

**КАМЧАТКА И КОМАНДОРСКИЕ ОСТРОВА****В.И. Левина<sup>1</sup>, Е.И. Иванова<sup>1</sup>, А.В. Ландер<sup>2</sup>, Е.М. Гусева<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Камчатский филиал ГС РАН, Петропавловск-Камчатский, [valeria@emsd.iks.ru](mailto:valeria@emsd.iks.ru)<sup>2</sup>Международный институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва, [land@mitp.ru](mailto:land@mitp.ru)

Сеть сейсмических станций Камчатки в 2002 г. не изменилась, но в обработку были включены станции «Каменское» (КАМР) и «Карымшина» (КРМР), которые до этого работали в тестовом режиме. Параметры всех сейсмических станций даны в [1, 2]. Расположение станций и система изолиний энергетической представительности  $K_{\min}$  показаны на рис. 1. Методика определения параметров землетрясений не изменилась и изложена в [3–5]. В апреле 2006 г. на совещании руководителей ГС РАН [6] были утверждены новые формальные границы всех сейсмоактивных регионов России. Новые границы Камчатки изображены на рис. 1 сплошной серой линией. Для информации на этом же рисунке пунктирной линией нанесены старые границы региона. Однако анализ сейсмичности проводится по всем зарегистрированным Камчатской региональной сетью землетрясениям с  $K_S \geq 8.6$ , часть их произошла вне зоны ответственности Камчатского филиала. Это связано с тем, что сетью КФ ГС РАН регистрируются землетрясения из смежных сейсмических регионов, которые не определяются их сетями. Среди них глубокие события Курило-Охотского региона, происходящие у юго-западных границ Камчатки и непрерывно продолжающие Камчатскую сейсмофокальную зону, а также землетрясения Корякского нагорья Северо-Востока России.

Как нетрудно заметить, станция «Каменское» и Корякское нагорье, где в 1991 г. произошла значительная сейсмическая активизация, выходят за официальные границы Камчатки. В то же время эта территория находится на значительном удалении от сети станций Северо-Востока России. Установка станции «Каменское» позволяет Камчатской сети довольно уверенно регистрировать землетрясения с энергетическим классом  $K_S \geq 9.6$ , происходящие в Корякском нагорье. Сейсмичность Корякского нагорья вызывает значительный интерес у исследователей, и события, происходящие на этой территории, не должны исчезать из поля зрения. Поэтому область ответственности Камчатского филиала была на севере несколько расширена, что отображено на рис. 1. Границы, установленные в 2006 г., а также предлагаемые в наст. ст. уточненные границы, нанесены на все приведенные ниже карты. В каталоге [7] события, выходящие за уточненные границы региона Камчатки и Командорских островов, помечены символом «\*» в графе 1.

**Деление территории Камчатки** и прилегающих областей на отдельные сейсмоактивные зоны проведено впервые, исходя из анализа сейсмичности за весь период детальных наблюдений с 1962 г. и с учетом тектонических особенностей региона. Активная область Камчатки внутри формальных границ региона разделена на пять сейсмоактивных зон, каждая из которых имеет сложную трехмерную форму. Большинство из них дополнительно разделены по глубине на три слоя, и каждому слою дан идентификационный номер (рис. 2 а, б, в). Глубины слоев выбраны в соответствии с обычной классификацией: поверхностные ( $h \leq 70$  км), промежуточные ( $70 \text{ км} < h \leq 350 \text{ км}$ ) и глубокие ( $h > 350 \text{ км}$ ). При этом некоторые из слоев могут оставаться пустыми, без очагов землетрясений.

Список зон и слоев:

№ 1 – Камчатская сейсмофокальная зона, слои 1, 101, 211, 221;

№ 2 – Командорский сегмент Алеутской дуги, слои 2, 102, 202;

№ 3 – Континентальная часть п-ва Камчатка, слой 3;

№ 4 – Корякия и западная часть Берингова моря, слои 4, 104, 204;

№ 5 – Северо-западная часть Тихоокеанской плиты, слои 5, 105, 205.

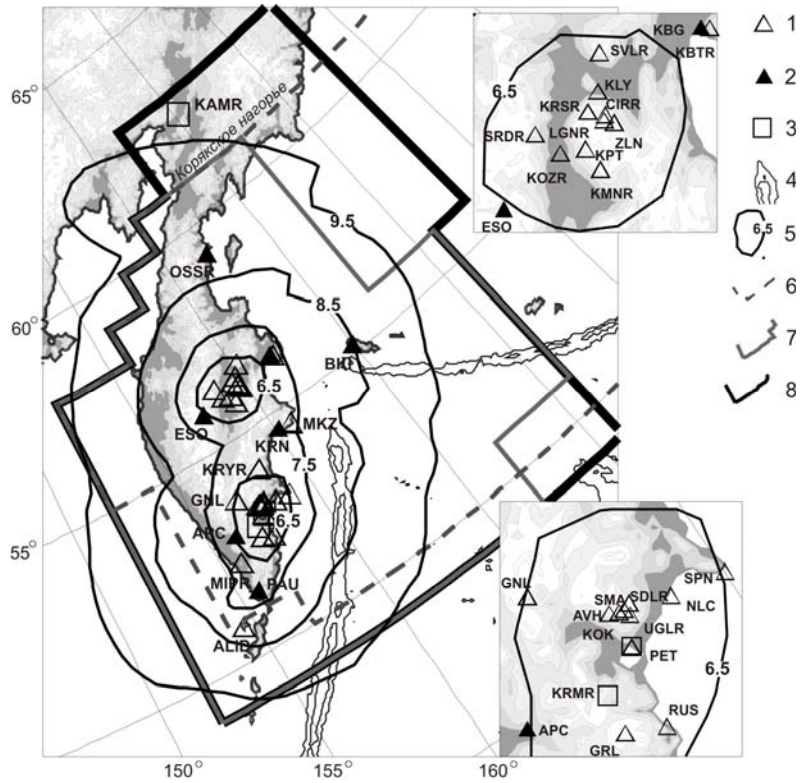


Рис. 1. Карта энергетической представительности  $K_{min}$  землетрясений и сеть сейсмических станций Камчатки в 2002 г.

1 – радиотелеметрическая сейсмическая станция (SVLR – «Шивелуч», KLY – «Ключи», KRSR – «Крестовский», CIRR – «Цирк», LGNR – «Логинов», ZLN – «Зеленая», SRDR – «Срединный», KOZR – «Козырь», KPT – «Копыто», KMNR – «Каменистая», KBTR – «Крутоберегово-1», MKZ – «Мыс Козлова», KRYR – «Карымский», SPN – «Шипунский», GNL – «Ганалы», NLC – «Налычева», SDLR – «Седловина», KOK – «Коряка», AVH – «Авача», UGLR – «Угловая», PET – «Петропавловск», GRL – «Горелый», RUS – «Русская», MIPR – «Малая Ипелька», ALID – «Алаид»); 2 – сейсмическая станция с регистрацией на фотобумагу (OSSR – «Оссора», BKI – «Беринг», KBG – «Крутоберегово», ESO – «Эссо», KRN – «Кроноки», APC – «Апача», PAU – «Паужетка»); 3 – цифровая сейсмическая станция (KAMR – «Каменское», KRMR – «Карымшина», PET – «Петропавловск»); 4 – изобаты 6000 и 7000 м; 5 – изолиния  $K_{min}$ ; 6 – граница региона 1985 г. [3]; 7 – границы региона 2006 г.; 8 – граница региона, предлагаемая в наст. ст. На врезках показаны сети сейсмических станций Северной группы вулканов (вверху) и Авачинско-Корякской группы вулканов (внизу). Названия станций даны по [1].

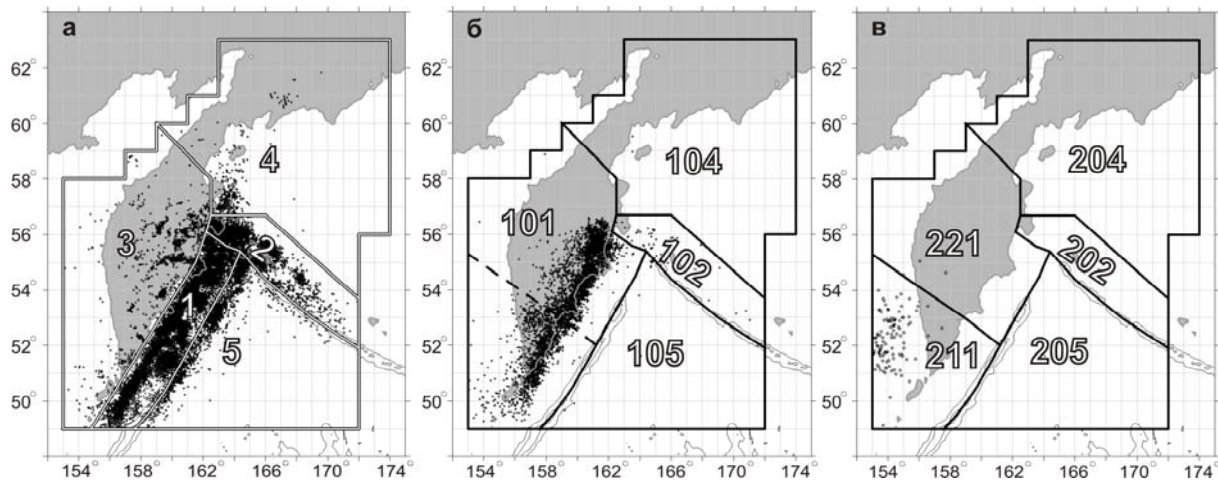


Рис. 2. Карта-схема пяти зон сейсмической активности Камчатки и прилегающих территорий: а – поверхностный слой с  $h=0-70$  км; б – промежуточный слой с  $h=71-350$  км; в – глубокий слой с  $h=351-700$  км. Точками на картах нанесены эпицентры землетрясений Камчатского регионального каталога за 1962–2001 гг.

Правая цифра в номере слоя соответствует номеру зоны. В большинстве зон увеличение номера слоя соответствует возрастанию глубины. Исключение составляет глубокая часть Камчатской сейсмофокальной зоны, которая дополнительно разделена в плане на северную и южную области – слои 211, 221 (рис. 2 в). Северная и южная части Камчатской сейсмофокальной зоны имеют принципиально разную максимальную глубину. Граница между ними пересекает Камчатку в районе Авачинской бухты (граница областей 211 и 221 на рис. 2 в). Южнее этой границы систематически фиксируются землетрясения на глубинах до  $h=650$  км, севернее – менее  $h=500$  км, причем таких очагов мало – за все время наблюдений здесь зафиксировано всего четыре события с  $h=400-500$  км. Данный факт хорошо виден, в частности, на расположенном далее глубинном разрезе землетрясений за 2002 г. (рис. 4 б). Предполагается, что различие в строении двух частей сейсмофокальной зоны связано с более молодым, поздне-миоценовым, возрастом заложения северного сегмента [8]. Таким образом, любое новое событие в слое 221 может представлять большой интерес, поэтому сочли необходимым выделить этот объем как самостоятельную единицу.

В промежуточном слое 101 северная и южная части сейсмофокальной зоны не разделены. Согласно каталогу Камчатской региональной сети за 1962–2001 гг., граница сейсмичности в северном сегменте промежуточного слоя сейсмофокальной зоны проходит на глубине  $h=380$  км. Поэтому для слоя 221 принято данное значение положения кровли, несколько превышающее глубину  $h=350$  км, принятую для остальных районов. Соответственно, подошва слоя 101 имеет форму ступени, совпадающей с границей северного и южного сегментов зоны. Этот факт отмечен пунктирной линией на рис. 2 б.

На рис. 2, помимо внутренних границ Камчатского региона, нанесены эпицентры землетрясений за 1962–2001 гг., попадающие в указанные диапазоны глубин. Приведем некоторые характеристики сейсмичности региона для выделенных зон по данным за 1962–2001 гг. (табл. 1).

**Таблица 1.** Распределение числа землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  и выделенной энергии по зонам за 1962–2001 г.

Зона	Камчатская сейсмофокальная зона				Командорский сегмент Алеутской дуги		Континентальная часть п-ова Камчатка	Корякия и западная часть Берингова моря		Северо-западная часть Тихого океана	
	№	1			2			3	4		5
Слой	1	101	211	221	2	102	3	4	104	5	105
$h, \text{ км}$	0–70	71–350	>351	>380	0–70	71–350	0–70	0–70	71–350	0–70	71–350
$N_{\min}-N_{\max}$	314–1803	69–229	1–16	1–2	26–339	1–4	6–454	1–210	1	24–170	1–8
$N_{\Sigma}$	21531	4870	97	3	4311	48	2054	400	2	2062	16
$N_{\text{ср}}$	538	122	3	1	108	2	51	12	1	52	2
$N_{\Sigma}$ по зонам	26501 (74.9%)				4359 (12.3%)		2054 (5.8%)	402 (1.1%)		2078 (5.9%)	
$\Sigma E/10^{13}, \text{ Дж}$	1207.3	1195.34	19.88	10	505.73	1.68	55.02	231.83	0	44.18	0.61
$[(\Sigma E/10^{13})_{\min} - (\Sigma E/10^{13})_{\max}], \text{ Дж}$	1.19–390.42	0.08–794.92	0–16.43	0–10.00	0.07–256.04	0–1.00	0–28.51	0–201.25	0	0.02–19.99	0–0.40
$\Sigma E_{\text{ср}}/10^{13}, \text{ Дж}$	30.18	29.88	0.60	3.33	12.64	0.07	1.38	6.82	0.00	1.10	0.09
$\Sigma E/10^{13}, \text{ Дж}$ по зонам	2432.52 (74.3%)				507.41 (15.5%)		55.02 (1.7%)	231.83 (7.1%)		44.79 (1.4%)	

**Камчатская сейсмофокальная зона (№ 1)** является зоной субдукции Тихоокеанской плиты под Охотоморскую и характеризуется на протяжении всего времени наблюдений наибольшей активностью (табл. 1). В ней происходит более 70% событий с  $K_S \geq 8.6$  и выделяется более 70% сейсмической энергии всего региона. Внутри этой зоны распределение событий неравномерное. В ее верхнем слое (слой 1 с  $h=0-70$  км) сосредоточено 81% событий от числа землетрясений в зоне. С глубиной число событий резко уменьшается: в следующем слое (слой 101 с  $h=70-350/380$  км) зарегистрировано 18% землетрясений, а глубже (слои 211 и 221) – менее 1% событий. Распределение по энергии носит другой характер: в слоях 1 и 101 выделилось одинаковое количество энергии – по 49% от всей энергии, выделенной в зоне. Таким образом,

для промежуточных глубин характерны одиночные сильные землетрясения. Оставшиеся 2% энергии относятся к глубоким землетрясениям, отмеченным в основном в слое 211.

**Командорский сегмент Алеутской дуги (зона № 2, слои 2 и 102)** по уровню сейсмичности занимает второе место. Здесь сосредоточено 12% событий, в основном на небольших глубинах  $h=0-70$  км.

**Континентальная зона п-ова Камчатка (№ 3) и зона Тихого океана (№ 4)** по активности делят между собой третье и четвертое место. Здесь происходит в совокупности около 6% землетрясений на глубинах  $h=0-70$  км.

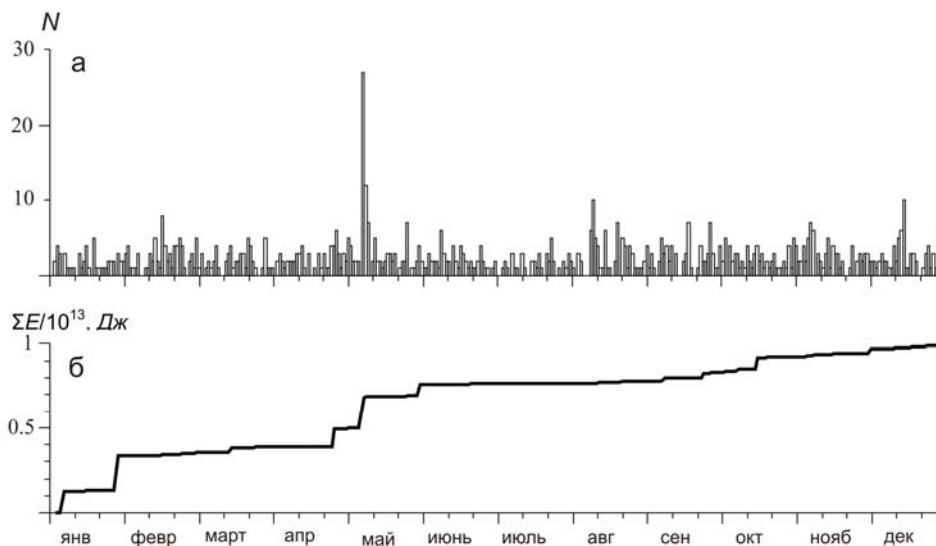
Зона **Берингова моря и Корякии (№ 5)** была наименее активна в исследуемый период с 1962 г. Доля произошедших здесь землетрясений составляет лишь 1% от общего числа событий в регионе, однако доля выделенной энергии здесь намного выше и составляет 7%. Большой вклад в это значение внесло Хаилинское землетрясение 1991 г. ( $K_S=14.4$ ,  $M_w=6.6$ ).

Всего в 2002 г. определены эпицентры 3649 землетрясений в диапазоне  $K_S=3.9-13.7$ , из них 822 с  $K_S \geq 8.6$  включены в каталог [7]. Распределение землетрясений по энергетическим классам  $K_S$  приведено в табл. 2. Суммарная энергия, выделившаяся в очагах землетрясений с эпицентрами внутри границ региона, составляет  $\Sigma E=2.0 \cdot 10^{14}$  Дж, что в четыре раза ниже ее среднегодового значения ( $\Sigma E=8 \cdot 10^{14}$  Дж) за 1962–2001 гг. Общее число сильных ( $K_S \geq 11.6$ ) землетрясений составило  $N=41$ , из которых лишь одно с энергетическим классом на уровне  $K_S \geq 14$ . Оно произошло 28 января в  $13^h50^m$  с  $h=27$  км и  $K_S=13.7$  на севере Курильских островов [7].

**Таблица 2.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_S$

$K_S$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$N$	5	50	395	1185	1192	521	190	70	30	10	1

На рис. 3(а, б) представлены графики распределения во времени ежесуточного числа землетрясений и накопленной сейсмической энергии. Как видим, в течение года происходили единичные сильные события, которые выразились ступенями на нижнем графике. Наиболее значительные из них (1 и 2 на рис. 3) произошли 6 и 28 января на Северных Курилах. Более слабое одиночное событие (21) произошло 31 мая на северо-восточном склоне Алеутского глубоководного желоба. Наибольшая сейсмическая активность в регионе наблюдалась в течение второй декады апреля – третьей декады мая. В это время в средней части сейсмофокальной зоны (район Шипунского полуострова) 8–20 мая произошел рой землетрясений, а также небольшие афтершоковые последовательности после землетрясений (9) и (17), зарегистрированных 26 апреля в  $07^h15^m$  с  $K_S=13.4$  и 8 мая в  $04^h12^m$  с  $K_S=13.0$ . Наибольшее число землетрясений произошло 8 мая, когда в Кроноцком заливе, одновременно с развитием указанного выше роя южнее п-ва Шипунский, зарегистрировано сильное землетрясение (17).



**Рис. 3.** Графики изменения суточных чисел  $N$  землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  (а) и высвобожденной сейсмической энергии  $\Sigma E$  (б) за 2002 г.

Ощутимых землетрясений на территории Камчатки отмечено 55 с интенсивностью  $I$  от 2 до 5 баллов [7]. Наибольшую интенсивность сотрясений ( $I=5$  баллов в Северо-Курильске и на маяке Круглый) вызвало землетрясение (32) с  $K_S=13.2$ ,  $M_w=6.2$ , зарегистрированное 16 октября в  $10^h12^m$  с  $h=108$  км. Близкие по интенсивности сотрясения (до 5 баллов на маяке Кроноцкий) вызвало также землетрясение (17) с  $K_S=13.5$ ,  $M_w=5.8$ ,  $M_S=5.4$ , которое реализовалось 8 мая в  $19^h45^m$  с  $h=35$  км [7].

Карта эпицентров всех землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  дана на рис. 4, где также показаны два вертикальных разреза поля гипоцентров – продольный В-В' (рис. 4 б) и поперечный А-А' (рис. 4 в).

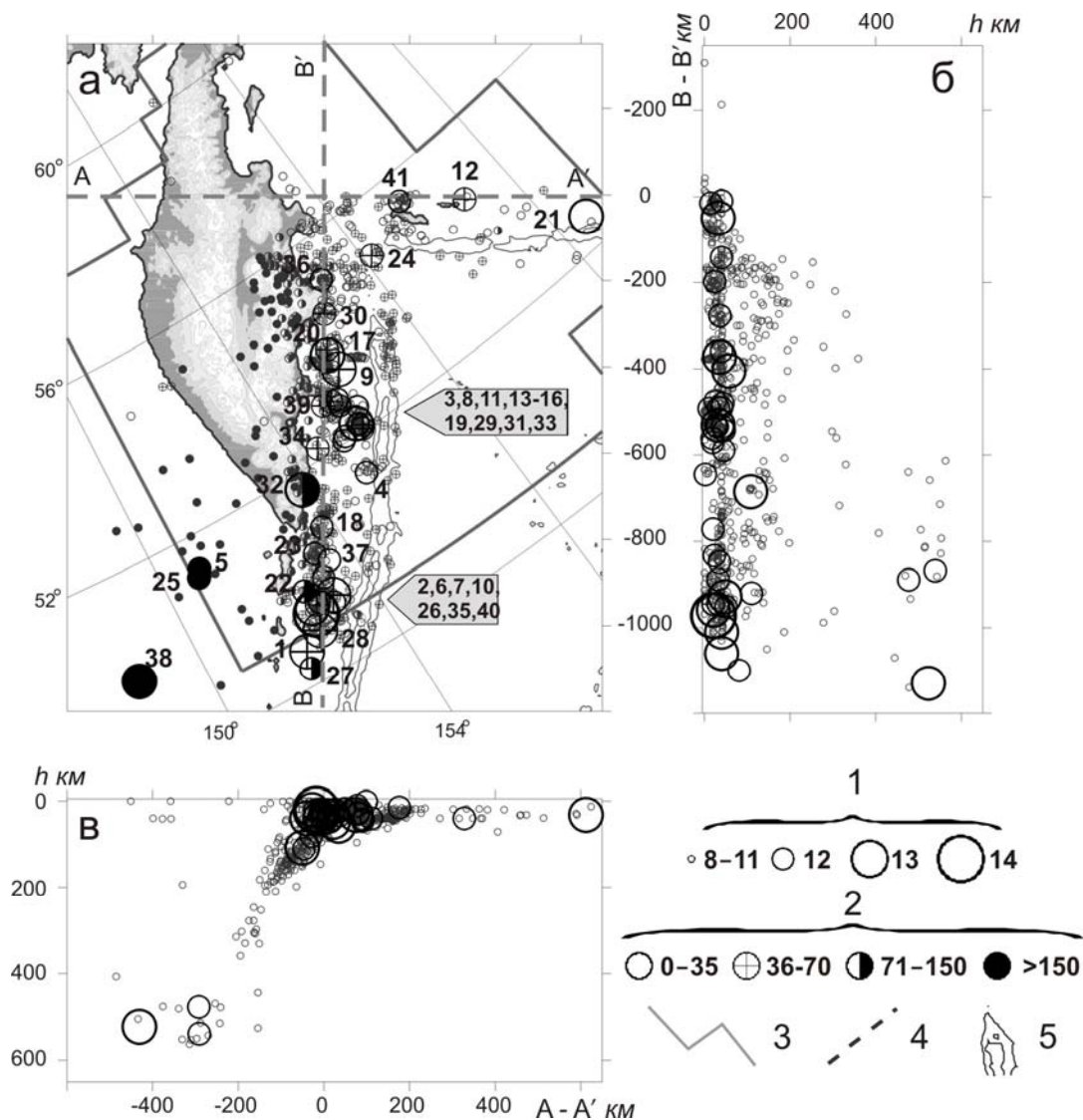


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Камчатки с  $K_S \geq 8.6$  за 2002 г. и глубинные разрезы на вертикальные плоскости А-А' и В-В'

1 – энергетический класс  $K_S$ ; 2 – глубина гипоцентра  $h$ , км; 3 – границы региона; 4 – линии разрезов вдоль (А-А') и вкрест (В-В') поля эпицентров; 5 – изобаты 6000 и 7000 м. Числа соответствуют номерам землетрясений первой графы каталога [7].

Для 30 землетрясений определены механизмы очага [9] по знакам первых вступлений  $P$ -волн. Недостаток данных (меньше 25 станций со знаками) не позволяет рассчитать тип подвижки в очаге для 11 остальных землетрясений с  $K_S \geq 11.6$ . Механизмы очагов рассчитывались по программе FA2002 (автор – А.В. Ландер) [10, 11]. Распределение землетрясений по типам подвижки приведено в табл. 3, откуда видно, что преобладающим типом подвижки на Камчатке является взброс и взбро-сосдвиг (53% событий), сбрососдвиговый характер подвижки имеет 17% событий, сдвиги встречаются намного реже (3%), а чисто сбросовых землетрясений в 2002 г. нет.

**Таблица 3.** Распределение землетрясений Камчатки и Командорских островов по типам подвижек

№	Тип подвижки	Номера землетрясений	$N_i$	$N_i/N_{\Sigma}$ , %
1	Сбросо-сдвиг	3, 11, 19, 21, 22, 24, 26	7	17
2	Взброс	8, 20, 39	3	7
3	Взбросо-сдвиг	1, 2, 5, 7, 9, 13, 15, 17, 18, 25, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 40	19	46
4	Сдвиг	14	1	3
5	Не определен	4, 6, 10, 12, 16, 23, 27, 29, 35, 38, 41	11	27

Рассмотрим особенности сейсмического процесса по зонам.

Как следует из табл. 4, в 2002 г. сохранились те же относительные характеристики сейсмичности региона по зонам, что и в 1962–2001 гг. (табл. 1 а), за исключением того, что не было сильных землетрясений в промежуточном слое 101 Камчатской сейсмофокальной зоны № 1. Вследствие этого доля энергии, выделившаяся в этом слое, незначительна, по сравнению с таковой в поверхностной части зоны субдукции.

**Таблица 4.** Распределение числа землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  и выделенной энергии  $\Sigma E$  по зонам за 2002 г.

Зона	Камчатская сейсмофокальная зона				Командорский сегмент Алеутской дуги		Континентальная часть п-ова Камчатка	Корякия и западная часть Берингова моря		Северо-западная часть Тихого океана	
	№	1			2			3	4		5
Слой	1	101	211	221	2	102	3	4	104	5	105
$h$ , км	0–70	71–350	350	380	0–70	71–350	0–70	0–70	71–350	0–70	71–350
$N$	484	149	13	0	80	1	11	4		55	
$\Sigma E \cdot 10^{13}$ , Дж	15.72	1.74	0.23	0	2.09	0.00	0.01	0.01		0.17	

**Камчатская сейсмофокальная зона (№ 1)** отличалась повышенной активностью. Здесь произошло 646 (78.6%) землетрясений с  $K_S \geq 8.6$ , из них 484 (58.9%) поверхностных, 149 (18.1%) промежуточных и 13 (1.6%) глубоких (табл. 4). Статистика сильных ( $K_S \geq 11.6–13.7$ ) событий по глубине представлена следующим образом: поверхностных землетрясений – 29, промежуточных – 2, глубоких – 2. Карта их эпицентров, а также диаграммы механизмов в проекции нижней полусферы с указанием типа подвижки показаны на рис. 5.

**В поверхностной части** сейсмофокальной зоны №1 наибольшего внимания заслуживает упомянутый выше рой 8–20 мая (рис. 3–5) на западном склоне Камчатского глубоководного желоба к югу от Шипунского п-ова, в 50 км южнее октябрьского роя 2001 г. [2]. За это время здесь произошло 79 землетрясений с  $K_S \geq 8.6$  и  $h=0–46$  км, пять из них (13–16, 19) – сильные, с  $K_S \geq 11.6$ . Движение в очаге наиболее сильного ( $K_S=13.0$ ) толчка роя 8 мая возникло под действием одинаковых по величине напряжений сжатия и растяжения. По крутопадающей нодальной плоскости, ориентированной вдоль залегания Курило-Камчатских геологических структур, наблюдается взброс, по пологой плоскости – взброс с элементами правостороннего сдвига. Землетрясения (14, 15) и (19) с  $K_S=11.9, 11.7$  и  $11.6$ , локализованные 8 мая в  $05^h17^m$  и в  $08^h09^m$ , 9 мая в  $23^h01^m$  [7], имеют разный тип дислокации в очаге, но общей их чертой является наличие крутопадающей плоскости субмеридионального простираения. Тип подвижки в очаге события (14) – чистый сдвиг. Угол наклона обеих плоскостей составляет  $74^\circ$ , простираение  $NP1$  и  $NP2$  – субширотное и субмеридиональное соответственно. Землетрясение (15) произошло под действием превалирующего напряжения сжатия, что определило взбросовый тип подвижки с присутствием сдвиговой компоненты по обеим плоскостям разрыва, простирающимся в северо–северо-восточном направлении. Сбросовый тип движения наблюдается в очаге землетрясения (19), которое возникло под действием субширотно ориентированных растягивающих напряжений. По пологой залегающей плоскости северо-восточного простираения наблюдается сбросовая подвижка с компонентой левостороннего сдвига. По плоскости  $NP2$ , залегающей достаточно круто ( $81^\circ$ ) в субмеридиональном направлении, отмечается сброс [9].



Рис. 5. Карта эпицентров сильных ( $K_S \geq 11.6$ ) землетрясений Камчатской сейсмофокальной зоны №1 за 2002 г.

1–5 – эпицентры землетрясений и типы подвижки (1 – сбросо-сдвиг; 2 – сдвиг; 3 – взброс; 4 – взбросо-сдвиг; 5 – механизм очага не определен); 6 – диаграмма механизма очага (номер землетрясения соответствует таковому в [7]); 7 – изобаты 6000 и 7000 м; 8 – граница слоя; 9 – границы сейсмофокальной зоны. Маленькими кружками показаны эпицентры всех землетрясений зоны. На врезке приведены эпицентры и стереограммы механизмов очагов землетрясений из района, обозначенного квадратом на основной карте.

Сбросовая дислокация наблюдается также в очаге землетрясения (11), которое зарегистрировано 3 мая в 03<sup>h</sup>04<sup>m</sup> с  $K_S=12.1$  несколько севернее роевой группы. Как и в землетрясениях роя, крутопадающая нодальная плоскость простирается в меридиональном направлении. Тип подвижки по ней – сброс. Более пологая плоскость  $NP2$  простирается в субширотном направлении, сбросовая компонента сочетается с элементами левостороннего сдвига. Чуть западнее области роя зафиксированы два одиночных события (3, 29) с  $K_S=12.1$  и 12.0. Тип подвижки в очаге определен для события (3): это – сброс с компонентой левостороннего сдвига по плоскости разрыва  $NP2$ , ориентированной в меридиональном направлении. По субширотной крутопадающей плоскости  $NP1$  отмечается сдвиг [9].

В акватории Авачинского залива, южнее п-ва Шипунский, 13 апреля в 06<sup>h</sup>18<sup>m</sup>, 8 октября в 09<sup>h</sup>18<sup>m</sup>, 20 октября в 01<sup>h</sup>34<sup>m</sup> зафиксированы одиночные неглубокие события (8, 31, 33)  $K_S=11.7$ , 12.5 и 12.0 соответственно, а также сопровождавшееся незначительным числом афтершоков событие (39), отмеченное 18 декабря в 11<sup>h</sup>09<sup>m</sup> с  $K_S=12.1$ . Взбросовый тип подвижки имеют события (8, 33 и 39). Землетрясения произошли в условиях сжимающих напряжений северо-западного направления. Обе нодальные плоскости простираются в северо-восточном направлении, оси напряжения сжатия близгоризонтальны (17–18°). Землетрясение (31) также характеризуется подвижкой типа взбросо-сдвиг, но нодальные плоскости имеют субширотное простираение [9].

Еще семь поверхностных сильных землетрясений (9, 17, 20, 30, 36) зафиксировано северо-восточнее п-ова Шипунский и два толчка (18, 34) – к юго-западу от него. Для землетрясений прибрежной зоны характерны подвижки типа взброс. Одна из возможных плоскостей разрыва ориентирована в юго-западном–северо-восточном направлении. С этим направлением совпадает направление простираения Камчатской сейсмофокальной зоны. Оси напряжения сжатия близгоризонтальны. Событие (36), произошедшее в юго-западной части Камчатского залива, сопровождалось одним афтершоком с  $K_S=9.3$  и серией более слабых толчков. Тип подвижки по нодальной плоскости *NP2* – взброс с компонентой левостороннего сдвига, по *NP1* – чистый взброс [9].

В Кроноцком заливе, в области очага сильнейшего землетрясения 1997 г., зарегистрировано четыре землетрясения (9, 17, 20, 30). Два из них (9, 17) – наиболее сильные события года – сопровождались незначительным числом афтершоков. Механизмы очагов всех четырех событий очень похожи. Оси напряжения сжатия близгоризонтальны и имеют западное–северо-западное направление, одна из нодальных плоскостей простирается субмеридионально, другая – с юго-запада на северо-восток. Взбросовая подвижка сочетается с несущественной сдвиговой компонентой по обеим возможным плоскостям разрыва, за исключением землетрясения (20), где по обеим нодальным плоскостям наблюдается взброс. Одиночное событие (34), произошедшее в юго-западной части Авачинского залива, имеет механизм, аналогичный механизму очагов 9, 17, 30. Событие (18), зарегистрированное у южной оконечности Камчатского полуострова, возникло под действием сжимающих напряжений юго–юго-западного направления. Одна из нодальных плоскостей (*NP2*) имеет широтное простираение, другая (*NP1*) – юго-восточное. По обеим плоскостям произошел взброс в сочетании с элементами правостороннего сдвига по *NP1* и левостороннего – по *NP2* [9].

Сейсмически активным в течение всего года был Северо-Курильский участок поверхностного слоя сейсмофокальной зоны, южнее мыса Лопатка. Здесь произошло 12 землетрясений (1, 2, 6, 7, 10, 23, 26, 27, 28, 35, 37, 40) в диапазоне  $11.6 \leq K_S \leq 13.7$ , три (1, 27, 28) из которых выходят за границы региона. Все события одиночные. Механизм очага определен для семи событий. Землетрясения (7, 37, 40) однотипны. Они возникли 25 марта в 06<sup>h</sup>18<sup>m</sup> с  $K_S=12.1$ , 16 ноября в 12<sup>h</sup>06<sup>m</sup> с  $K_S=12.3$ , 24 декабря в 14<sup>h</sup>43<sup>m</sup> с  $K_S=12.2$  в условиях сжимающих напряжений широтного направления, обе нодальные плоскости простираются в субмеридиональном направлении. Это взбросы со сдвиговой компонентой по обеим плоскостям разрыва. Такой же взбросовый тип подвижки наблюдается в очагах землетрясений (2, 28), отмеченных 28 января в 13<sup>h</sup>50<sup>m</sup> с  $K_S=13.7$  и 24 сентября в 09<sup>h</sup>00<sup>m</sup> с  $K_S=12.8$  [7]. Отличие заключается в субширотном простираении обеих нодальных плоскостей и юго–юго-западном направлении действия сжимающих напряжений. Подвижка в очаге землетрясения (26), возникшего 8 сентября в 05<sup>h</sup> 20<sup>m</sup> с  $K_S=12.6$ , является чистым сбросом по крутозалегающей плоскости *NP1* и сбросом, с компонентой левостороннего сдвига, по пологой плоскости *NP2* широтного простираения [9].

**В промежуточном слое** сейсмофокальной зоны №1 произошло 149 землетрясений (табл. 4), среди них два сильных (22, 32). Отметим событие (32) с  $K_S=13.2$ ,  $M_w=6.2$ , имеющее глубину 108 км, которое произошло 16 октября в 10<sup>h</sup>12<sup>m</sup> на юге полуострова в промежуточной части сейсмофокальной зоны, уходящей под полуостров. Оно ощущалось на значительной его части [6]. Тип подвижки по обеим плоскостям – взброс. По пологой плоскости *NP2* близширотного простираения присутствуют компоненты правостороннего сдвига, по крутопадающей плоскости *NP1* – чистый взброс. Землетрясение (22), локализованное 18 июня в 23<sup>h</sup>09<sup>m</sup> с  $K_S=11.6$ , имеет сбросовый тип подвижки со сдвигом по обеим плоскостям разрыва [9].



В глубоком слое сейсмофокальной зоны №1 произошло 13 землетрясений (табл. 4), два из которых с  $K_S=12.2$  и  $11.7$  реализовались 1 марта в  $14^{\text{h}}04^{\text{m}}$  (5) и 25 августа в  $17^{\text{h}}11^{\text{m}}$  (25) соответственно. Первое произошло в условиях одинаковых по величине напряжений сжатия и растяжения с подвижкой типа взбросо-сдвиг. В очаге второго возникла взбросовая подвижка в сочетании с элементами сдвига по обеим плоскостям [9]. Далеко за пределами границ региона следует отметить еще одно сильное землетрясение (38), которое на рис. 5 не обозначено.

В Командорском сегменте Алеутской дуги (№ 2) общее число землетрясений равно  $N=81$  (табл. 4), три (12, 21, 41) из них имеют  $K_S \geq 11.6$ . (рис. 6). События (12, 21) – одиночные, а (41) сопровождалось небольшим числом слабых афтершоков. Механизм очага определен для события (21), зарегистрированного 31 мая в  $06^{\text{h}}09^{\text{m}}$  с  $K_S=13.2$ ,  $M_w=5.5$ ,  $MS=5.1$  и  $h=32$  км. Подвижка в его очаге обусловлена действием меридионально направленного напряжения растяжения. Тип подвижки – сброс с левосторонним сдвигом по нодальной плоскости юго-восточного простирания [9]. По другой нодальной плоскости, простирающейся в северо-восточном направлении, сдвиг не столь очевиден. Ось напряжения растяжения близгоризонтальна.

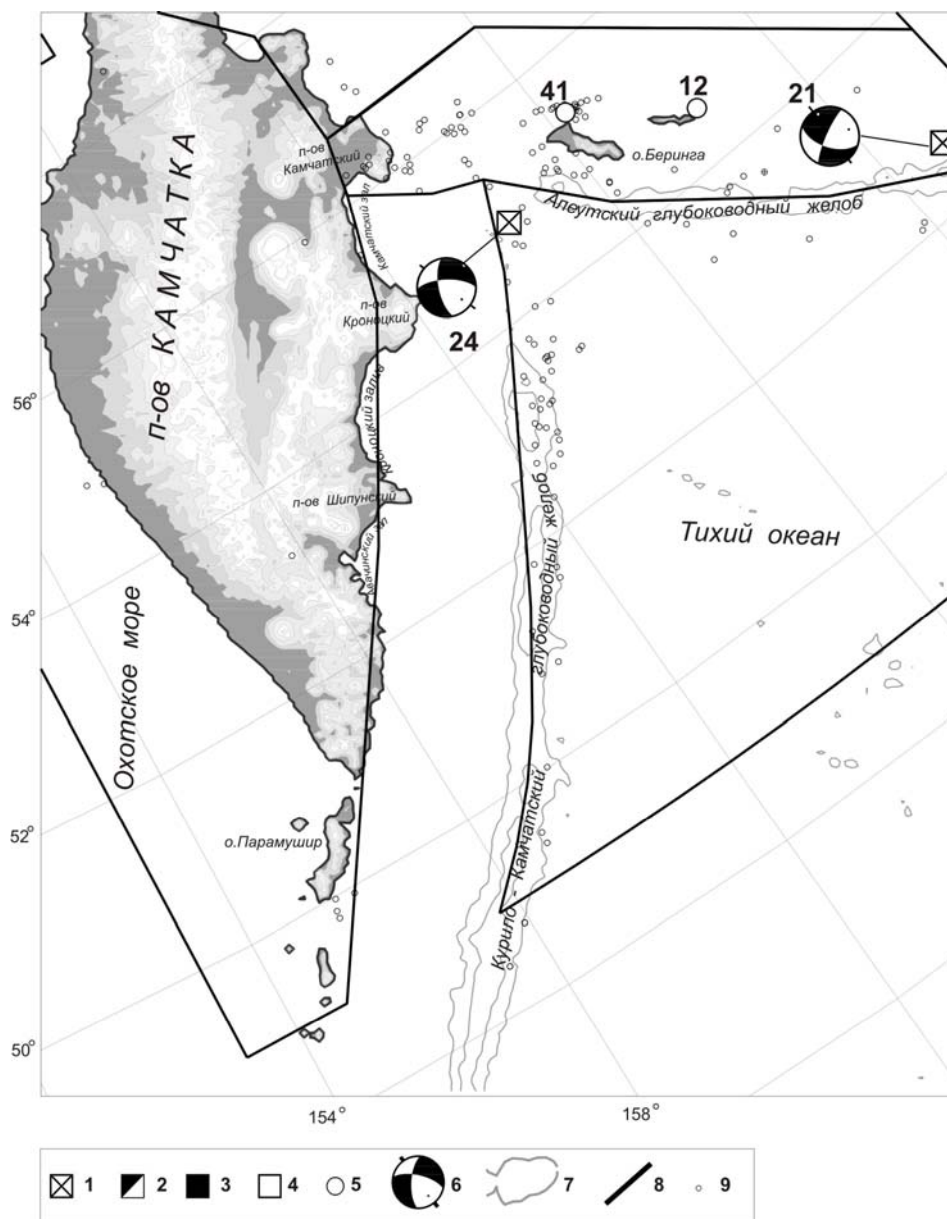


Рис. 6. Карта эпицентров сильных ( $K_S \geq 11.6$ ) землетрясений 2, 3, 4 и 5 зон Камчатки и прилегающих территорий

Условные обозначения те же, что на рис. 5.

В зоне № 3 (Континентальные области Камчатки) зарегистрировано в 2002 г. небольшое число землетрясений ( $N_{\Sigma}=11$ ) и еще меньше ( $N_{\Sigma}=4$ ) в зоне № 4 (Корякия и западная часть Берингова моря) (табл. 4), что позволяет считать их практически асейсмичными, особенно учитывая, что не было ни одного сильного.

В Северо-Западной части Тихоокеанской плиты (№ 5), где в 2002 г. зафиксировано 55 землетрясений (табл. 4), представляет интерес одиночное землетрясение (24), произошедшее 22 августа в 09<sup>h</sup>38<sup>m</sup> с  $K_S=12.1$ ,  $M_w=5.1$  и  $h=32$  км, для которого удалось определить механизм очага с подвижкой типа сброс с элементами сдвига по обоим нодальным плоскостям [9]. Обе возможные плоскости разрыва имеют субмеридиональное простирание, ось напряжения растяжения направлена на восток ( $AZM=90^\circ$ ), угол с горизонтом –  $PL=0^\circ$ .

Сильные движения получены для пяти землетрясений с помощью цифрового акселерографического канала LG широкополосной цифровой станции «Петропавловск». В табл. 5 даны зарегистрированные максимальные ускорения грунта, скорректированные за АЧХ прибора. На рис. 7 показаны скорректированные за прибор записи землетрясений (9) и (32), произошедших 26 апреля и 16 октября 2002 г. соответственно, и их спектры Фурье.

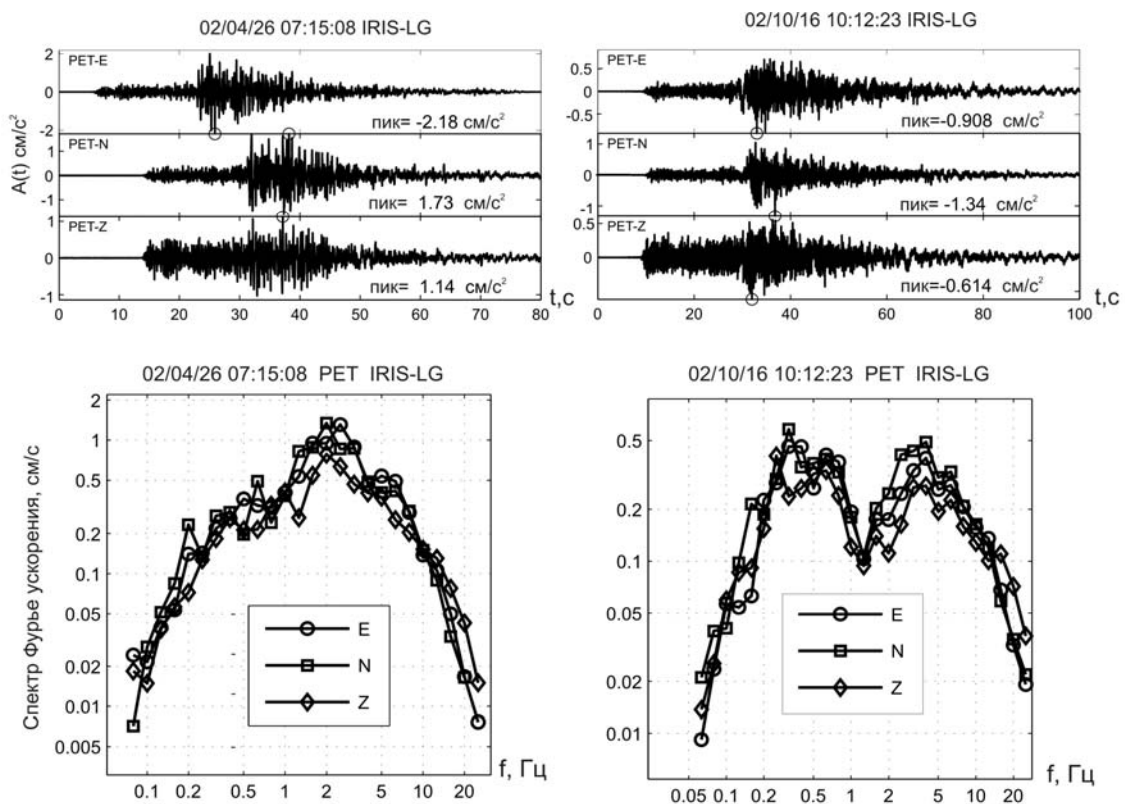


Рис. 7. Записи сильных движений при землетрясениях 26 апреля в 07<sup>h</sup>15<sup>m</sup> с  $K_S=13.4$  и 16 октября в 10<sup>h</sup>12<sup>m</sup>  $K_S=13.2$  широкополосной сейсмической станцией «Петропавловск» (вверху) и их спектры Фурье (внизу)

Спектр землетрясения (9) имеет форму, характерную для Камчатских землетрясений [11, 12]. Однако спектр землетрясения (32) имеет горбы на частотах 0.03 и 3.0 Гц с провалом посередине, что необычно для событий с глубиной  $h \sim 100$  км.

### Л и т е р а т у р а

1. Старовойт О.Е., Мишаткин В.Н. Сейсмические станции Российской академии наук (состояние на 2001 г.). – М.–Обнинск: ГС РАН, 2001. – 86 с.
2. Левина В.И., Иванова Е.И., Гусева Е.И. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 213–222.

3. Федотов С.А., Зобин В.М., Гордеев Е.И., Иванова Е.И., Лепская Т.С., Митякин В.П., Синельникова Л.Г., Чиркова В.Н. Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 155–169.
4. Гусев А.А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. – 1979. – № 1. – С. 74–81.
5. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
6. Гордеев Е.И., Левина В.И., Чебров В.Н. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2003 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 37–40.
7. Левина В.И., Лепская Т.С. (отв. сост.), Бахтиярова Г.М., Карпенко Е.А., Кривогорницына Т.М., Митюшкина С.В., Пархоменко С.А., Пилипенко Л.В., Шевченко Н.А. Камчатка и Командорские острова. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
8. Lander A.V., Shapiro M.N. The Origin of the Modern Kamchatka Subduction Zone. In 'Volcanism and Tectonics of the Kamchatka Peninsula and Adjacent Arcs', AGU, Manuscript #2006BK000444.
9. Иванова Е.И. (отв. сост.). Камчатка и Командорские острова. (См. раздел VII (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
10. Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (Отчет за 01.01–31.12.2003.). – Петропавловск-Камчатский: Фонды КОМСП ГС РАН, 2004. – 350 с.
11. Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (Отчет за 01.01–31.12.2005.) // Петропавловск-Камчатский: Фонды КОМСП ГС РАН, 2006. – 478 с.
12. Гусев А.А., Петухин А.Г., Гусева Е.М., Гордеев Е.И., Чебров В.Н. Средние спектры Фурье сильных движений грунта при землетрясениях Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 5. – С. 60–70.