

I

Сейсмологические и геофизические наблюдения на Камчатке

УДК 550.34

СИСТЕМА СЕЙМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

**Е. И. Гордеев, В. Н. Чебров, В. И. Левина, В. И. Синицын,
Ю. В. Шевченко, В. В. Ящук**

*Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН,
683006, г.Петропавловск-Камчатский, бул. Пийна, 9, e-mail: chebr@emsd.iks.ru*

Аннотация. Приведены краткие сведения об этапах истории наблюдений и исследований землетрясений на Камчатке. Дано описание системы сейсмологических наблюдений на Камчатке по состоянию на 2004 год. Приведены основные сведения об этапах развития стационарных и радиотелеметрических сейсмических станций, о наблюдениях за сильными движениями, о наблюдениях временными локальными сейсмометрическими сетями в эпицентральных зонах сильных землетрясений и на активных вулканах. Кратко описаны характеристики сейсмометрических каналов всех типов используемого оборудования. Рассмотрены вопросы эффективности наблюдательных сейсмологических сетей на разных этапах развития. Существующие на 2004 г. сети стационарных и радиотелеметрических станций совместно обеспечивают уверенную регистрацию землетрясений начиная с 9.0 энергетического класса по шкале С.А.Федотова от Северных Курильских островов до поселка Оссора (50° - 59° с.ш., 153° - 165° в.д.). Для Авачинского залива - с 7.5 класса. Для Авачинской группы вулканов - с 4.0 класса. Для Ключевской группы вулканов - с 5.0 - 6.0 класса. Показаны расчетные контуры надежной регистрации землетрясений для однородного каталога за весь период детальных сейсмологических наблюдений с 1962 по 2004 гг. Показаны основные проблемы, имеющиеся в наблюдательных сетях, и перспективы их решения. Первоочередными задачами развития сейсмометрических наблюдений на Камчатке являются: создание опорной сети стационарных широкополосных цифровых сейсмических станций; переоснащение сети станций сильных движений; расширение и модернизация сети РТСС.

Сведения, приведенные в статье, характеризуют в целом сейсмологическую изученность территории Камчатки и Командорских островов.

SEISMOLOGICAL OBSERVATIONS

**E. I. Gordeev, V. N. Chebrov, V. I. Levina, V. I. Sinitsyn,
Yu. V. Shevchenko, V. V. Jaschuk**

*Kamchatkan Experimental and Methodical Seismological Department, Geophysical Service, RAS,
683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piip blvd., 9, e-mail: chebr@emsd.ru*

The story of the developing of seismic investigation and observation on Kamchatka is presented. The state of the full seismic network in 2004 is shown. In paper is described the main points of the construction of the stationary and radiotelemetry seismic stations, strong motion observation, temporary seismic observation on the active volcanoes and the aftershock swarm close to the epicenter of the big earthquake. The parameters of the frequency response for all seismic equipment are given. The efficiency of the seismic network is estimated. The modern seismic network can record total number of earthquakes with energy class level higher than 9.0 for all Kamchatka region (50° - 59° lat., 153° - 165° long.). For Avachinsky gulf - 7.5 energy class. Around Avachinsky and Koryaksky volcanoes - 4.0 energy class. For Klyuchevskaya volcanic group - 5.0 - 6.0 energy class. It is shown the isoline in the energy class level for the earthquakes, which were recorded without missing for the full catalogue since 1962 till 2004. We nominate the main problems of the seismic network and show the way of their solution. In the near future the number of the broad band digital seismic stations will increase, will be improved strong motion observation, also the number of the radiotelemetry seismic stations and its modernization will develop.

Введение

Курило-Камчатская островная дуга является одним из самых сейсмоактивных районов Земли. Здесь происходит большая часть землетрясений относящихся к территории России, в том числе и катастрофических (с магнитудой более 8.0), которые могут вызвать сотрясения до 10 баллов и цунами.

История наблюдений и исследований землетрясений на Камчатке состоит из нескольких больших этапов.

С 1737 г. до конца 19-го века – период макросейсмических наблюдений, в течение которого произошли крупнейшие землетрясения с моментной магнитудой более 8.0. Это землетрясения 17.10.1737, 22.08.1792 и 18.05.1841 гг.[24]. К началу 20-го века мировая сеть сейсмических станций уже была способна регистрировать из района Камчатки землетрясения магнитудой 7.0 и более [1, 19, 24]. Точность определения координат камчатских землетрясений по записям сейсмических станций мировой сети в начале 20-го века составляла несколько градусов по широте и долготе. Первая сейсмическая станция на Камчатке была открыта академиком Б. Б. Голицыным в 1915 г. в Петропавловске-Камчатском, которая проработала до 1918 г. Вновь сейсмическая станция «Петропавловск» была открыта ИФЗ АН СССР только в 1951. Лабораторией вулканологии АН СССР были открыты сейсмические станции «Ключи» в 1946 г., «Козыревск» в 1958 г., «Апахончик» в 1960 г. [25, 27]. Комплексной геологогеофизической обсерваторией СО АН СССР была открыта сейсмическая станция «Паужетка» в 1959 г. Сейсмические станции, открытые АН СССР на Камчатке в 40-х и 50-х гг., работали изолированно. К 1960 г. региональной сети сейсмических станций на Камчатке еще не существовало [14, 27, 29, 30, 31].

1961 г. – начало детальных сейсмологических исследований на Камчатке.

В 1961 году Тихоокеанской сейсмической экспедицией ИФЗ АН СССР совместно с Комплексной геологогеофизической обсерваторией СО АН СССР создается региональная сеть сейсмических станций.

Детальные сейсмологические наблюдения, которые являются основой фундаментальных научных исследований Земли и работ, связанных с поиском предвестников сильных землетрясений и их прогнозом, велись на Камчатке Тихоокеанской сейсмической экспедицией ИФЗ АН СССР (1961 - 1971 годы), Институтом вулканологии ДВО РАН (1971 - 1979 годы), Опытно - методической сейсмологической партией Института вулканологии (1979 - 1996 годы), Камчатской опытно - методической сейсмологической партией Геофизической службы РАН (КОМСП ГС РАН) с 1997 года по настоящее время.

Система сейсмологических наблюдений на Камчатке по состоянию на 2004 г. включает в себя:

- сеть стационарных сейсмических станций;
 - сеть радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС);
 - сеть станций сильных движений (ССД);
 - временные локальные сети станций (ВЛСС) для наблюдений в эпицентральных зонах сильных землетрясений и на активных вулканах.

Сеть стационарных сейсмических станций

Региональная сеть стационарных сейсмических станций работает на Камчатке уже более 40 лет. Стационарные сейсмические станции расположены, как правило, в населенных пунктах, в зданиях принадлежащих РАН. Обслуживающий персонал находится на станциях постоянно.

Сеть стационарных сейсмических станций КОМСП ГС РАН в 2004 году включает в себя станции: «Апача», «Беринг», «Кругоберегово», «Оссора», «Паужетка», «Эссо», «Каменское», «Петропавловск», «Карымшина»,

Сейсмическая станция «Петропавловск» является опорной сейсмической станцией Геофизической службы РАН на Дальнем востоке, открыта в 1951 г. Основные задачи станции круглосуточная непрерывная работа в службе срочных донесений о сильных землетрясениях и в системе предупреждения о цунами Камчатской области. Станция оборудована короткопериодными и среднепериодными сейсмическими каналами повышенной и средней чувствительности. В 1993 г. на станции в рамках российско-американского соглашения установлен комплект оборудования IRIS и с этого времени она вошла в состав мировой сети цифровых широкополосных сейсмических станций.

Станция по состоянию на 2004 г. имеет следующие сейсмометрические каналы:

- каналы А - а) СКМ-3 + ГК-VII-М
б) С5С + БФХ + РВЗ-3
 - каналы В - СКД + SPG-4
 - каналы С - СКД + ГК-VII-М, СКД КПЧ + ГК-VII-М, ДС-БП
 - комплект оборудования IRIS, размещенный на станции Петропавловск, включает себя: три короткопериодных канала (сейсмометр GS-13, $T_s=1$ с, частотный диапазон 20 Гц, частота оцифровки 80 Гц, разрядность АЦП 24); три широкополосных канала (сейсмометры STS-1V/H/VBB, $T_s=360$ с, диапазон регистрируемых периодов 0,1-360 с, частота оцифровки 20 Гц, разрядность АЦП 24); трехкомпонентный акселерометр ЗА-23, частотный диапазон 0-40 Гц, частота оцифровки 80 Гц, разрядность АЦП 24; GPS- часы, точность шкалы времени 0,2 мс. Чувствительность каналов 10^{8-10} в/с/квт/м/с.

Станция “Петропавловск” оснащена также приборами для записи сильных движений:

- механической регистрации - СМР-0, СМР-2, СМР-3, СБМ
 - велосиграф - С5С + ИСО-II-М
 - акселерографы - АСЗ-2, ССРЗ-М

С 2001 года каналы станции IRIS являются основными в службе оперативных и срочных донесений о землетрясениях. Аналоговые каналы частично законсервированы.

Станции «Апача», «Крутоберегово», «Оссора», «Паужетка», «Эссо» до настоящего времени оснащены оборудованием с гальванометрической регистрацией, имеют 4 канала записи: три компоненты (Z , N , W) пишут смещение грунта с увеличением 5-10 тысяч, («Эссо»-40 тыс.); 4-я компонента (W) с загрузлением в 20 раз по отношению к основному каналу.

На всех станциях, кроме «Эссо», в 70-х годах установлены сейсмометры СМ-3, на станции «Эссо» - СКМ-3. При замене на станциях сейсмометров ВЭГИК на сейсмометры СМ-3 основные параметры амплитудно-частотных характеристик сейсмометрических каналов сохранены. Все станции сети имеют стандартную амплитудно-

частотную характеристику (АЧХ), парциальные параметры всех каналов равны: $T_s=1.2\text{c}$; $D_s=0.4$; $T_q=0.07-0.1\text{c}$; $T_q \times D_q=0.405$ [4, 5, 7, 30].

Проявка и обработка сейсмограмм на станциях с гальванометрической регистрацией проводится один раз в сутки, а в случае ощущимого землетрясения через две минуты после его окончания.

Контрольно-калибровочные работы на станциях с гальванометрической регистрацией осуществляется, по возможности, один раз в год. Калибровка станций состоит из переопределения постоянных каналов и соответствующей замены шунтов. Определение постоянных и расчёты выполняются в соответствии с рекомендациями руководства “Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР”[2]. Привязка сейсмограмм ко времени GMT на стационарах не хуже 50мс.

Сейсмическая станция «Каменское» открыта 24.10.1994 г. по договору о научно-техническом сотрудничестве с Университетом г. Токио в рамках проекта «Посейдон». Станция имеет широкополосные сейсмометрические каналы (сейсмометры STS-1V/H/VBB, $T_s=360\text{c}$, диапазон регистрируемых периодов 0,1-360 с., частота оцифровки 20 Гц, разрядность АЦП 24) и непрерывную цифровую регистрацию сейсмических сигналов на магнитооптические диски. Чувствительность – 2.4×10^8 отсчет/м/с.

Сейсмическая станция «Карымшина» открыта в 1999 г. (данные в сводной обработке с 2000 г.) в рамках проекта МНТЦ № 1121 «Создание российско-японской геофизической обсерватории для комплексных исследований электромагнитных и сейсмологических предвестников землетрясений», состоит из блока короткопериодных сейсмометров СМ-3 ($T_s=2\text{ c}$), электронного усилителя, фильтра и цифрового регистратора. Полоса частот канала 0.5 – 25Гц, частота аналого-цифрового преобразования 150 Гц, разрядность преобразования 24 бит, чувствительность сейсмометрических каналов $\sim 10^9$ отсчет/м/с [37].

В декабре 2003года на станции «Беринг» установлена цифровая станция SDAS производства ГЕОТЕХ (Обнинск). В сейсмокамере станции установлены три сейсмометра СМ-3ОС, станция сбора данных SDAS, блок питания. В здании сеймостанции установлен компьютер обработки, связанный со станцией сбора данных коаксиальным кабелем. Сейсмометры СМ-3ОС представляют собой электронные велосиметры. Период свободных колебаний маятника, без обратной связи, 2,3 с. Динамический диапазон каналов 84 дБ, разрядность аналого-цифрового преобразования 16 бит, частота преобразования 20 Гц, частотный диапазон 0,02 – 7 Гц. Чувствительность каналов станции 1.8×10^7 отсчет/м/с. Состояние сейсмометрических каналов контролируется по виду записей откликов на импульс тока длительностью ~ 100 с.

В таблице 1 приведены все стационарные сейсмические станции с 1946 г по настоящее время и их основные параметры, на рис. 1 их расположение на территории Камчатской области по состоянию на 2004 г.

В 1998 – 1999 гг. в рамках проекта «КРАЙ КАМЧАТСКОЙ ЛИТОСФЕРНОЙ ПЛИТЫ» между Министерством по науке и технологиям Российской Федерации и Национальным научным фондом США, при финансовой поддержке американской стороны, была организована система наблюдений землетрясений на полуострове Камчатка с помощью 15 широкополосных цифровых сейсмических станций “PASSCAL”. Цель проекта - исследование сейсмичности зоны стыка Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг [36].

Каждая станция “PASSCAL” включала в себя: широкополосный 3-х компонентный велосиметр CMG-3T ($T_s=120\text{ s}$); блок 3-х канального 24-х разрядного аналого-цифрового преобразователя REFTEK 72A-08, в котором были организованы два потока данных ($F_{aцп}=1$ и 40 Гц); блок накопителя данных на жестком магнитном диске (1 – 4 Гб); блок часов с синхронизацией по сигналам GPS; система питания с резервированием от аккумуляторов и солнечных батарей. На рис. 2 показана схема размещения цифровых широкополосных станций, в таблице 2 их основные параметры.

Система сейсмологических наблюдений

Таблица 1. Сейсмические станции Камчатской сети, их основные данные.
Table 1. The parameters of seismic stations on Kamchatka.

Сейсмостанция	Код	Широта	Долгота	Высота (м)	Увеличение/Чувствительность (отчет/м/сек)	Дата открытия	Дата закрытия
1	2	3	4	5	6)	7	8
Стационарные с гальванометрической регистрацией							
Апача	APC	52.925	157.158	100	6500,10000	24/02/1990	
Апахончик *	APH	56.000	160.840	700	500-10000	10/1960	27/06/1989
Авача *	AVH	53.265	158.738	880	2000, 12000	16/01/1963	28/06/1976
Берёзовая	BER	52.270	158.450	20	5000,3400	09/04/1981	20/04/1994
Богачёвка	BGC	54.850	160.916	240	5000	21/12/1964	14/08/1966
Беринг *	BKI	55.204	165.972	15	7000, 5000	21/11/1962	15/01/2004
Эссо *	ESO	55.925	158.700	490	30000,40000	24/11/1965	
Крутоберегово*	KBG	56.255	162.705	30	5000	11/04/1968	
Карымский	KII	54.026	159.482	620	250-10000	10/02/1973	20/10/1986
Ключи *	KLY	56.313	160.852	35	300-5000	1946	02/06/1999
Козыревск *	KOZR	56.058	159.872	45	5000	1958	11/11/1989
Кроноки *	KRN	54.596	161.134	50	3600, 5000	01/09/1966	28/02/2002
Медный	MED	54.786	167.566	20	7000	14/09/1973	09/06/1975
Мильково	MLK	54.700	158.630	90	5000	14/10/1962	04/03/1963
						24/10/1989	09/11/1993
Налычево	NAL	53.440	158.846	50	5000	02/06/1968	26/09/1968
						06/03/1969	27/11/1969
Оссора	OSSR	59.250	163.060	5	10000	25/01/1973	
Озеро	OZR	54.692	160.392	380	5000	01/01/1968	12/10/1972
Паужетка *	PAU	51.467	156.810	110	7000,10000,5000	01/04/1961	
Подкова	PDK	56.140	160.780	800	500, 10000	15/11/1978	28/09/1999
Петропавловск*	PET	52.023	158.653	100	8000, 5000	1951	
Семлячик	SML	54.109	159.974	10	3000, 5000	02/11/1961	01/07/1974
						14/12/1986	16/04/1991
Шипунский *	SPN	53.107	160.011	170	5000	25/08/1962	12/1995
Тополово	TOP	53.230	158.041	200	10000	03/11/1961	16/06/1993
Усть-Большерецк	UBL	52.842	156.308	15	3000	02/11/1961	29/10/1964
Водопадная	VDP	55.770	160.220	900	500,10000	25/03/1978	08/09/1991
Верхнекамчатск	VKM	54.627	158.473	160	8000	23/10/1966	01/10/1971
Радиотелеметрические станции							
Петропавловская сеть							
Алаид	ALD	50.869	155.55	1400	10^7	08/08/2001	
Авача	AVH	53.265	158.738	900	10^7	07/1976	
Буличка	BLK	53.193	158.794	800	10^7	07/1976	21/04/1991
Эссо	ES2	55.920	158.680	492	40000	04/09/1993	07/09/1995
Ганалы	GNL	53.695	157.942	1200	10^7	15/01/1988	
Горелый	GRL	52.552	158.073	1250	10^7	17/04/1981	
Институт	INS	53.066	158.605	175	10^7	11/1981	
Корякский	KRK	53.292	158.636	1050	10^7	01/09/1981	09/12/1988
						29/11/1996	
Карымский	KRY	54.036	159.449	900	10^7	02/09/1989	
Козельский	KZL	53.201	158.894	950	10^7	18/08/1979	23/04/1991
Мал. Ипелька	MIPR	52.276	156.758	370	10^7	31/10/1997	
м. Козлова	MKZ	54.556	161.73	520	10^7	28/09/1997	
Налычево	NLC	53.171	159.345	20	10^7	31/03/1984	
Петропавловск	PET	53.024	158.653	100	10^7	06/1987	
Русская	RUS	52.433	158.513	75	10^7	21/12/1987	
Седловина	SDLR	53.278	158.884	1235	10^7	31/07/1993	
Сомма	SMAR	53.263	158.801	1950	10^7	20/12/1995	
Шипунский	SPN	53.104	160.011	170	10^7	04/1985	
Угловая	UGLR	53.209	158.824	1140	10^7	26/05/1995	

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6)	7	8
Ключевская сеть							
Цирк	CIRR	56.115	160.748	1420	10^7	08/12/1998	
Крутоберегово	KBTR	56.208	162.819	200	10^7	14/10/1997	
Ключи	KLY	56.317	160.858	50	10^7	02/1989	
Купол	KPL	56.592	161.296	1700	9000	28/07/1987	
Крестовский	KRSR	56.217	160.565	1120	10^7	24/04/1988	12/02/1993
Логинов	LGNR	56.083	160.690	2500	10^7	01/09/1999	
Подкова	PDK	56.14	160.78	985	10^7	04/1985	28/09/1999
Шивелуч	SVLR	56.577	161.22	840	10^7	17/02/1981	
Зелёная	ZLN	56.017	160.804	1120	10^7	22/05/1989	
Козыревская сеть							
Каменистая	KMNR	55.756	160.247	1147	10^7	27/09/1990	
Козыревск	KOZR	56.070	159.900	45	10^7	14/11/1989	08/06/2001
Козыревск	KOZR	56.058	159.872	45	10^7	21/06/2001	
Копыто	KPT	55.966	160.222	1004	10^7	24/10/1997	
Срединный	SRDR	56.316	159.697	750	10^7	04/01/1992	
Тумрок	TUM	55.283	160.146	1213	10^7	25/07/2003	
Цифровые стационарные станции							
Карымшина	KRM	52.83	158.13	120	10^9	17/01/2000	
Беринг	BKI	55.204	165.972	15	$1.8 \cdot 10^7$	23/12/2003	
Каменское	KAMR	62.456	166.21	88	$2.4 \cdot 10^8$	24/10/1994	
IRIS	PTR	53.024	158.653	100	10^{8-10}	15/09/1993	

Работы выполнялись КОМСП ГС РАН и ИВ ДВО РАН совместно с Йельским университетом (США).

Созданием региональной сети стационарных сейсмических станций в 60-х гг. руководил С. А. Федотов. Наибольший вклад в организацию и развитие сети стационарных сейсмических станций внесли С. А. Федотов, П. И. Токарев, В. Д. Феофилактов, Е. И. Гордеев, А. А. Гусев, В. М. Зобин, В. В. Степанов, В. И. Горельчик, В. И. Левина, Е.И. Савинов, В.В. Марфель, В. В. Фешин, В. В. Разумовский, Б. В. Сенников, В. С. Борисенко, В. И. Дядин, Е. П. Токарев, Р. А. Кутанов. Работа станций была бы не возможна без техников-операторов, среди которых в первую очередь следует назвать В. А. Аристархова, Е. Ф. Кулагина, М. Н. Кулагину, В. К. Мишина, Л. С. Мишину, А. М. Алешкова, К. С. Киришева, Н. А. Юрьеву и многих других.

Таблица 2. Сейсмические станции "PASSCAL" 1998-1999 гг., их основные данные.

Table 2. The parameters of "Passcal" seismic stations in 1998-1999.

Сейсмическая станция	Код	Широта	Долгота	Высота (м)	Увеличение/Чувствительность (отсчет/м/сек)	Дата открытия	Дата закрытия
Апача	APC_P	52.9257	157.1329	156	$8 \cdot 10^8$	21/06/1998	17/08/1999
Беринг	BKI_P	55.193	165.98	13	$8 \cdot 10^8$	24/07/1998	30/08/1999
Эссо	ESO_P	55.962	158.69	490	$8 \cdot 10^8$	03/09/1998	21/08/1999
Кроноки	KRI_P	54.594	161.133	68	$8 \cdot 10^8$	24/08/1998	06/08/1999
Крутоберегово	KBG_P	56.258	162.711	38	$8 \cdot 10^8$	04/09/1998	26/08/1999
Мильково	MLK_P	54.694	158.582	44	$8 \cdot 10^8$	22/06/1998	04/06/1999
Оссора	OSS_P	59.261	163.084	5	$8 \cdot 10^8$	29/10/1998	08/09/1999
Палана	PAL_P	59.095	159.968	50	$8 \cdot 10^8$	05/10/1998	08/09/1999
Паужетка	PAU_P	51.467	156.810	110	$8 \cdot 10^8$	16/08/1998	08/06/1999
Соболево	SBL_P	54.3	155.96		$8 \cdot 10^8$	09/12/1998	10/09/1999
Тигиль	TIG_P	57.759	158.685	45	$8 \cdot 10^8$	06/10/1998	26/08/1999
Тиличики	TIL_P	60.446	166.148		$8 \cdot 10^8$	22/10/1998	03/09/1999
Тумрок	TUM_P	55.203	160.399	300	$8 \cdot 10^8$	26/08/1998	05/08/1999
Усть-Хайрюзово	UKH_P	57.094	156.766		$8 \cdot 10^8$	05/10/1998	09/09/1999
Жупаново	ZUP_P	54.082	159.988	20	$8 \cdot 10^8$	24/08/1998	05/09/1999

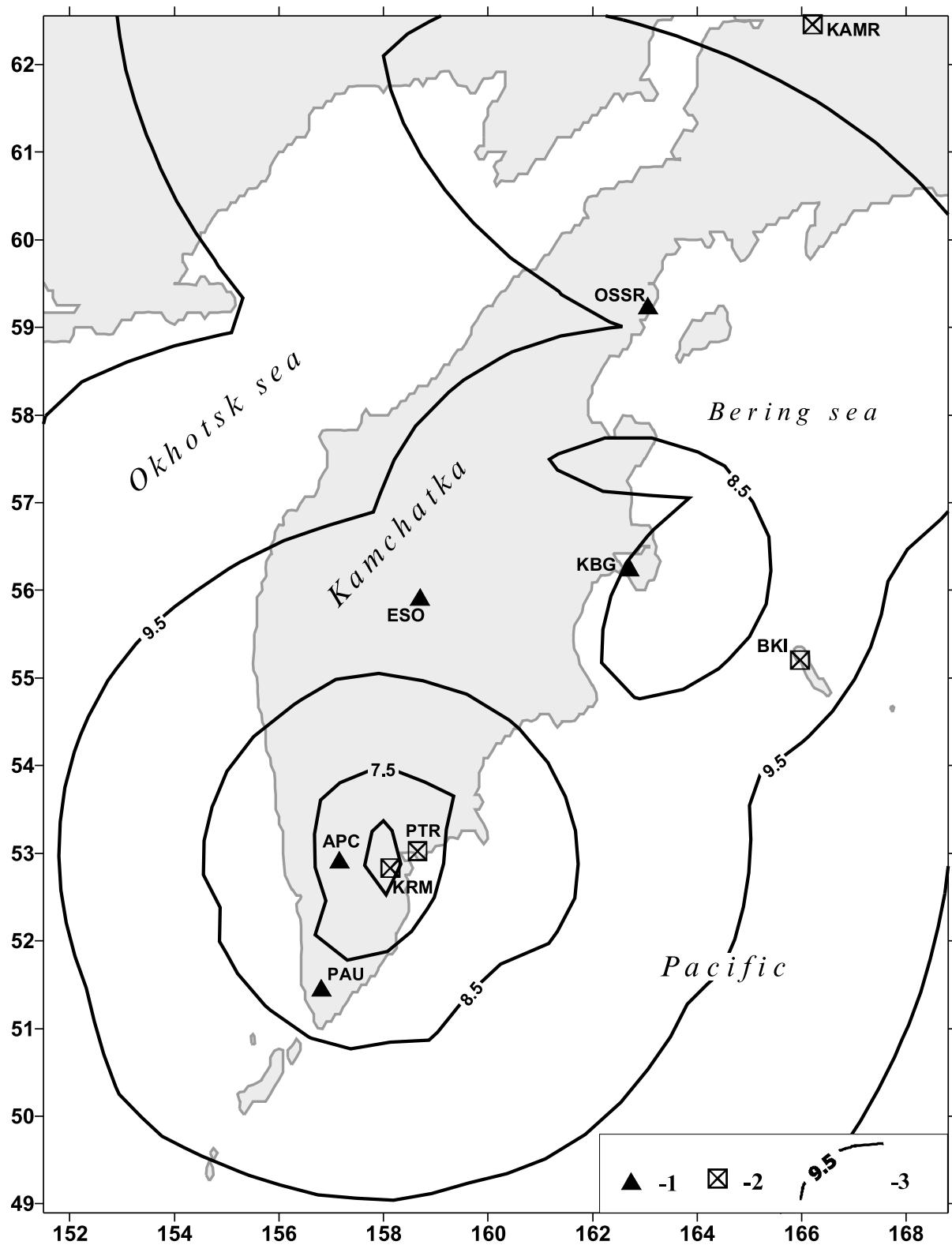


Рис. 1. Схема размещения стационарных сейсмических станций с контурами надежной регистрации.

1 – станции с гальваниометрической регистрацией, 2 - станции с цифровой регистрацией, 3 – контуры надежной регистрации землетрясений.

Fig. 1. The seismic network map with the isolines in the energy class level for the earthquakes.

1 - stations with recording on photopaper, 2 - digital stations, 3 - the isolines in the energy class level for the earthquakes.

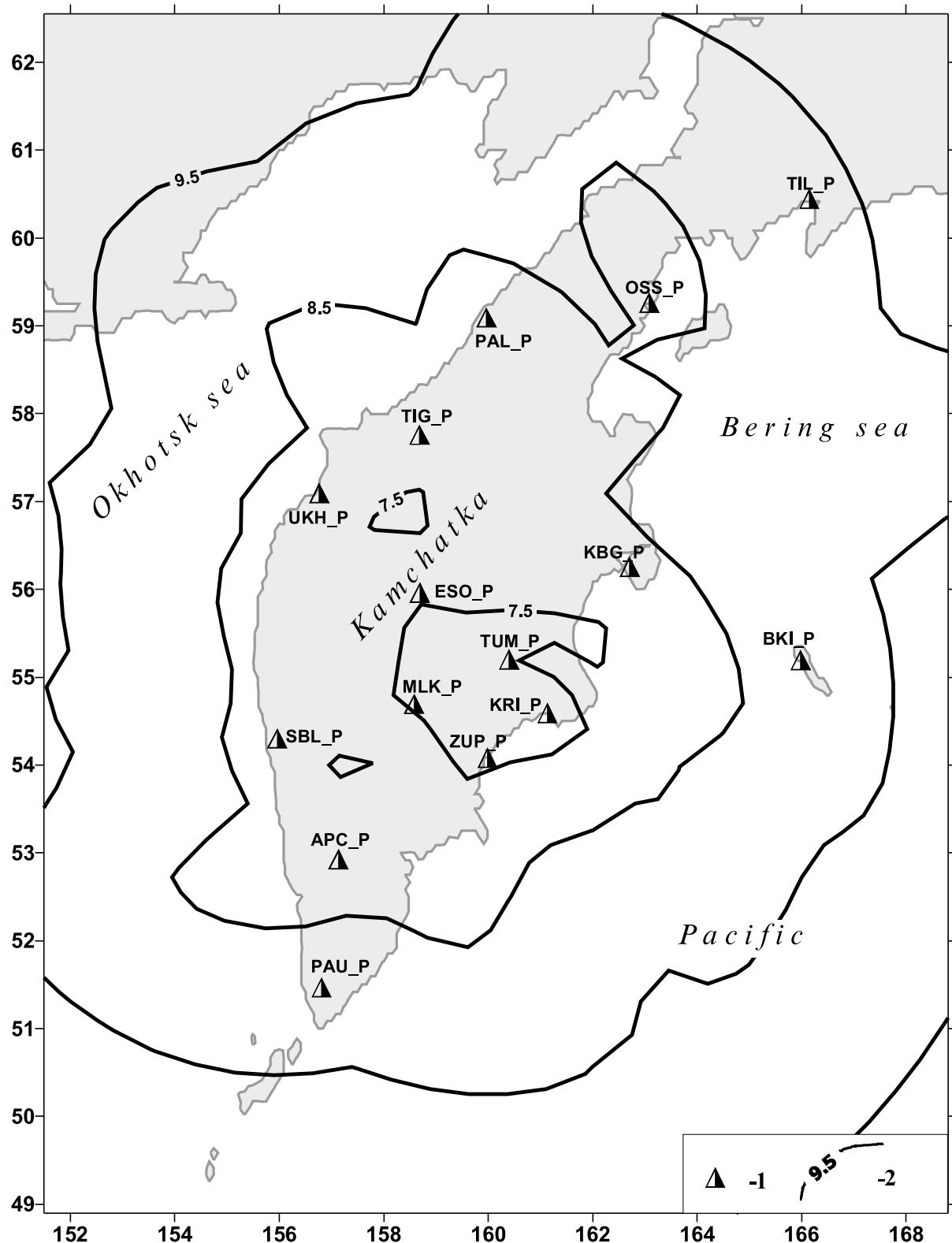


Рис. 2. Схема размещения широкополосных станций «Паскаль» с контурами надежной регистрации землетрясений.

1 – станции, 2 – контуры надежной регистрации землетрясений.

Fig. 2. The position of the broad band stations “Passcal” with the isolines in the energy class level for the earthquakes.

1- seismic station, 2 - isolines in the energy class level for the earthquakes.

Радиотелеметрические сейсмические станции

Работы по разработке и созданию радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС) были начаты в 1974 г. Основная цель этих работ состояла в необходимости расширения сейсмометрических сетей и в первую очередь для контроля активности действующих вулканов. В 1977 г. на Авачинской группе вулканов были открыты первые 4 станции РТСС. В 2004 г. число работающих станций РТСС достигло 28. Основные данные станций РТСС приведены в табл. 1. Схема их размещения на территории Камчатской области показана на рис. 3. Динамика развития сети станций РТСС показана на рис. 4. Наибольшее развитие сеть станций РТСС получила в 80-е годы.

Станции РТСС оборудованы сейсмометрическими каналами трёх типов. На всех станциях установлен трёхкомпонентный комплект короткопериодных каналов на базе сейсмометров СМ-3 ($T_s=1.2$ с) для регистрации скорости смещения грунта в полосе 0.8 – 30 Гц. Чувствительность сейсмометрических каналов с цифровой регистрацией на приемных центрах РТСС составляет $2 \cdot 10^7$ отсчёт/м/с. На некоторых станциях имеется высокочувствительный велосиметр вертикальной ориентации с уровнем передачи около 10^9 отсчёт/м/с в полосе 4 – 30 Гц. На станции “Институт” установлен комплект среднепериодных каналов для магнитудных определений с уровнем передачи смещения 10^6 отсчёт/м в полосе 0.04-5 Гц. Калибровка сейсмометрических каналов РТСС производится ежесуточно в автоматическом режиме [35]. Передаточные функции каналов представлены в доступном по локальной сети архиве в форме полюсов, нулей и коэффициентов. Переопределения этих параметров выполняется раз в месяц. В расчётах используются средние значения механических постоянных. Точность синхронизации записей станциями РТСС со шкалой времени GMT не хуже десяти миллисекунд.

Работу удаленных радиотелеметрических сейсмостанций обеспечивают четыре ретранслятора радиосигналов. Двадцать четыре радиотелеметрические сейсмические станции и три ретранслятора работают в полевых условиях с автономным питанием от гальванических батарей. Четыре станции и один ретранслятор имеют сетевое питание.

Полные сведения об этапах разработки и создания системы РТСС на Камчатке, о технических характеристиках оборудования приведены в работах [16, 17, 30].

В 2004 г. сеть РТСС Камчатки включает в себя три куста станций: Петропавловский (15 станций), Козыревский (5 станций), Ключевской (8 станций). Деление на кусты обусловлено расположением приемных центров, на которых ведется регистрация сейсмометрической информации соответствующих станций. С 1996 г. все приемные центры РТСС, кроме регистраторов с видимой записью, оснащены системами цифровой регистрации на базе ПЭВМ. Накопление данных ведется на жестких дисках и CD-R (с 2003 г. - на DVD). Приемные центры РТСС в г. Ключи и п. Козыревск с помощью выделенных телефонных линий включены в локальную вычислительную сеть КОМСП. Данные всех сейсмометрических каналов всех станций РТСС доступны операторам приемного центра в г. Петропавловск-Камчатский в режиме реального времени. Подробнее об организации системы сбора сейсмометрической информации смотри статью «Система сбора, обработки и хранения сейсмологической информации» [наст. Сб.].

Современное состояние сети станций РТСС позволяет регистрировать землетрясения всей Камчатки, начиная с 9.0 энергетического класса по шкале С. А. Федотова [28], района г. Петропавловск-Камчатский и Авачинского залива – с класса 7.5, районов Авачинской и Ключевской групп вулканов – с класса 4.0 - 5.0. Контуры надежной регистрации землетрясений сетью станций РТСС показаны на рис. 3.

Основные достоинства сети станций РТСС это возможность доступа к данным всех сейсмометрических каналов всех станций в режиме реального времени, высокая точность синхронизации всех станций РТСС к единой шкале времени.

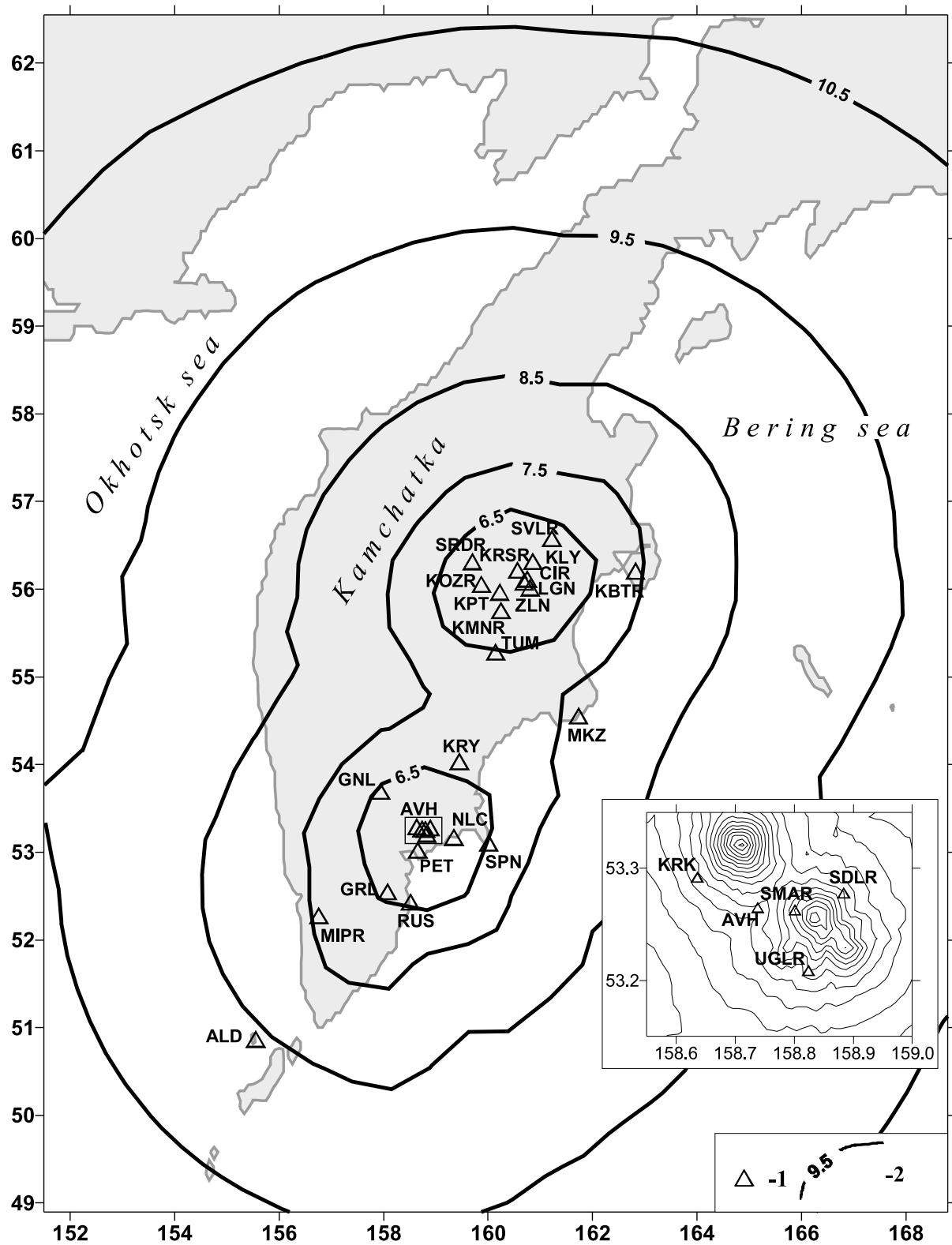


Рис. 3. Схема размещения радиотелеметрических сейсмических станций с контурами надежной регистрации землетрясений.

1 – станции, 2 – контуры надежной регистрации землетрясений.

Fig. 3. The map of radiotelemetry seismic network with the isolines in the energy class level for the earthquakes.

1- seismic station, 2 - the isolines in the energy class level for the earthquakes.

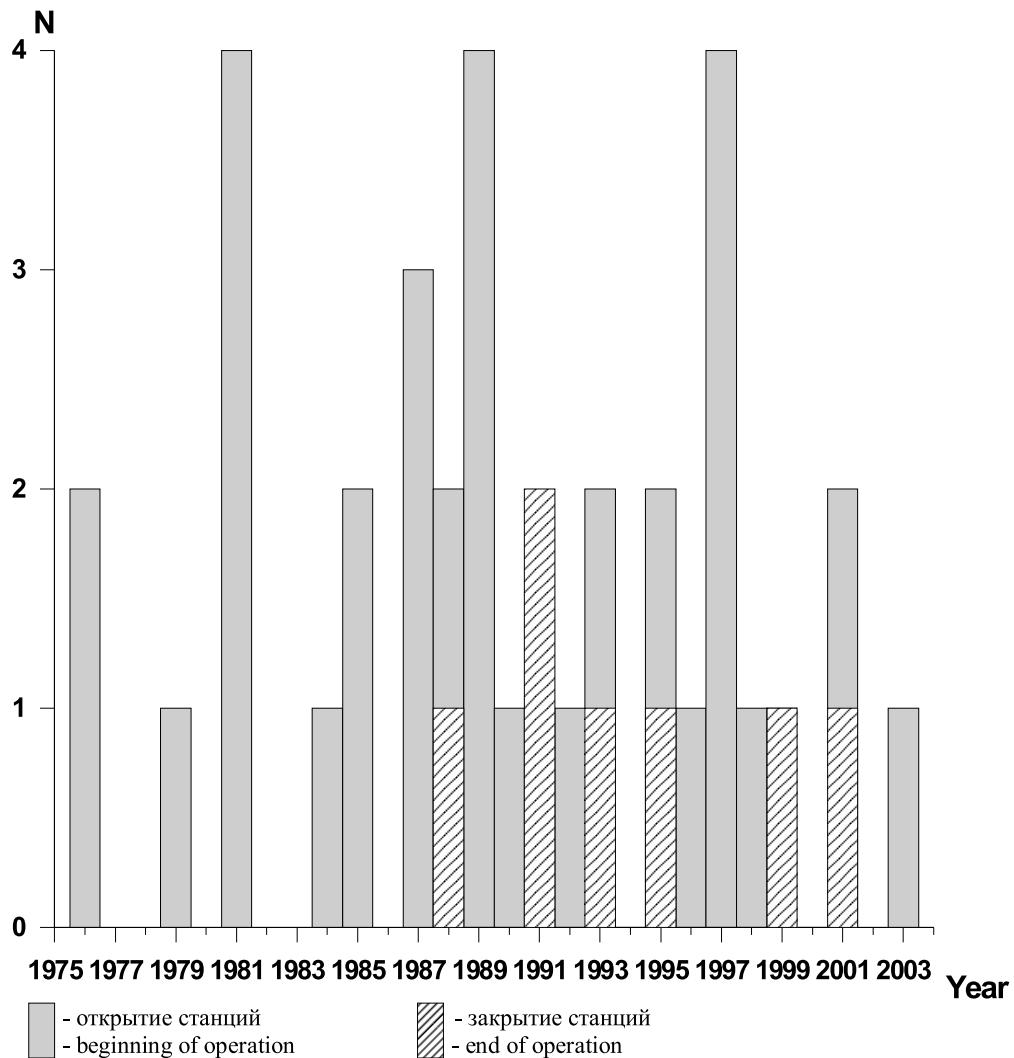


Рис. 4. Динамика развития сетей РТСС.

Fig. 4. Time history of the seismic stations operation.

Сеть станций РТСС позволяет решать в оперативном режиме следующие задачи:

- автоматизированная служба срочных донесений;
- оперативный контроль сейсмичности всей территории Камчатской области с целью оценки сейсмической опасности;
- оперативный контроль сейсмической активности действующих вулканов;
- оценка развития афтершоковых последовательностей сильных землетрясений в реальном масштабе времени.

Разработкой оборудования РТСС и созданием сетей РТСС до 90-х гг. руководил В. А. Гаврилов. С 90-х гг. развитием и эксплуатацией сетей РТСС руководит В. В. Ящук. Большой вклад в разработку и создание сетей РТСС внесли В. Ф. Воропаев, И. А. Головщикова, Ю. А. Лянник, А. Л. Пудов, В. В. Сорокин, Н. В. Скворцов, Г. О. Торосян, В. Г. Ушаков и многие другие.

Сеть станций сильных движений

Назначение сети станций сильных движений (ССД) состоит в регистрации сильных землетрясений, когда все другие сейсмометрические системы не работоспособны. Результаты работы сети ССД, кроме научно исследовательского значения, имеют важные практические приложения при строительстве в сейсмоопасных зонах.

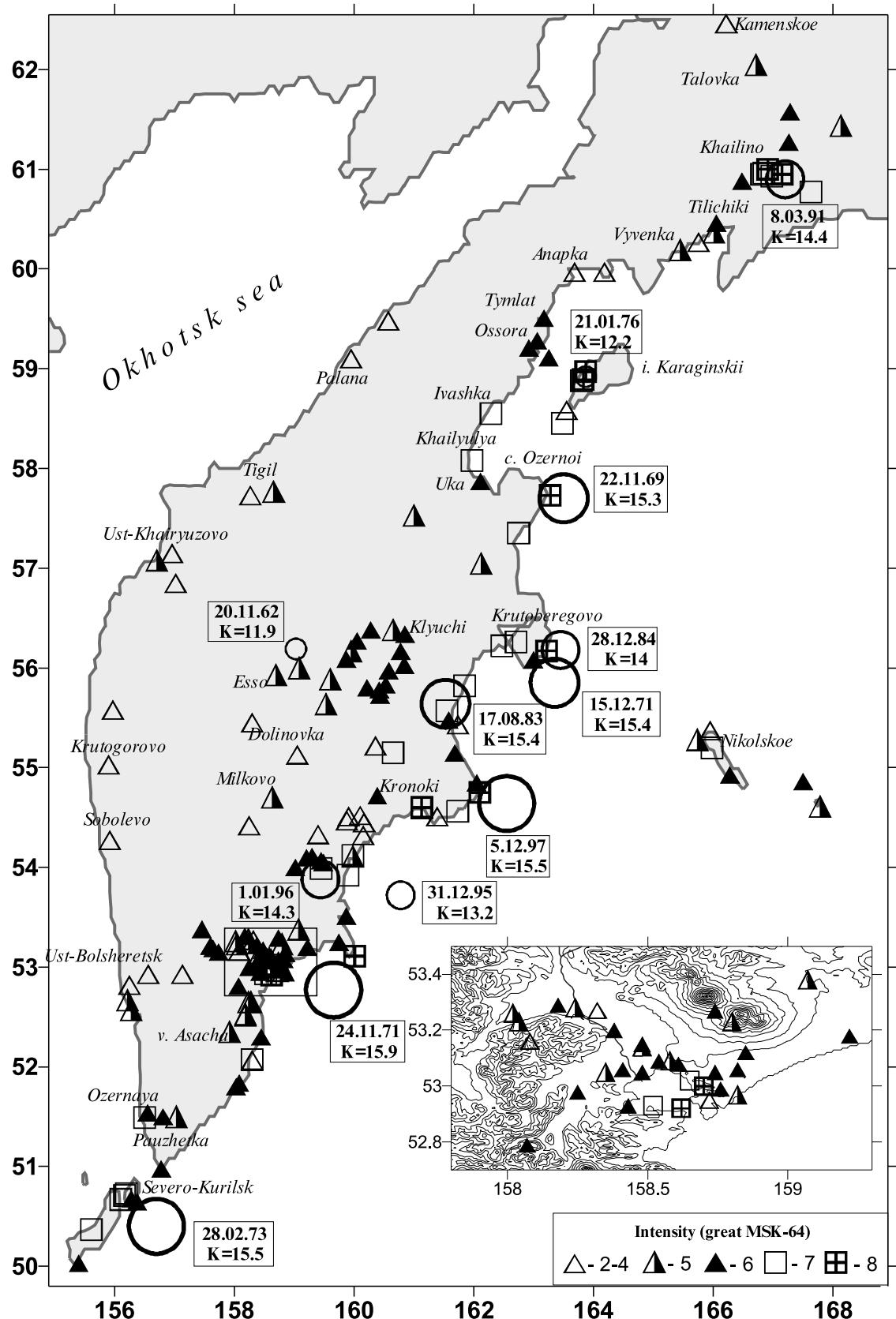


Рис. 5. Интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 в пунктах на территории Камчатской области от сильнейших землетрясений за период детальных сейсмологических наблюдений. На врезке показан район г. Петропавловск-Камчатский.

Fig. 5. The intensity in MSK-64 scale on the territory of Kamchatka from the biggest earthquakes since 1962. The Petropavlovsk-Kamchatsky area shown in frame.

Создание сети станций сильных движений на Камчатке началось в 1962 г. размещением автоматической установки УАР [2] на станции «Петропавловск», затем УАРы установили на станции «Беринг» в 1964 г. и на станции «Крутоберегово» в 1968 г. Параллельно создавалась сеть приборов С5С-ИСО-II [2, 22]. В 1974-1975 гг. были проведены работы по расширению и переоснащению сети за счет модернизации существующих установок УАР и размещения новых приборов ССРЗ, С5С-ИСО-II и SMAC-Q на пяти сейсмостанциях вдоль восточного побережья Камчатки и на пяти станциях на территории г. Петропавловска-Камчатского. Большая часть записей этого периода получена велосиграфами С5С-ИСО-II. Наибольшее развитие сеть ССД получила в 80-е гг. К концу 80-х началу 90-х гг. сеть ССД включала в себя 18 пунктов на восточном побережье Камчатки и 11 пунктов в районе г. Петропавловска-Камчатского. При этом большая часть приборного парка состояла из современных на то время акселерографов ССРЗ-М, АСРЗ и АСЗ-2. С октября 1993 года регистрация сильных движений началась каналом пониженной чувствительности (акселерометр) цифровой станции IRIS. В это же время значительно улучшаются метрологическое обеспечение и качество обслуживания приборов, создается система для оцифровки, получаемых станциями ССД, фотозаписей землетрясений на ПЭВМ IBM PC.

Для калибровки каналов регистрации сильных движений используется стандартная методика, рекомендованная изготовителем приборов и приведенная в техническом описании на прибор. Чувствительность каналов определяется методом наклона в разные стороны на 90°. Для определения собственной частоты и затухания использовалась калибровочная запись импульса при выключенном и включенном затухании.

Все пункты сети ССД находятся, согласно ОСР-97, в зоне сотрясений 8 – 9 баллов по шкале MSK-64. Чувствительность приборов позволяет регистрировать землетрясения с проявлением в пункте установки силой более 3 баллов. На рис. 5 показана интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 в пунктах на территории Камчатской области от сильнейших землетрясений за период детальных сейсмологических наблюдений.

К 2004 г. сетью ССД зарегистрировано 60 (без станции IRIS) сильных землетрясений, среди них такие сильнейшие как: 24.11.1971 г. $M=7.3$; 28.12.1984 г. $M=7.5$; 02.03.1992 г. $M=7.1$; 08.06.1993 г. $M=7.4$; 05.12.1997 г. $M=7.9$. В базе данных сильных движений (вместе с записями акселерометра станции IRIS) содержится 1656 записей

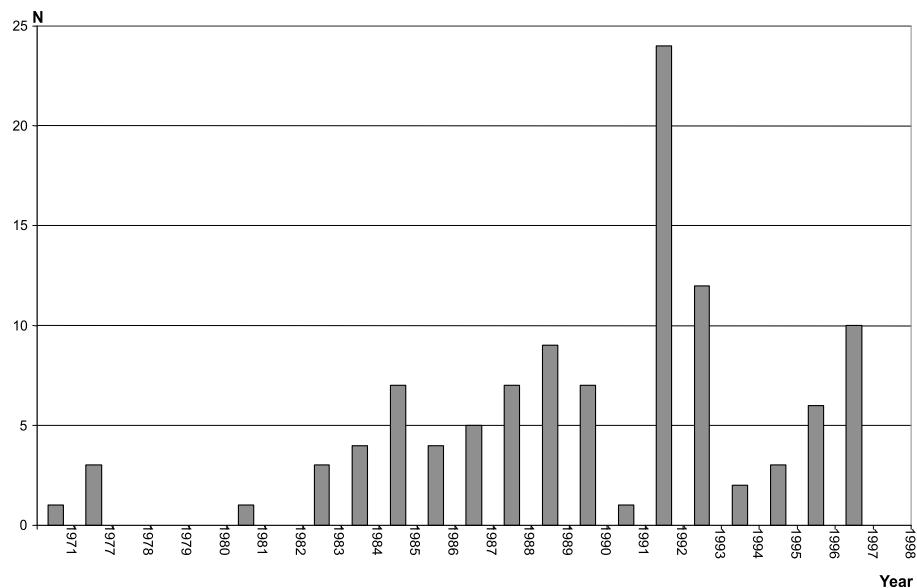


Рис. 6. Количество записей сильных землетрясений полученных на станциях сильных движений по годам работы сети.

Fig. 6. The number of strong motion records during observational time.

Таблица 3. Сеть станций сильных движений, основные данные.
Table 3. The parameters of strong motion station.

Сеть станций на Восточном побережье Камчатки					
№ п/п	Название станции, КОД	Координаты ° сш/° вд	Год откр/закр	Тип прибора	Условия установки
1.	Беринг, BKI	55.2/ 166.0	1962/	ИСО-IIМ-C5C, CCP3-M, AC3-2,	подвал сейсмостан- ции, постамент*
2.	Крутоберегово, KBG	56.3/ 162.7	1968/	ИСО-IIМ-C5C, CCP3-M, AC3-2	сейсмостанция, постамент
3.	Ключи, KLY	56.3/ 160.9	1983/1998	ИСО-IIМ-C5C	глубокий шурф, постамент,
4.	Кроноки, KRI	54.6/ 161.2	1966/2002	ИСО-IIМ-C5C, CCP3-M, AC3-2	подвал сейсмостанции, постамент
5.	м. Шипунский, SPN	53.1/ 160.0	1962/	ИСО-IIМ-C5C, CCP3-M, AC3-2	подвал 2-х этажного дома, постамент
6.	с/ст Петропавловск, PET	53.0/ 158.7	1961/	ИСО-II-C5C, CCP3-M, AC3-2, УАР	здание сейсмостанции, постамент
7.	Березовая, BER	52.3/ 158.5	1983/2000	AC3-2	2-х этажное здание, подвал, постамент
8.	Паужетка, PAU	51.5/ 156.8	1975/1987	ИСО-IIМ-C5C	постамент
9.	м. Африка, AFR	56.2/ 163.4	1983/	CCP3-M	бетонный пол подвала башни маяка
10.	м. Кроноцкий, KRC	54.8/ 162.1	1983/	CCP3-M	-
11.	Жупаново, GPN	54.1/ 160.0	1982/	CCP3-M	метеостанция, свободный грунт, постамент
12.	Налычево, NAL	53.2/ 159.2	1985/1993	CCP3	подвал диспетчерской будки, постамент
13.	м. Петропавловский, МРТ	52.9/ 158.7	1980/	CCP3-M	бетонный пол башни маяка
14.	м. Станицкий, STK	52.9/ 158.6	1988/1996	CCP3-M	бункер, бетонный пол
15.	Ходутка, KDT	51.9/ 158.2	1985/	CCP3-M	метеостанция, свободный грунт, постамент
16.	Круглый, KRL	52.1/158.3	1983/	CCP3-M	свободный грунт, постамент
17.	Родниковая, RDN	52.6/158.2	1998/	CCP3-M	свободный грунт, постамент
18.	м. Шуберта	56.0/162.1	1985/1987	CCP3-M	свободный грунт, постамент
Сеть станций на территории и в окрестностях г.Петропавловска-Камчатского.					
19.	Институт, INS	-	1974/	ИСО-IIМ-C5C, CCP3-M, ACP3-2, SMAC-Q	подвал здания Института вулканологии, постамент
20.	Горького15, PTG	-	1966/	ИСО-IIМ-C5C, CCP3-M	подвал 4-х этажного здания, постамент
21.	Дачная, DCH	-	1961/	ACP3-2	подвал 4-х этажного здания, постамент
22.	Ключевская, KLS	-	1977/1996	CCP3-M	цокольный этаж,4-х этажного здания, постамент
23.	Цунами, TSU	-	1976/1997	CCP3-M	цокольный этаж,4-х этажного здания, постамент
24.	Никольская NKS	-	1982/2001	CCP3-M	бункер, бетонный пол
25.	Мишенка, MSN	-	1982/	CCP3-M	подвал 2-х этажного здания телекоммуникаций, бетонный пол
26.	Дом быта		1981/1989	CCP3-M	подвал 4-х этажного здания, бетонный пол
27.	14км, AER	-	1986/	CCP3-M	подвал 2-х этажного здания, постамент
28.	28-й км		1981/1988	CCP3-M	подвал 4-х этажного здания, бетонный пол
29.	Паратунка, PRT	53.0/ 158.3	1980/1988	ИСО-IIМ-C5C	ионосферная станция, шурф, постамент

землетрясений. На рис. 6 показано количество записей землетрясений в базе данных полученных на станциях сильных движений по годам работы сети. В период 1998 – 2003 гг. количество получаемых записей резко сократилось, а те, которые получены, не пригодны для оцифровки и количественного анализа. Результаты обработки записей сильных землетрясений показаны в других статьях наст. Сб.

По состоянию на 2004 г. сеть ССД состоит из 10 пунктов на восточном побережье Камчатки и 6 пунктов в районе г. Петропавловска-Камчатского.

Основными причинами значительного сокращения наблюдений станциями сильных движений явились с одной стороны недостаточность бюджетного финансирования в 90-х гг. всех работ КОМСП ГС РАН, а с другой стороны прекращение

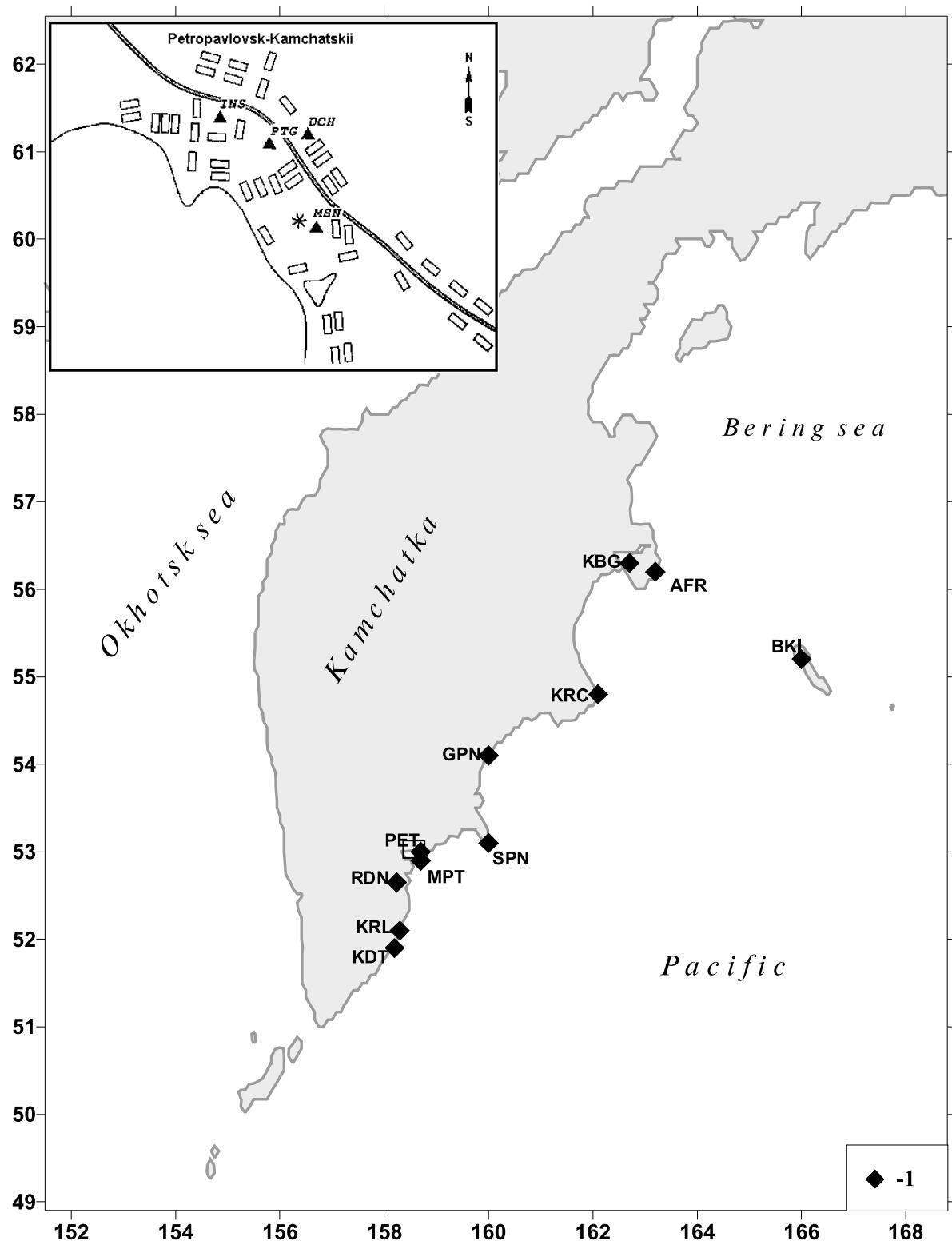


Рис. 7. Размещение станций ССД по состоянию на 2004 г.

Fig. 7. The strong motion network in 2004.

производства приборов для регистрации сильных движений в России. Имеющийся парк приборов давно устарел морально и физически.

Основные данные по сети ССД на Камчатке приведены в таблице 3, на рис. 7 показано размещение станций сети по состоянию на 2004 г.

Сеть ССД создавалась под руководством С. А. Федотова и В. Д. Феофилактова. Определяющий вклад в развитие сети ССД в 80-х гг. внес В. П. Митякин. Большой личный вклад в организацию контрольно-калибровочных работ в сети ССД, разработку и создание базы данных сильных движений в 90-х гг. внес А. Г. Петухин. Оцифровка фотозаписей сильных землетрясений заслуга, главным образом, Е. М. Гусевой. Создание и ведение базы данных - Н. П. Воропаева. Работу сети ССД до 90-х гг. обеспечивали С. Т. Плешаков, О. В. Донцов, сейчас обеспечивает В. Н. Козлов.

Временные сети для наблюдений в эпицентральных зонах сильных землетрясений и на активных вулканах

Создание временных локальных сейсмометрических сетей на активных вулканах, в эпицентральных зонах сильных землетрясений или с целью сейсмического районирования территории это наиболее дешевый путь решения многих фундаментальных и практических задач.

В 70-х годах для организации ВЛСС использовались полевые сейсмические регистраторы (ПСР) производства Опытного завода СО АН СССР [20]. Сейсмометрические каналы ПСР строились на базе сейсмометров СМ-2, СМ-3, сейсмические сигналы записывались на магнитную ленту. Основные характеристики сейсмометрических каналов ПСР: динамический диапазон 40 дБ; частотный диапазон 0,5 – 10 Гц; чувствительность каналов по скорости смещения (5000 - 10000) м/м/с. С регистраторами ПСР в 1974 – 1977 гг. были проведены работы по исследованиям штормовых микросейм и вулканического дрожания Большого трещинного Толбачинского извержения [6, 8, 9, 10].

В 1982-1983 гг. для проведения наблюдений путем организации ВЛСС в ОМСП ИВ ДВО РАН совместно с кафедрой физики Земли физического факультета МГУ была разработана автономная сейсмическая станция (АСС) [12, 33, 34]. Сейсмометрические каналы АСС были оборудованы сейсмометрами СМ-3. Основные характеристики сейсмометрических каналов АСС: регистрация сейсмических сигналов на магнитную ленту; динамический диапазон на двух уровнях регистрации 66 дБ; частотный диапазон регистрируемых сигналов 0,5 – 25 Гц; чувствительность каналов по скорости смещения (4000 - 9000) м/м/с; ежесуточная автоматическая калибровка. Для работы с записями АСС была создана автоматизированная система воспроизведения и обработки сейсмических сигналов с магнитных лент [34].

Начиная с 1983 г., с помощью АСС проводились работы по изучению афтершоковых процессов в эпицентральных зонах сильных землетрясений: 17.08.1983 г. M=6,8; 28.12.1984 г. M=7,5; 08.03.1991 г. M=7,0 [21], по изучению микросейсмичности района мыса Кроноцкий [13], по изучению сейсмичности территории Корякского автономного округа в рамках работ по общему сейсмическому районированию, по изучению вулканического дрожания вулкана Ключевской [11].

В 80-х гг. в ИВ ДВО РАН проводились также морские сейсмологические исследования с донными сейсмографами (АДС) С-016 производства СОКТИ АН АрмССР [32]. Эти работы были направлены в первую очередь на уточнение скоростного строения Камчатки и перехода континент – океан для повышения точности определения параметров землетрясений в сейсмофокальной зоне. К сожалению, в конце 80-х гг. эти работы были прекращены.

В 1996 г. в рамках совместных исследований по договору о техническом сотрудничестве в КОМСП ГС РАН университетом Хоккайдо были переданы цифровые регистраторы электрических сигналов DataMark LS-8000, на базе которых работы по

Таблица 4. Основные данные станций временных сетей 1983, 1985, 1987, 1993, 1997 гг.
 Table 4. The parameters of temporal seismic networks in 1983, 1985, 1987, 1993, 1997.

Год работы сети	№ АСС или код станции	Широта	Долгота	Высота (м)	Время работы сети	Примечание
1983	1	55,955	162,007	< 20	22.07 – 31.08	17.08.1983 г. M = 6,8
	2	56,022	163,022	100		
	3	54,755	162,13	< 20		
	4	55,175	166,072	< 20		
	5	56,115	162,107	< 20		
1985	1	56,121	162,132	< 20	17.07 – 26.08	28.12.1984 г. M = 7,5
	2	56,69	162,92	< 20		
	3	56,444	162,603	< 20		
	4	56,274	162,252	< 20		
	5	56,022	163,022	100		
	6	56,304	163,028	50		
	7	56,149	163,23	< 20		
	8	56,154	162,735	< 20		
	9	56,48	163,103	< 20		
	10	56,312	162,847	30		
	11	56,315	162,083	100		
	12	56,439	162,914	< 20		
1987	1	55,588	161,632	50	12.07 - 01.09	Микро сейсмичность района Кроноцкого полуострова
	2	55,4182	161,7235	< 20		
	3	55,06	161,87	< 20		
	4	54,595	161,129	50		
	5	54,75	162,1	50		
	6	54,864	160,893	50		
	7	54,514	161,66	< 20		
	8	54,95	161,607	500		
	9	55,179	160,668	150		
1993	1	60,405	167,125	< 20	18.07 - 01.09	08.03.1991 г. M = 7,0
	2	61,312	164,913	400		
	3	60,434	166,082	< 20		
	4	58,156	163,8	50		
	5	60,954	166,842	30		
1997	ST1	54.041	159.414	938	27.07 – 12.08	сейсмичность вулкана Карымский
	ST2	54.034	159.404	700		
	ST3	54.046	159.400	950		
	ST4	54.047	159.413	999		
	ST5	54.055	159.398	820		
	ST6	54.061	159.396	810		
	ST7	54.064	159.417	1134		
	ST8	54.073	159.454	1167		
	STB	54.027	159.483	625		
	STK	54.041	159.473	700		
	STS	54.053	159.488	826		
	STW	54.014	159.465	655		
	STL	53.994	159.436	630		
	KRY	54.036	159.449	0.900		

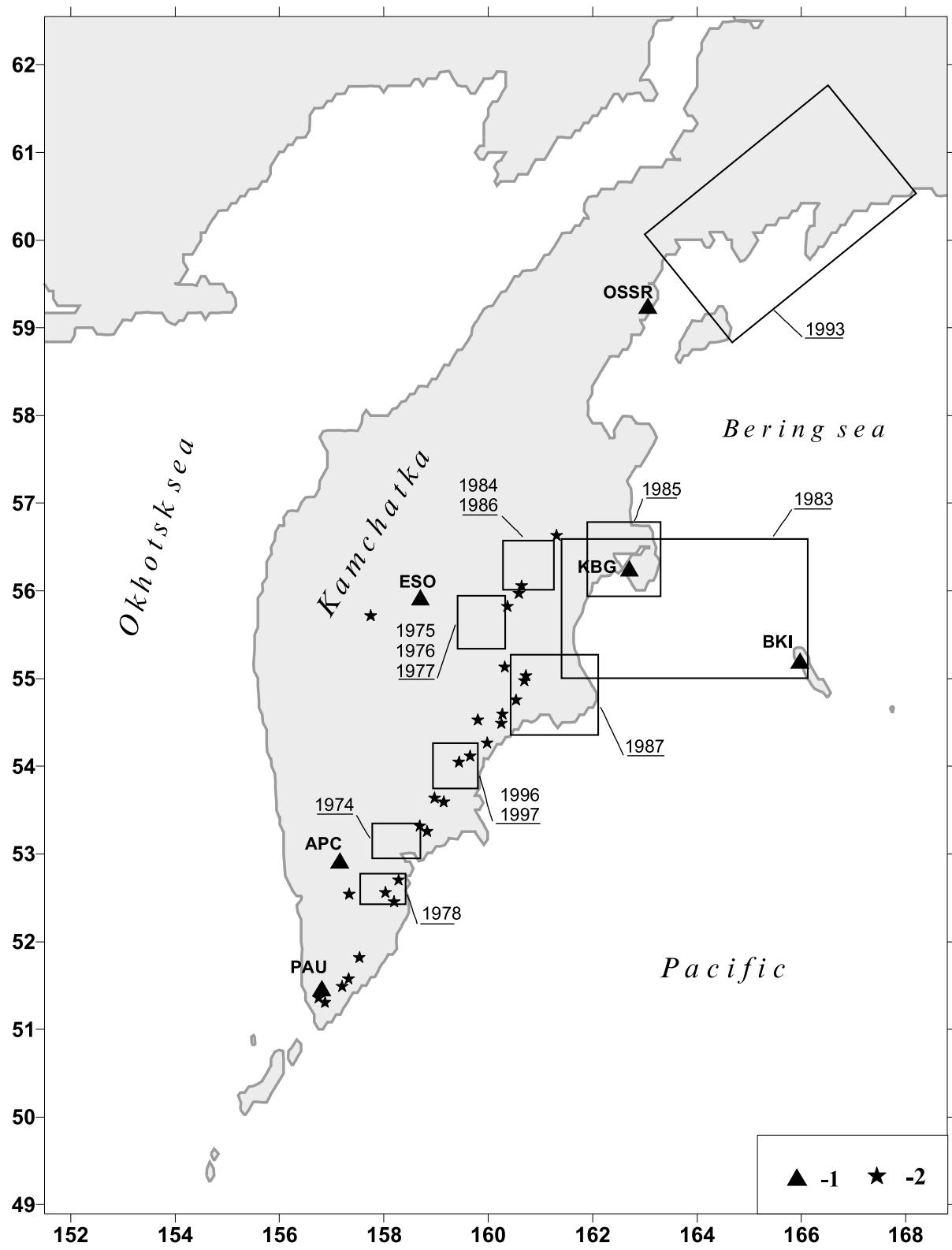


Рис. 8. Районы работ временных локальных сетей. 1 – станции, 2 – вулканы.
Fig. 8. The area of the temporal seismic networks. 1- seismic stations, 2- volcanoes.

организации наблюдений временными локальными сетями сейсмических станций были продолжены. В 1996 – 1997 гг. были проведены работы по изучению вулканических землетрясений и вулканических взрывов на вулкане Карымский [15, 26].

В последующие годы работы для целей фундаментальных исследований путем организации ВЛСС не проводились по причинам ограниченного в КОМСП ГС РАН финансирования сейсмологических работ в целом.

В таблице 4 приведены основные данные пунктов установки временных сейсмических станций, на рис. 8 показаны районы работ с ВЛСС начиная с 70-х гг., на рис. 9 – примеры временных сетей в эпицентральных зонах сильных землетрясений: 17.08.1983 г. $M=6,8$; 28.12.1984 г. $M=7,5$; 08.03.1991 г. $M=7,0$. Временная сеть 1987 г. (рис. 9) была развернута для изучения микросейсмичности района Кроноцкого полуострова.

Работами по разработке и созданию аппаратурно-методического комплекса для ВЛСС руководил В. Н. Чебров. Большой личный вклад внесли В. И. Синицын, В. И. Попов, Е. В. Попов, Е. С. Федоров, Ю. Ю. Мельников, Ю. А. Кугаенко, В. А. Салтыков, В. С. Борисенко, Т. П. Хубуная, О. П. Нечипоренко и др.

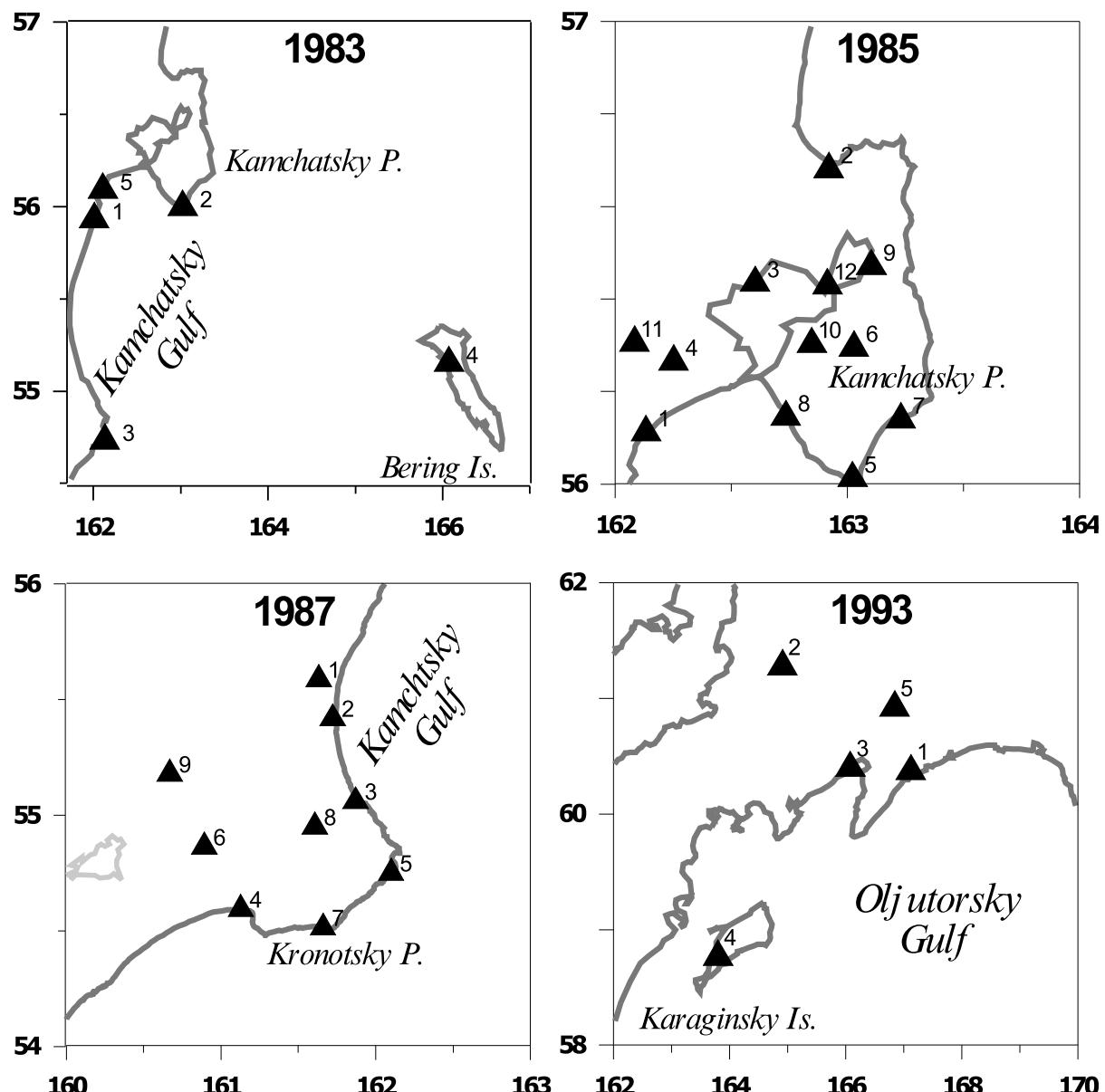


Рис. 9. Временные локальные сети 1983, 1985, 1987, 1993 гг.

Fig. 9. The temporal seismic networks in 1983, 1985, 1987, 1993.

Эффективность наблюдательных сейсмологических сетей

Под эффективностью сетей сейсмических станций будем понимать энергетическую представительность регистрируемых землетрясений, погрешности при определении их координат, а также способность решать с помощью этих сетей задачи мониторинга сейсмической и вулканической опасности территории полуострова Камчатка и Командорских островов в режимах службы срочныхдонесений, службы предупреждения о цунами, оперативной и сводной обработки. Важнейшим показателем эффективности сетей является решение задачи мониторинга сейсмичности территории в условиях катастрофического землетрясения, когда выводятся из строя часть станций и каналы связи.

Энергетическая представительность регистрируемых землетрясений определяется увеличением или чувствительностью сейсмометрических каналов станций, уровнем сейсмических шумов (микросейсмы, техногенные шумы), способом представления записей сейсмических сигналов для их обработки и алгоритмами обработки, конфигурацией и плотностью сейсмических станций на исследуемой территории. График на рис. 10 характеризует с одной стороны сейсмическую активность региона, с другой регистрирующие способности сетей сейсмических станций с 1962 г. Резкое повышение числа регистрируемых землетрясений с 1996 г. связано с внедрением системы цифровой регистрации на приемных центрах РТСС. Сводный региональный каталог землетрясений Камчатки содержит 87003 записей. За период времени с 1962 по 2003 гг.

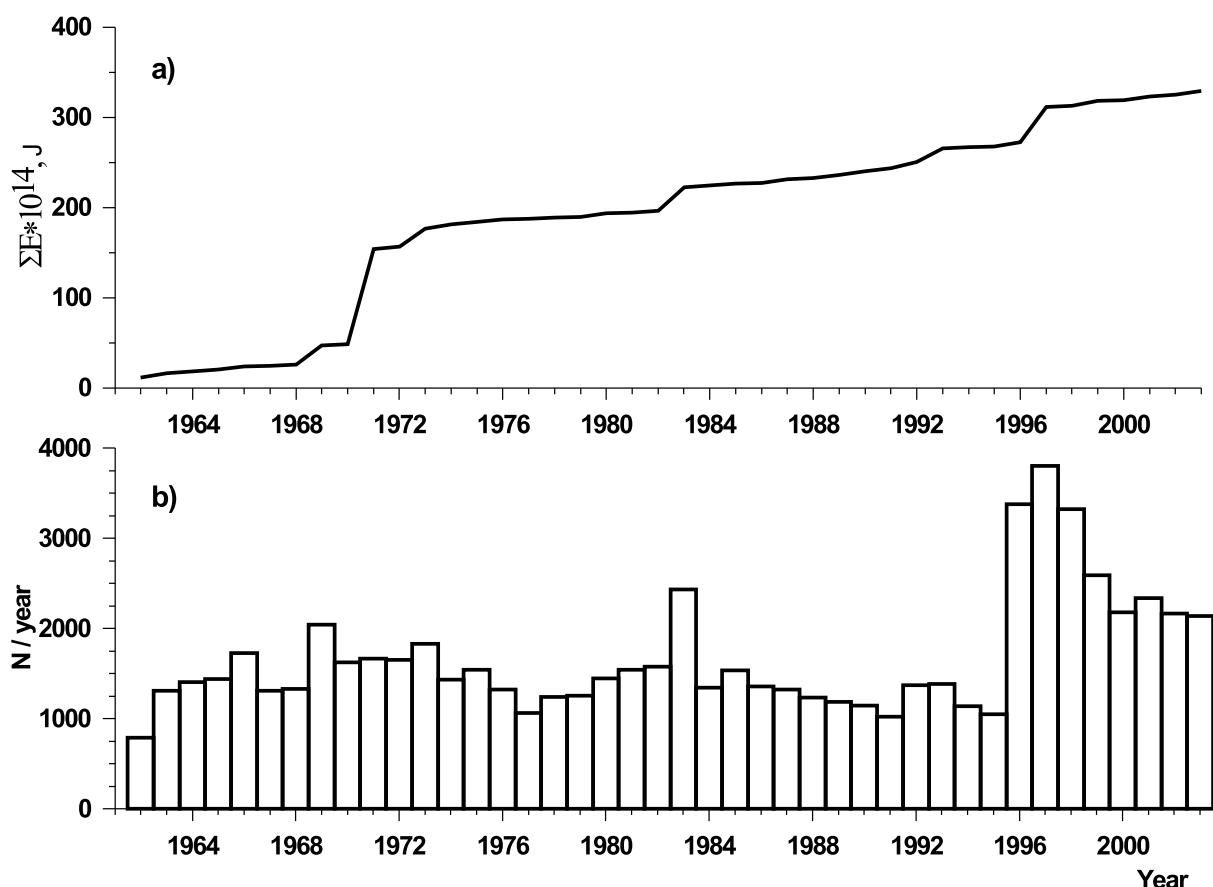


Рис. 10. а - кумулятивный график сейсмической энергии в Дж, высвободившейся в очагах камчатских землетрясений за период детальных наблюдений; б - число зарегистрированных землетрясений по годам.

Fig. 10. а - total seismic energy, б - number of the earthquakes.

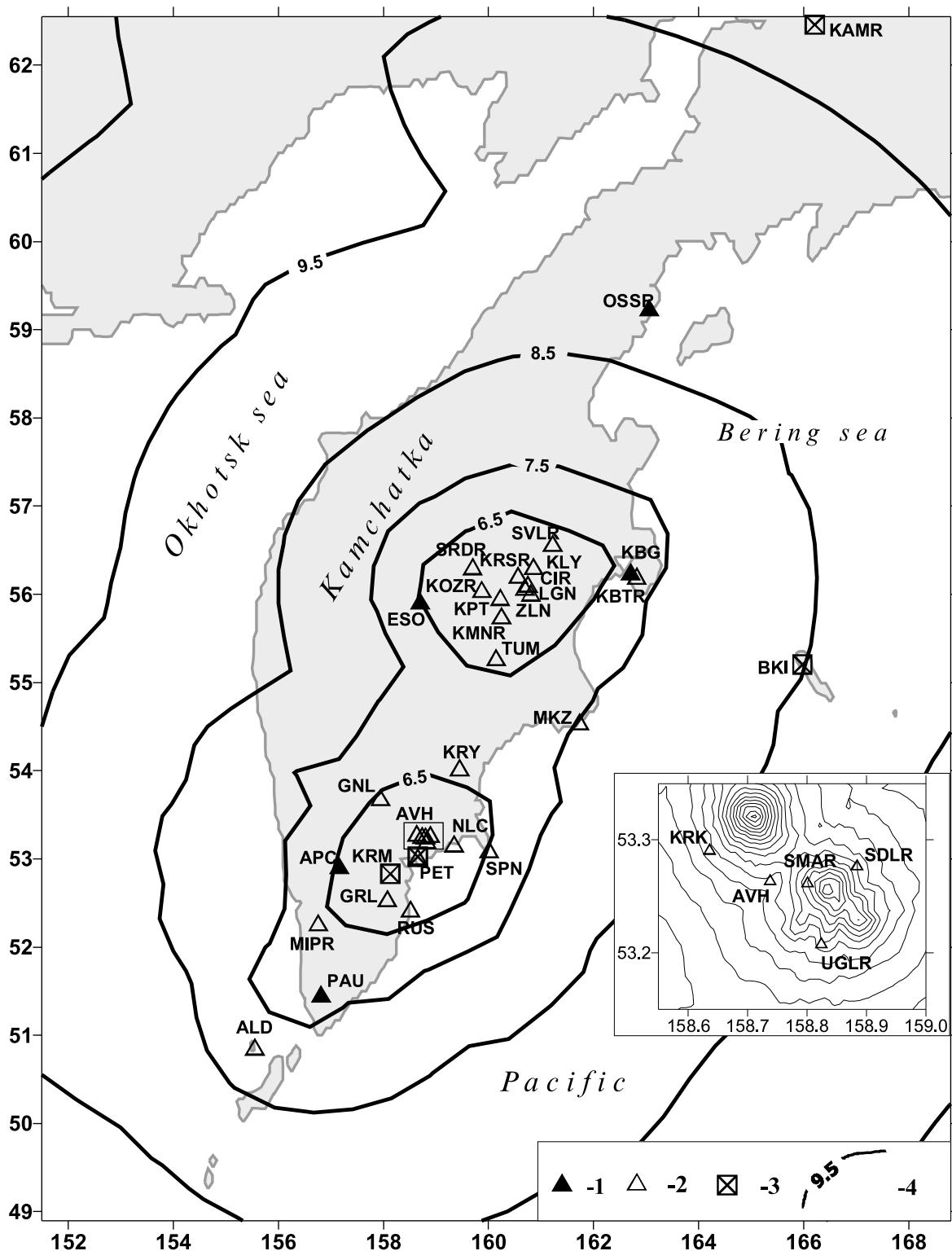


Рис. 11. Расчетные контуры надежной регистрации землетрясений Камчатки и Командорских островов сетями стационарных и радиотелеметрических станций совместно, состояние на 2004 г.

1 – станции с гальваниометрической регистрацией, 2 – радиотелеметрические станции, 3 – станции с цифровой регистрацией, 4 – контуры надежной регистрации землетрясений.

Fig. 11. Calculated isolines in the energy class level for the earthquakes of Kamchatka and Komandor islands for the total seismic network in 2004.

1 - stations with recording on photopaper, 2 - radiotelemetry stations, 3 - digital seismic stations, 4 - isolines in the energy class level for the earthquakes.

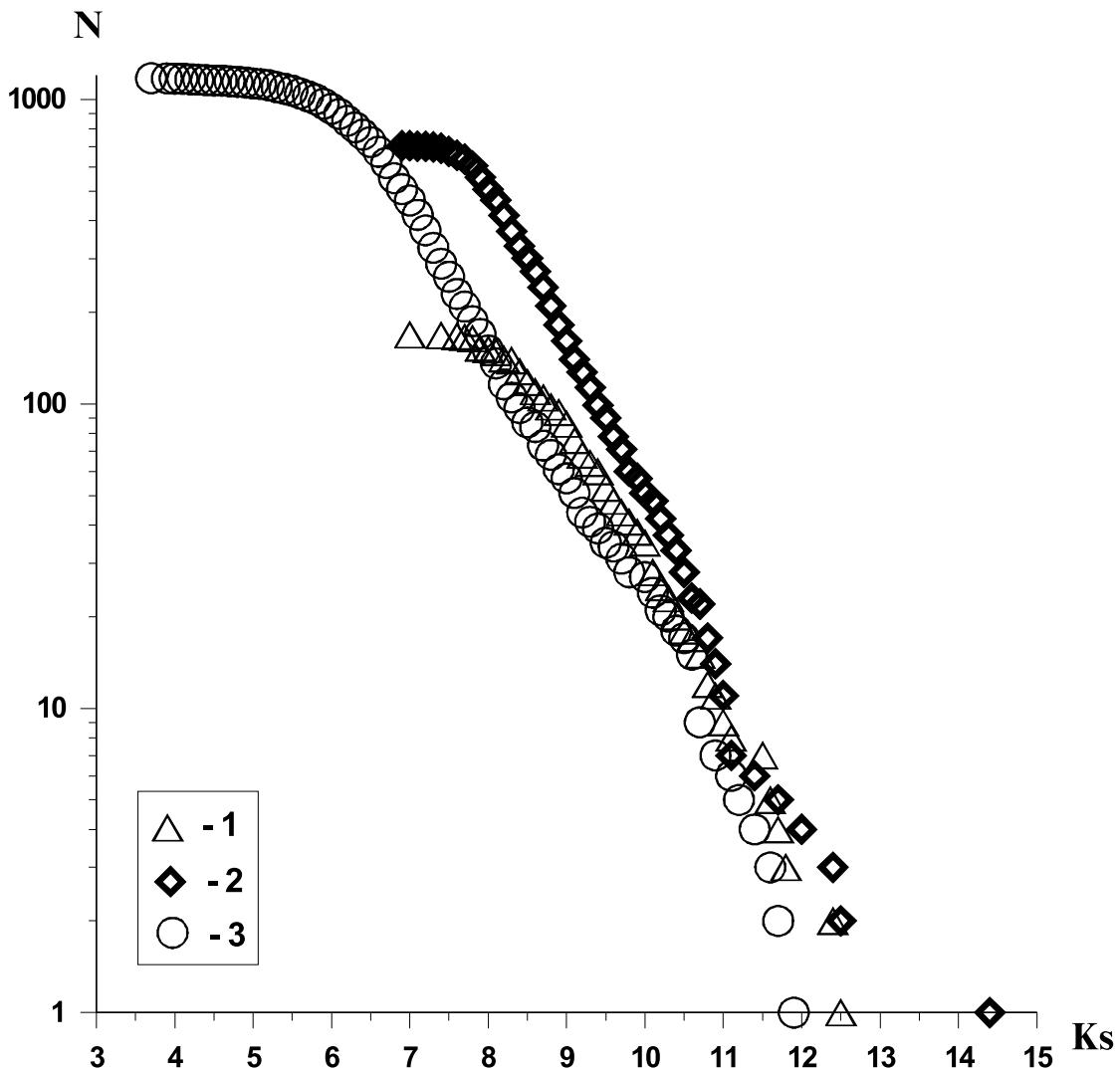


Рис. 12. Графики повторяемости землетрясений зарегистрированных из района Авачинского залива в 1962 (1), 1983 (2), 2003 (3) гг.

Fig. 12. Magnitude distribution plot (cumulative) for earthquakes in Avachinsky gulf in 1962 (1), 1983 (2), 2003 (3).

зарегистрированы 15 землетрясений с магнитудой более 7.0 и их афтершоковые последовательности.

Оценка энергетической представительности для камчатских сетей станций проводилась по методике изложенной в работе [3]. На рис. 11 показаны расчетные контуры надежной регистрации землетрясений Камчатки и Командорских островов сетями стационарных и радиотелеметрических сейсмических станций совместно по состоянию на 2004 г. На рис. 1 - сетью только стационарных станций, на рис. 3 - сетью только радиотелеметрических станций.

Существующие на 2004 г. сети стационарных и радиотелеметрических станций совместно обеспечивают уверенную регистрацию землетрясений начиная с 9.0 энергетического класса по шкале С.А. Федотова от Северных Курильских островов до поселка Оссора (50° - 59° с.ш., 153° - 165° в.д.). Для Авачинского залива - с 7.5 класса. Для Авачинской группы вулканов - с 4.0 класса. Для Ключевской группы вулканов - с 5.0 - 6.0 класса. Теоретические расчеты контуров надежной регистрации подтверждаются графиками повторяемости землетрясений (рис. 12), зарегистрированных камчатской сетью в 2003 г из района Авачинского залива. Увеличение числа сейсмических станций, изменения конфигурации сетей приводят к изменениям в контурах надежной

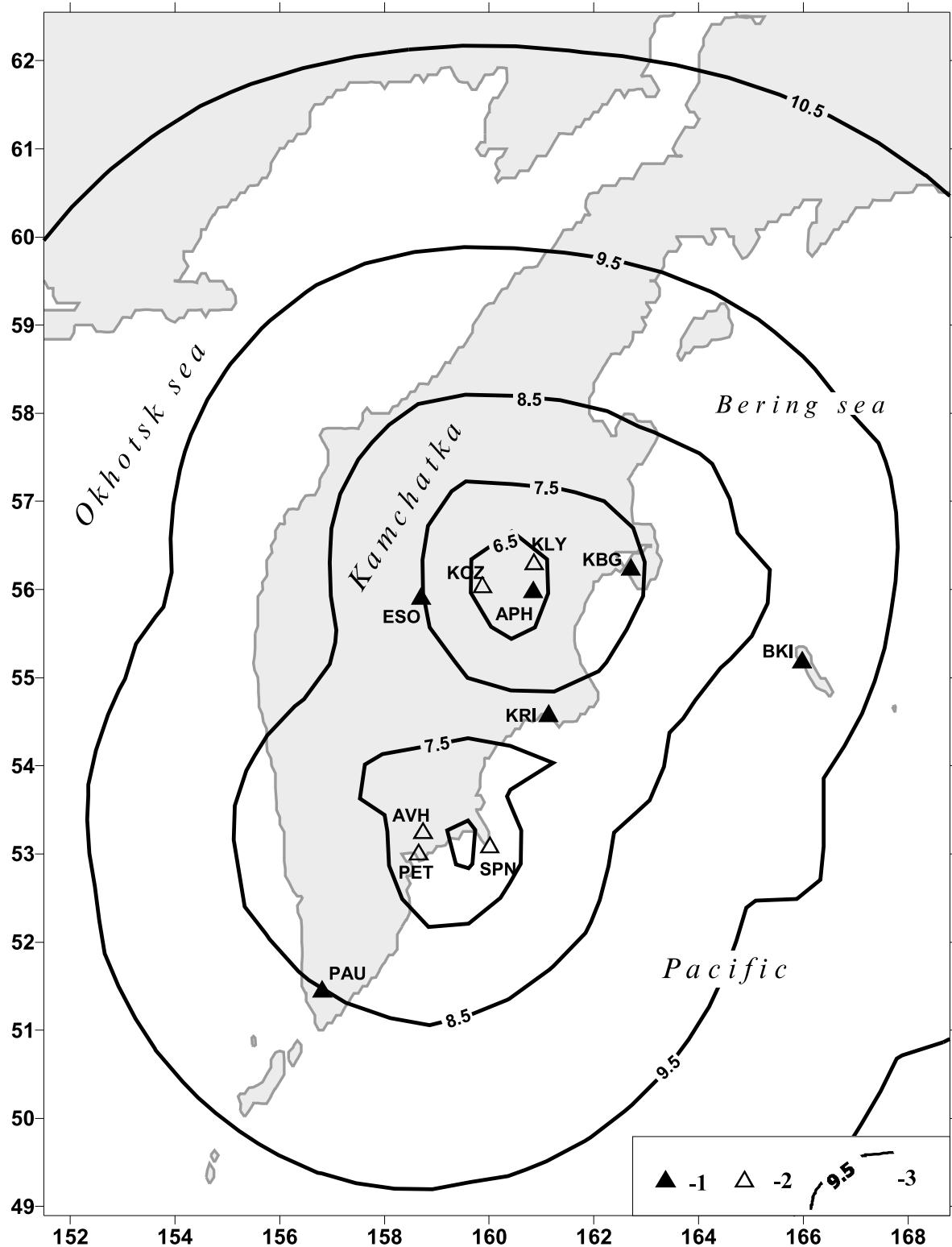


Рис. 13. Расчетные контуры надежной регистрации землетрясений для однородного каталога.

1 – станции с гальваниометрической регистрацией, 2 – радиотелеметрические станции, 3 – контуры надежной регистрации землетрясений.

Fig. 13. Calculated isolines in the energy class level for the earthquakes recorded without missing.

1 – stations with recording on photopaper, 2 – radiotelemetry stations, 3 - isolines in the energy class level for the earthquakes.

регистрации землетрясений. Вместе с тем для исследования сейсмического режима территории большое значение имеет однородность данных. Анализируя этапы развития сетей за весь период детальных сейсмологических наблюдений, начиная с 1962 г. по настоящее время (табл. 1), можно выделить 11 станций, наблюдения на которых составляют однородный, в смысле энергетической представительности, каталог землетрясений. Эти 11 станций в таблице 1 отмечены *. На рис. 13 показаны расчетные контуры надежной регистрации для однородного каталога.

Погрешности при определении координат землетрясений зависят от многих факторов: окружение очага землетрясения сейсмическими станциями; точность снятия вступлений основных сейсмических волн; точность, используемого при расчетах, годографа; принятых модели среды и алгоритма расчета.

Для расчетов координат гипоцентров землетрясений на Камчатке с 1978 г. применяется программа Гусева А. А. [18]. Программа использует геоцентрическую систему координат без поправок на эллиптичность и средний камчатский годограф по С. А. Федотову и И. П. Кузину [23]. При глубинах очагов землетрясений более 200 км и эпицентриальном расстоянии более 500 км используется годограф Джейфриса - Буллена.

Погрешности при определении координат землетрясений [18] имеют систематическую (ошибки годографа) и случайную составляющие (ошибки отсчета, ошибки идентификации вступлений сейсмических волн и др.). По оценкам программы А. А. Гусева абсолютные ошибки для определений эпицентров камчатских землетрясений 10 км, для определений их глубины - 20 км. Вместе с тем ошибки относительного

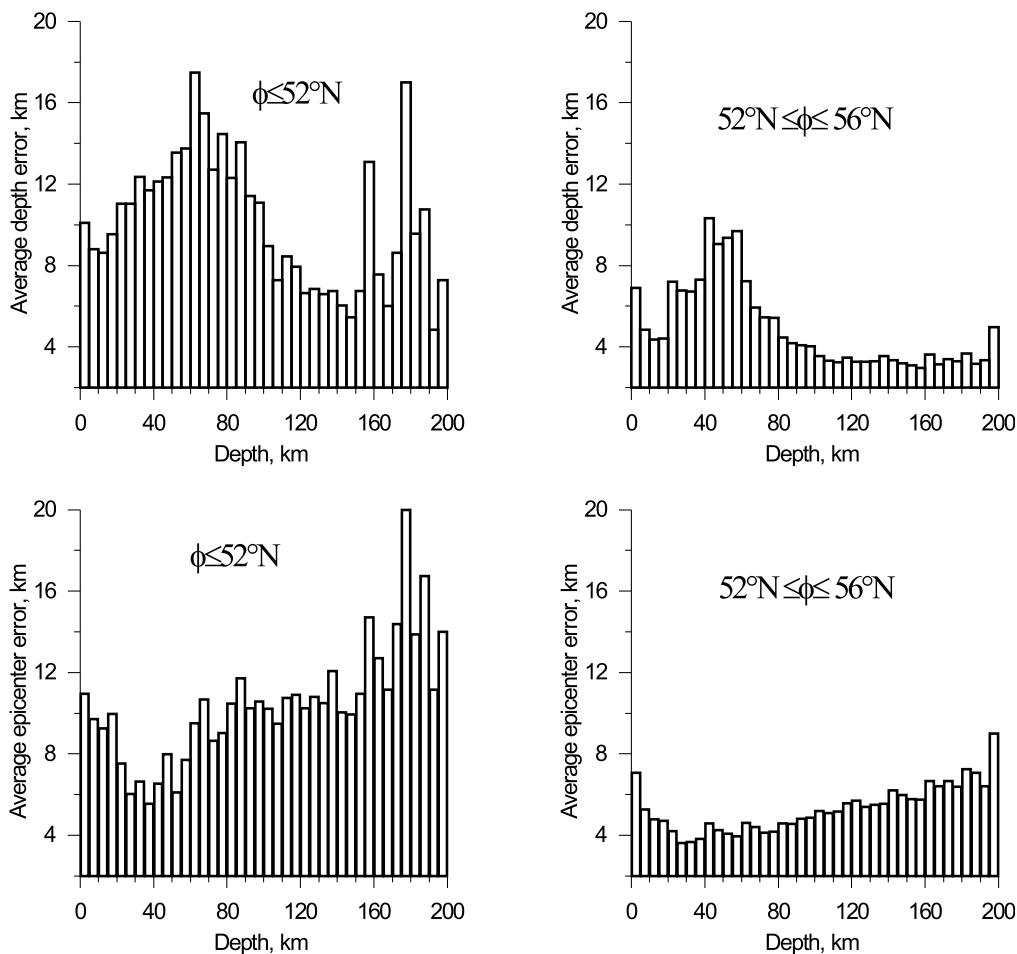


Рис. 14. Средние относительные ошибки каталога камчатских землетрясений по глубине и эпицентру в зависимости от глубины очагов для районов южнее и севернее 52°с.ш.

Fig.14. The average arbitrary error in hypocenter and epicenter calculation depends on depth for the region below and upper of the latitude 52° .

положения близких очагов землетрясений существенно меньше. На рис. 14 показаны средние относительные ошибки каталога камчатских землетрясений по глубине и эпицентру в зависимости от глубины очагов для районов южнее и севернее 52° с.ш. Большие, почти в 2 раза, относительные ошибки определения координат землетрясений происходящих ниже 52° с.ш., чем происходящих в северной части Камчатки объясняются слабостью (число станций в южной части Камчатки недостаточно) сети сейсмических станций в этом районе.

Путями улучшения точности определений координат гипоцентров землетрясений могут служить: исследования по уточнению годографа; применение 3-х мерных моделей среды; оптимизация наблюдательных сетей; организация временных локальных сетей.

Возможности решать на базе созданных сетей сейсмических станций задачи мониторинга сейсмической и вулканической опасности территории полуострова Камчатка и Командорских островов в режимах службы срочных донесений, оперативной и сводной обработки рассмотрены в других статьях настоящего сборника.

Основные проблемы, перспективы развития сейсмологических сетей

Система сейсмологических наблюдений на Камчатке по состоянию на 2004 г. обеспечивает решение задач контроля сейсмичности всей территории Камчатской области и проведение работ по оценке сейсмической и вулканической опасности.

Стационарные и радиотелеметрические станции совместно обеспечивают уверенную регистрацию землетрясений начиная с 9.0 энергетического класса по шкале С. А. Федотова от Северных Курильских островов до поселка Оссора (50° - 59° с.ш., 153° - 165° в.д.). Для Авачинского залива - с 7.5 класса. Для Авачинской группы вулканов - с 4.0 класса. Для Ключевской группы вулканов - с 5.0 - 6.0 класса. Окончательный каталог землетрясений Камчатки базируется на данных стационарных и радиотелеметрических сейсмических станций. Наблюдения на основных стационарных станциях с 60-х гг. до настоящего времени составляют основу однородности камчатского каталога. Одно из основных достоинств наблюдений станциями РТСС обеспечение контроля сейсмичности в режиме близком к реальному времени. Вместе с тем, очевидно, что записи землетрясений получаемые на аналоговом оборудовании стационарных сейсмических станций и РТСС пригодны для решения главным образом кинематических задач. Более детальное и глубокое изучение свойств сейсмических сигналов ограничивается малым динамическим (40 - 50 дБ) и частотным (1 - 20 Гц) диапазонами сейсмометрических каналов этих станций. С введением цифровой регистрации на приемных центрах РТСС существенно повысилась эффективность сети радиотелеметрических станций (рис. 10) и особенно, что имеет большое значение для контроля сейсмической и вулканической опасности, в режиме оперативной обработки, но основные характеристики сейсмометрических каналов при этом не претерпели изменений.

Кроме этого оборудование стационарных сейсмических станций и станций сильных движений морально и физически устарело.

Первоочередными задачами развития сейсмометрических наблюдений на Камчатке являются:

- создание опорной сети стационарных широкополосных цифровых сейсмических станций;
- переоснащение сети станций сильных движений;
- расширение и модернизация сети РТСС.

Создание сети широкополосных цифровых сейсмических станций с расширенными динамическим и частотным диапазонами (“broad-band (BB) instruments”) необходимо для решения следующих фундаментальных и прикладных задач сейсмологии:

- изучение очагов землетрясений в области низких и высоких частот с целью определения их основных параметров: тензоров сейсмического момента, скалярных сейсмических моментов, спектров сейсмического момента (“очаговых спектров”).

- получение неискаженных записей смещения и скорости и решение обратных задач для реконструкции деталей очагового процесса.
- оценка размеров очагов и длительностей процесса вспарывания.
- изучение особенностей очагов разных тектонических и глубинных зон, а также особенностей очагов вулканических и цунамигенных землетрясений.

Без привлечения ВВ приборов решение данных задач нереально. Результаты будут иметь принципиальное значение для решения задач физики землетрясений, геомеханики процессов в островных дугах, механики вулканических и цунамигенных землетрясений. Будет также существенно улучшено понимание процессов формирования разрушительных колебаний грунта в широкой полосе частот, создана наблюдательная база для прогноза будущих колебаний грунта.

Записи ВВ-приборов позволят существенно уточнить современные представления о строении геологической среды на Камчатке. Можно будет впервые изучить формирование поверхностных волн в диапазоне периодов 3-10 с, аккуратно изучить поглощение и рассеяние продольных и поперечных волн в сложно построенных геологических структурах островной дуги. Частотно - зависимый характер названных явлений, по существу остается не изученным в настоящее время. Особый интерес представляет изучение частотно-зависимого поглощения в вулканических областях

Сеть прецизионных ВВ-приборов позволит на новом уровне вести поиск и одобрение сейсмологических предвестников землетрясений на основе временных вариаций свойств очагов (например, спектральных свойств продольных и поперечных волн и их соотношений) и среды (например, вариаций рассеивающих свойств среды).

Создание сети цифровых сейсмических станций предполагается, в первую очередь, на базе имеющихся стационаров.

Создание новых станций не должно предусматривать строительства зданий и сооружений, кроме устройства сейсмокамер. Предполагается, как правило, использовать на правах аренды в различных организациях (с гарантированным электроснабжением) небольшие помещения (5-10 кв.м).

Можно сформулировать основные требования к стационарной цифровой сейсмической станции:

- регистрация сейсмических сигналов в широком диапазоне частот (0.01 – 25 Гц) с динамическим диапазоном 120-140 дБ;
- число каналов – 3, 6, 9 (полный комплект – 3 среднепериодных (0.01-10 Гц) сейсмометра, 3 короткопериодных сейсмометра (0.5-25 Гц), 3 канала для подключения акселерометров или велосиметров для регистрации сильных движений);
- калибровка сейсмометрических каналов в автоматическом режиме, контроль работоспособности;
- точность синхронизации отсчетов АЦП не хуже 0,005 с;
- разделение потока данных на три – полная непрерывная запись, волновые формы событий в соответствии с работой программного анализатора сигналов, фрагменты сигналов заданные по времени;
- сигнализация о землетрясениях с заданного уровня (звуковая, световая);
- накопление данных в буфере регистратора глубиной не менее 24 часов для полного потока (9 каналов, АЦП – 24 бит, F_{ацп} = 100 Гц, т.е. объем буфера не менее 256 Мб), возможность подключения к регистратору накопителей HDD или других, обеспечивающих непрерывную регистрацию данных в течении заданного времени (10-100 суток);
- набор внешних портов регистратора должен включать в себя RS 232, RS 422/485, Ethernet (для обеспечения работы в сети и обеспечения возможности быстрой перекачки данных на компьютер сбора, при автономной работе на HDD);
- удаленный доступ к регистратору для контроля его работоспособности и управления режимами работы, удаленный доступ к данным буферного накопителя (например по времени) по запросу из центра сбора информации;

- обработка на станции сигналов землетрясений, формирование бюллетеня станции с оценками параметров землетрясений, передача данных оперативной обработки по каналам связи;
- режим работы – непрерывный, круглосуточный;
- условия эксплуатации - температура -5 - +35 °C, влажность до 95% без конденсата;
- питание – 220 В, 50 Гц с резервированием от источника бесперебойного питания не менее 12 час.

Примерами оборудования, удовлетворяющего перечисленным выше требованиям, являются сейсмические станции REFTEC, GeoSIG и другие.

В 2003 г. в КОМСП начаты активные работы по созданию комплекта оборудования стационарной цифровой сейсмической станции на базе серийно выпускаемых устройств. В 2003 году в рамках работ по созданию опорной сети широкополосных цифровых сейсмических станций был создан макет цифрового регистратора, который успешно прошел испытания на сейсмической станции «Петропавловск». В 2004 г. планируется переоснастить новым оборудованием три стационарных станции.

Важная проблема, которая должна быть учтена при создании сети широкополосных цифровых сейсмических станций, это модернизация системы предупреждения о цунами. Возникающие в окрестностях Камчатки сильные землетрясения нередко порождают катастрофические морские волны - цунами. Наиболее тяжелая и известная катастрофа – уничтожение основной части п. Северо-Курильск и гибель 5000 его жителей в 1952 г.

В 50-х годах прошлого столетия, после цунами 1952 г, постановлением Правительства СССР была создана Система предупреждения о цунами (СПЦ) на Дальнем Востоке. В Камчатской области предупреждение о цунами осуществляют станция цунами Камчатского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и сейсмическая станция «Петропавловск».

СПЦ Дальнего Востока входит в международную систему предупреждения о цунами в Тихом океане, куда входят 25 государств, прибрежные районы которых страдают от воздействия цунами. Тихоокеанский центр предупреждения о цунами (ТЦНЦ) расположен на Гавайских островах США в г. Гонолулу.

Когда на акватории Тихого океана происходит сильное землетрясение, Тихоокеанский центр сообщает всем членам СПЦ время, координаты и силу землетрясения. Первые сведения о цунами поступают от станций наблюдения за уровнем моря, расположенных в непосредственной близости от эпицентра землетрясения. Станция цунами после анализа этой информации и при реальной угрозе цунами, объявляет тревогу.

При возникновении сильного близкого землетрясения у берегов Камчатки и возможной угрозе цунами тревогу объявляет сейсмическая станция «Петропавловск».

Специальное оборудование станции «Петропавловск» представляет собой морально и физически устаревшие механические сейсмографы с регистрацией на закопченные барабаны разработки 50-х годов. Число сейсмических станций несущих службу цунами только на Камчатке должно быть увеличено до 4-х. Дополнительно такие станции необходимо открыть в п. Усть-Камчатск, п. Никольское (о. Беринга), п. Тиличики. Это диктуется высокой цунами опасностью этих населенных пунктов и невозможностью своевременно довести сигнал тревоги цунами от близких сильных землетрясений до населения этих пунктов от удаленных сейсмических станций. Так в соответствие с регламентом цунами службы станция «Петропавловск» должна передать сигнал тревоги цунами от близкого землетрясения не позже, чем через 10 минут. Если это цунамигенное землетрясение произошло в Камчатском заливе, то за это время волна цунами уже накроет и п. Усть-Камчатск и п. Никольское.

В настоящее время в ГС РАН ведется проработка комплекта оборудования для цифровых станций, на которые может быть возложена задача предупреждения о цунами. Предполагается, что такие станции должны быть оснащены: высоконадежными сейсмометрическими каналами, регистрирующими без искажений сейсмичес-

кие сигналы от близких землетрясений, которые могут вызвать сотрясения с интенсивностью до 7 – 8 баллов по шкале MSK-64; средствами спутниковой связи для передачи данных и результатов их обработки; автоматизированным вычислительным комплексом для выработки решения.

Сейсмические станции, на которые может быть возложена задача предупреждения о цунами, должны быть соединены в специализированную сеть. Модернизация сейсмологической части СПЦ требует проведения предварительных исследовательских и методических работ.

Переоснащение сети ССД. Записи сильных землетрясений, получаемые станциями сильных движений, лежат в основе исследований свойств очага землетрясения (источника колебаний), характера затухания амплитуд с расстоянием, влияния грунтово-геологических условий площадки строительства, соотношения колебаний грунта с фактическими повреждениями зданий.

Однако уровень изученности параметров колебаний грунта (амплитуд, спектров, длительности) при сильных землетрясениях на Камчатке (и вообще в России) недопустимо низок. Записей сильных землетрясений, имевших место на территории собственно России, почти нет, а накопление таких записей почти не происходит. В результате российские инженеры ведут расчет сооружений (и на Камчатке, и по России в целом) почти исключительно на основе данных о движениях грунта, полученных при землетрясениях в Калифорнии, в Японии и на других зарубежных территориях. И это при том, что колебания грунта в разных регионах имеют свою специфику, которую необходимо учитывать в расчетах. Надежность расчетов сооружений, которые строятся на российской земле (и в акватории) можно обеспечить, только проводя непрерывную регистрацию сильных колебаний грунта («сильных движений») при землетрясениях России.

В силу вышеизложенного, на Камчатке, в первую очередь в г. Петропавловске-Камчатском, необходимо создание цифровой сети регистрации сильных движений при землетрясениях. Это позволит получать данные о фактических колебаниях грунта, на основании которых может быть создана надежная основа для грамотного проектирования сейсмостойких зданий и сооружений.

В 2004 г. положено начало переоснащению сети станций ССД. Сеть ССД пополнится пятью 24-х разрядными цифровыми акселерографами.

Расширение и модернизация сети РТСС. Основное преимущество сети радиотелеметрических станций это возможность организации контроля сейсмичности территории и состояния активных вулканов в режиме времени близком к реальному. В настоящее время сетью РТСС уверенно контролируется сейсмическая активность всей территории Камчатки с 9.0 энергетического класса, состояние Ключевской и Авачинской групп вулканов по сейсмическим данным с 4.0 – 5.0 класса. Для повышения надежности контроля вулканов Шивелуч, Безымянный, Корякский и для организации контроля состояния других вулканов (Кизимен, Горелый, Мутновский, Ксудач и др.) необходима установка дополнительных станций. Оборудование РТСС разработано в 70-х - 80-х гг. прошлого столетия. Развитие микроэлектроники и средств телекоммуникаций позволяет ставить задачу перевода некоторых станций сети РТСС на цифровые технологии. Это в первую очередь станции РТСС мыс Шипунский, Козыревск, Авача и др.

Заключение

Камчатка является одним из самых привлекательных для научных, в том числе сейсмологических, исследований районом Земли. Здесь самая высокая сейсмическая активность на территории России. Основные объекты исследований это зона стыка Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг, зона Беньоффа-Заварицкого и многочисленные действующие вулканы.

При организации сейсмологических наблюдений на Камчатке необходимо иметь возможность регистрировать сильнейшие тектонические землетрясения с магнитудой более 8.0 и слабые землетрясения, начиная с магнитуд 1.0 и менее, на активных вулканах. Приведенные выше объекты исследований требуют применения разномасштабных сетей станций с различной разрешающей способностью. Для исследований сейсмичности на Камчатке система сейсмологических наблюдений включает в себя: сеть стационарных сейсмических станций; сеть радиотелеметрических сейсмических станций; сеть станций сильных движений; временные локальные сети станций для наблюдений в эпицентральных зонах сильных землетрясений и на активных вулканах.

Несмотря на трудности с финансовым обеспечением научных исследований в 90-х гг. прошлого столетия, система сейсмологических наблюдений на Камчатке сохранила свою работоспособность. Недостаток финансирования не позволял вести работы по развитию сетей широким фронтом. Основное внимание в последние 10-15 лет было сконцентрировано на создании автоматизированной системы сбора, обработки и хранения сейсмологических данных. Тем не менее, благодаря договорам на НИР, поддержке работ через разнообразные фонды и гранты, включая иностранные, открывались новые сейсмические станции (таблица 1).

Выводы

1. Создана сеть сейсмических станций с современной информационно-коммуникационной системой. Число действующих сейсмических станций, которые обеспечивают контроль сейсмичности территории Камчатки, в 2004 г. составляет 37. Данные радиотелеметрических сетей сейсмических станций доступны операторам в реальном масштабе времени. Это позволило в соответствие с требованиями обеспечения безопасности населения организовать: оперативный контроль сейсмичности всей территории Камчатской области с целью оценки сейсмической опасности; оперативный контроль сейсмической активности действующих вулканов; оценку развития афтершоковых последовательностей сильных землетрясений в реальном масштабе времени.

Сети стационарных и радиотелеметрических станций совместно обеспечивают уверенную регистрацию землетрясений начиная с 9.0 энергетического класса по шкале С.А.Федотова от Северных Курильских островов до поселка Оссора (50° - 59° с.ш., 153° - 165° в.д.). Для Авачинского залива - с 7.5 класса, для Авачинской группы вулканов - с 4.0 класса, для Ключевской группы вулканов - с 5.0 - 6.0 класса.

2. Данные детальных сейсмологических наблюдений, получаемые в КОМСП ГС РАН, лежат в основе всех работ по оценке сейсмической и вулканической опасности, при поиске и исследованиях предвестников сильных землетрясений и извержений вулканов. Записи сильных землетрясений приборами сильных движений, полученные за предыдущие годы, лежат в основе работ по исследованиям свойств очага землетрясения (источника колебаний), характера затухания амплитуд с расстоянием, влияния грунтово-геологических условий площадки строительства, соотношения колебаний грунта с фактическими повреждениями зданий

3. Основной проблемой наблюдательных сейсмологических сетей на Камчатке является морально и физически устаревшее оборудование стационарных сейсмических станций и станций сильных движений. Последние годы на базе сети стационаров начаты работы по созданию сети широкополосных цифровых сейсмических станций с расширенными динамическим и частотным диапазонами. В 2004 г., на 1 июля, число цифровых станций в сети составляет 4. Первые шаги по модернизации сети станций сильных движений сделаны в 2004 г., уже получены пять 24-х разрядных цифровых акселерографа.

4. В последнее десятилетие большое значение для развития сейсмологических наблюдений на Камчатке имело развитие международного сотрудничества. В рамках проекта «КРАЙ КАМЧАТСКОЙ ЛИТОСФЕРНОЙ ПЛИТЫ» между Министерством

по науке и технологиям Российской Федерации и Национальным научным фондом США, при финансовой поддержке американской стороны, в 1998-1999 гг. была организована система наблюдений землетрясений на полуострове Камчатка с помощью 15 широкополосных цифровых сейсмических станций «Паскаль». Цель проекта - исследование сейсмичности зоны стыка Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг.

Совместно с Университетами Японии были проведены работы на Карымском вулкане, открыта цифровая широкополосная сейсмическая станция в п. Каменское, открыта комплексная обсерватория “Карымшина”, создана постоянная сеть GPS наблюдений.

На основе данных радиотелеметрических сетей совместно с Аляскинской вулканологической обсерваторией (США) и ИВГиГ ДВО РАН (с 2004 г. ИвиС), при финансовой поддержке США, ведутся работы по обеспечению безопасности авиаполетов.

Успешная работа системы сейсмологических наблюдений на Камчатке была бы не возможна без большого и самоотверженного труда всех инженеров, техников, операторов сейсмических станций, программистов, научных сотрудников, которые участвовали в разработке оборудования, в организации сетей станций и их эксплуатации. Глубокая им благодарность и признательность.

Список литературы

1. Атлас землетрясений в СССР, под ред. Е.Ф. Саваренского и др. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 336 с.
2. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР, М., Наука, 1974, с. 245
3. Аранович З. И., Ахалбедашвили А. М., Гоцадзе О. Д. Деканосидзе Ц. А. Методика расчета эффективности сети региональных сейсмических станций на примере Кавказа, Сб. Вопросы оптимизации и автоматизации сейсмических наблюдений, Тбилиси, 1977.
4. Гордеев, Е.И., В.Д. Феофилактов. О стандартизации характеристик региональной сейсмической сети станций и повышении точности наблюдений, Сб. Сейсмичность и глубинное строение Сибири и Дальнего Востока, Владивосток, 1976.
5. Гордеев, Е.И., В.Д. Феофилактов. О стандартизации низкочастотной части частотной характеристики регионального сейсмографа, Сб. Вопросы оптимизации и автоматизации сейсмических наблюдений, Тбилиси, 1977.
6. Гордеев, Е.И., В.Д. Феофилактов, В.Н. Чебров. Исследование вулканического дрожания Толбачинского извержения, Сб. Геологические и геофизические данные о БТТИ в 1975-1976 гг., Наука, Москва, 1978.
7. Гордеев, Е.И., В.Д. Феофилактов. Сейсмические помехи и оптимальное увеличение в Камчатской сети, Сб. Сейсмические приборы, Наука, Москва, вып. 11, 1979.
8. Гордеев, Е.И., В.Н. Чебров. Применение штормовых микросейсм для изучения строения верхних слоев коры, Вулк. Сейсмол., №2, 1979.
9. Гордеев, Е.И. Вулканическое дрожание вул. Алаид (извержение 1981 г.), Вулк. Сейсмол., № 1, 1984.
10. Гордеев, Е.И., П.И. Токарев, А.И. Фарберов. Вулканическое дрожание, В кн. Большое Трещинное Толбачинское Извержение (Камчатка 1975-1976 гг), М., Наука, 1984.
11. Гордеев, Е. И., В.А. Салтыков, В.И. Синицын, В.Н. Чебров. Временные и пространственные характеристики волновых полей вулканического дрожания, Вулк. Сейсмол., № 4, 1989.

12. Гордеев, Е.И., Ю.Ю. Мельников, Е.В. Попов, В.И. Синицын, В.Н. Чебров, С.А. Шевченко. Аппаратурно-методический комплекс для временных локальных сейсмометрических сетей, Сб. Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР, М., Наука, 5-15, 1989.
13. Гордеев, Е.И., Ю.А. Кугаенко, В.Н. Чебров. Сейсмичность Кроноцкого полуострова, Вулк. Сейсмол., № 3, 68-78, 1991.
14. Гордеев, Е.И., В.Н. Чебров, А.В. Викулин, В.И. Левина, В.И. Синицын, В.В. Ящук. Система сейсмологических наблюдений на Камчатке (состояние, развитие, перспективы), Сб. Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г.: Предвестники, особенности, последствия, Петропавловск-Камчатский, 12-24, 1998.
15. Гордеев, Е.И., Д.В. Дроздин, М. Касахара, В.И. Левина, В.Л. Леонов, Х. Мицумачи, М. Окаяма, В.А. Салтыков, В.И. Синицын, В.Н. Чебров. Сейсмические явления, связанные с извержениями вулканов в Карымском вулканическом центре в 1996 г., Вулк. Сейсмол., № 2, 28-48, 1998.
16. Гаврилов В. А., Малкин А. П., Чебров В. Н., Сорокин В. В. Радиотелеметрическая система сбора сейсмической информации на Авачинско-Корякском полигоне // Бюл. вулканол. станций. 1978, № 54, с. 22-26.
17. Гаврилов В. А., Воропаев В. Ф., Головщикова И. А., Лянник Ю. А., Пудов А. Л., Торосян Г. О. Комплекс радиотелеметрической аппаратуры ТЕСИ-2 // Сейсмические приборы, М., 1987, Вып. 19, с. 5-16.
18. Гусев А. А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. 1979, № 1, с. 74-81.
19. Гусев А. А., Шумилина Л. С. Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // Физика Земли, 2004. № 3. С.34-42.
20. Дергачев А. А. и др. Аппаратура для регистрации сейсмологической информации, Сб. Геофизическая аппаратура, 1974 г., Л., Недра, вып. 54, с. 129-132.
21. Зобин, В.М., Е.И. Гордеев, Н.П. Козырева, В.П. Митякин, В.Н. Чиркова. Камчатское землетрясение 17 августа 1983 года, Сб. Землетрясения в СССР в 1983 г., М., Наука, 1986.
22. Зобин В.М., Федотов С.А., Гордеев Е.И., Гусева Е.М., Митякин В.П. Сильные землетрясения на Камчатке и Командорских островах в 1962-1986 гг. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 1, с. 3-23.
23. Кузин И. П. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки // М., Наука, 1974, 145 с.
24. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.. М.: Наука. 1977. 536 с.
25. Соколов Н. Е. Начало работы на сейсмической станции в с. Ключи на Камчатке // Бюл. вулканол. станций. 1949, № 16, с. 20-21.
26. Сенюков С. Л. Скоростные модели вулкана Карымский по данным локальных землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2003, № 1, с. 1-9.
27. Токарев П. И. Сейсмические наблюдения на Камчатской вулканологической станции в 1958 г.// Бюл. вулканол. станций. 1962, № 33, с. 20-43.
28. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука. 1972, 116 с.
29. Федотов С. А., Шумилина Л. С. Развитие сейсмологических наблюдений на Камчатке // Проблемы современной сейсмологии: Голицынские чтения, 1981 г. М.: Наука, 1985, с 71-86.
30. Федотов, С.А., В.Д. Феофилактов, Е.И. Гордеев, В.А. Гаврилов, В.Н. Чебров. Развитие сейсмометрических наблюдений на Камчатке, Вулк. Сейсмол., № 6, 1987.
31. Федотов С.А. Вулканология и сейсмология на веков и тысячелетий. В кн. Исследования по вулканологии и сейсмологии, их развитие и значение на Камчатке. История отечественной науки. Петропавловск-Камчатский, 2003, с. 179-181.

32. Феофилактов В. Д. Регистрация землетрясений донными станциями. Некоторые вопросы методики // Сейсмологические исследования Мирового океана. М.: Изд-во Междувед. геофизич. Комитета при Президиуме АН СССР, 1983, с. 57-64.
33. Чебров В. Н., Синицын В. И., Попов Е. В., Мельников Ю.Ю., Сергеев В. В., Федоров Е. С. Аппаратура для временных локальных сетей сейсмометрических станций // Вулканология и сейсмология. 1987, № 1, с. 91-97.
34. Чебров В. Н., Попов В. И., Воропаева Н. П., Попов Е. В., Синицын В. И., Салтыков В. А. Автоматизированная система первичной обработки сейсмических сигналов с аналоговых магнитных лент // Сейсмические приборы. 1991, вып. 22, с. 15-22
35. Шевченко Ю. В. Метрологическое обеспечение сейсмотелеметрических сетей станций на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1995, № 1, с. 90-105.
36. Lees, J.M., M. Brandon, J. Park, V. Levin, A. Ozerov, and E. Gordeev, Kamchatka: Edge of the Plate, IRIS Newsletter, V 2000, N 1, 17-19, 2000.
37. Uyeda, S., T. Nagao, K. Hattori, M. Hayakawa, K. Miyaki, O. Molchanov, V. Gladyshev, L. Baransky, A. Schekotov, E. Fedorov, O. Pokhotelov, S. Andreevsky, A. Rozhnoi, V. Khabazin, A. Gorbatikov, E. Gordeev, V. Chebrov, V. Sinitsyn, A. Lutikov, S. Yunga, G. Kosarev, V. Surkov, and G. Belyaev. Geophysical Observatory in Kamchatka region for monitoring of phenomena connected with seismic activity, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol.1, N 1/2, pp. 3-7, 2001.