макросейсмический эффект // Кроноцкое землетрясение на камчатке 5 декабря 1997 года. Предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский: КГАРФ, 1998. С. 32–54.
- Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. М.: ИФЗ РАН, 2010. Т. 46. № 3. С. 22–34.
- Землетрясения в СССР (1964–1991 гг.). Ежегодники. М.: Наука, 1967–1991.
- Землетрясения Северной Евразии (1992–2005 гг.). Ежегодники. Обнинск: ГС РАН, 1992–2011.
- Зобин В.М. Механизм очагов землетрясений и сеймотектоническое деформирование Камчатско-Командорского региона // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 78–92.
- Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Левина В.И. Макросейсмическая оценка последствий Олюторского землетрясения и его сильнейших афтершоков // Вулканология и сейсмология. 2010. № 2. С. 71–80.
- Константинова Т.Г. Макросейсмическое обследование последствий Олюторского землетрясения 20 (21) апреля 2006 г. // Олюторское землетрясение 20 (21) апреля 2006 г. (Корякское нагорье). Первые результаты исследований / Отв. ред. Чебров В.Н. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. С. 54–125.
- Кузин И.П. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. М.: Наука, 1974. 145 с.
- Ландер А.В., Букчин Б.Г., Дрознин Д.В. и др. Тектоническая позиция и очаговые параметры Хаилинского (Корякского) землетрясения 8 марта 1991 г.: существует ли плита Берингия? // Вычислительная сейсмология. М.: Наука, 1994. Вып. 26. С. 103–122.
- Ландер А.В., Левина В.И., Иванова Е.И. Сейсмическая история Корякского нагорья и афтершоковый процесс Олюторского землетрясения 20(21) апреля 2006 г. $M_W = 7.6$ // Вулканология и сейсмология. 2010. № 2. С. 16–30.
- Ландер А.В., Левина В.И., Митюшкина С.В. Хаилинское землетрясение 1991 г. ($M = 6.6$) – форшок Олюторского 2006 г. ($M = 7.6$)? (тектонофизический взгляд на проблему) // Труды Второй региональной научно-технической конференции. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский. 11–17 октября 2009 г. / Отв. ред. Чебров В.Н. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010а. С. 136–140.
- Ландер А.В., Левин В.Е., Титков Н.Н. Современные движения Командорской микроплиты по сейсмологическим и GPS данным // Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Вулканизм и геодинамика. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. Т. 2. С. 621–624.
- Ландер А.В., Пинегина Т.К. Парадоксы очага Олюторского землетрясения 2006 г. – глубинная структура и динамика // Труды Второй региональной научно-технической конференции. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Петропавловск-Камчатский. 11–17 октября 2009 г. / Отв. ред. Чебров В.Н. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. С. 131–135.
- Левина В.И., Чеброва А.Ю., Ландер А.В. и др. Командорское-II землетрясение 5 декабря 2003 г. с $M_S = 6.8$, $I_0 = 6$ (Командорские острова) // Землетрясения Северной Евразии в 2003 году. Обнинск: ГС РАН, 2010. С. 374–381.
- Леглер В.А. Развитие Камчатки в кайнозой с точки зрения теории тектоники литосферных плит // Тектоника литосферных плит (источники энергии тектонических процессов и динамика плит). М.: Ин-т океанологии АН СССР, 1977. С. 137–169.
- Лемзиков В.К., Гусев А.А. Энергетическая классификация близких Камчатских землетрясений по уровню кода-волн // Вулканология и сейсмология. 1989. № 4. С. 83–97.
- Митюшкина С.В., Левина В.И., Раевская А.А. Макросейсмическая оценка последствий Олюторского землетрясения 20 (21) апреля 2006 года // Олюторское землетрясение 20 (21) апреля 2006 г. (Корякское нагорье). Первые результаты исследований / Отв. ред. Чебров В.Н. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. С. 34–51.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 535 с.
- Пинегина Т.К. Сейсмические деформации в эпицентральной зоне Олюторского землетрясения // Олюторское землетрясение 20 (21) апреля 2006 г. (Корякское нагорье). Первые результаты исследований / Отв. ред. Чебров В.Н. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. С. 126–169.
- Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) / Отв. ред. Старовойт О.Е. Обнинск: ЦОМЭ ИФЗ РАН.
- Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности сейсмического районирования в долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 121–150.
- Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.
- Федотов С.А., Гусев А.А., Зобин В.М. и др. Озерновское землетрясение и цунами 22 (23) ноября 1969 г. // Землетрясения в СССР в 1969 году. М.: Наука, 1973. С. 195–208.
- Федотов С.А., Гусев А.А., Чернышева Г.В. и др. Сейсмофокальная зона Камчатки (геометрия, размещение очагов в ней, связь с вулканизмом) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 4. С. 91–107.
- Федотов С.А., Токарев П.И., Годзиковская А.А. и др. Детальные данные о сейсмичности Камчатки и Командорских островов (1965–1978 гг.) // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 35–46.
- Федотов С.А., Шумилина Л.С., Чернышева Г.В. Сейсмичность Камчатки и Командорских островов по данным детальных исследований // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 29–60.
- Lander A.V., Shapiro M.N. Origening of the Kamchatka Subduction Zone // Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region. AGU Geophysical Monograph Series. 2007. V. 172. P. 57–64.
- Mackey K. G., Fujita K., Gunbina L. V. et al. Seismicity of the Bering Strait region: evidence for a Bering block // Geology. 1997. V. 25. P. 979–982.

The Seismicity of the Kamchatka Region: 1962–2011

V. I. Levina^a, A. V. Lander^b, S. V. Mityushkina^c, and A. Yu. Chebrova^c

^a *Geophysical Service, Russian Academy of Sciences, Obninsk, Kaluzhskaya Oblast', pr. Lenina 189, 249030 Russia*
e-mail: vlr.levina@gmail.com

^b *International Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Profzoyuznaya ul. 84/32, Moscow, 117997 Russia*
e-mail: land@mitp.ru

^c *Kamchatka Branch, Geophysical Service, Russian Academy of Sciences, bul'var Piipa 9, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006 Russia*
e-mail: mitik@emsd.ru

Abstract—This paper reviews the Kamchatka seismicity for a 50-year period of observation. These data were used to carry out a regionalization of Kamchatka's seismic volume and adjacent areas. In all, ten zones were identified with differing activities and origins of seismicity. A comparative analysis was carried out for the seismicity in the more active zones. We found significant differences between the structures of the southern and the northern segment in the Kamchatka part of the Kuril–Kamchatka dipping seismic zone. Seismological data corroborated a relationship between the subduction zone and the underthrusting of the Pacific plate under the Eurasian plate. These data from the 50-year period of observation helped identify a new Koryak seismic belt that encompasses the northwestern coast of the Bering Sea. We provide a brief review of macroseismic effects due to the most significant earthquakes for the 1962–2010 period.