

СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ КОРЯКСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА, ОПЕРАТИВНАЯ ОБРАБОТКА ОЛЮТОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 20 (21) АПРЕЛЯ 2006 г. $M_w=7.6$ И ЕГО АФТЕРШОКОВ

Чебров В.Н., Сениюков С.Л.

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский,
chebr@emsd.iks.ru*

Аннотация

Приведены сведения о детальных сейсмологических наблюдениях на территории Корякского автономного округа (КАО) до 2006 г. Рассмотрены вопросы: организации и проведения эпицентральных наблюдений в очаговой области Олюторского землетрясения; развития детальных сейсмологических наблюдений на территории КАО; оперативной обработки серии афтершоков Олюторского землетрясения.

Введение

Сети детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке по состоянию на апрель 2006 г. (40 радиотелеметрических и стационарных сейсмических станций, 16 станций сильных движений) в основном сосредоточены в южной части полуострова [2]. Они ориентированы на мониторинг района от Северных Курильских островов до зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Именно здесь, в соответствии с ОСР-97, наиболее велика опасность сильнейших землетрясений и возможны наибольшие человеческие и экономические потери. Территория КАО не характеризовалась высоким уровнем фоновой сейсмической активности. Олюторское землетрясение 20 апреля 2006 г. с магнитудой $M_w=7.6$ превзошло по силе все наблюдавшиеся здесь ранее инструментально сейсмические события и произошло практически в той же точке, где 8 марта 1991 г. произошло сильное Хаилинское землетрясение с $M_w=6.6$. Землетрясение 8 марта 1991 г. вызвало в населенных пунктах КАО сотрясения интенсивностью 7-8 баллов. В 1992 – 1996 гг. Камчатской опытно-методической сейсмологической партией (КОМСП ГС РАН, с 2005 г. Камчатский филиал ГС РАН) на территории КАО были проведены комплексные геолого-геофизические исследования, включая и сейсмологические наблюдения, по результатам которых были получены уточненные оценки сейсмической опасности (ответственный исполнитель работ А.В. Викулин) [1]. Результаты этих работ вошли составной частью в карту общего сейсмического районирования ОСР-97А (СНиП II-7-81*, редакция 2000г.), согласно которой поселки КАО Тилички, Корф, Хаилино отнесены к пунктам с возможными сотрясениями на средних грунтах до 8 баллов по шкале MSK-64.

Сейсмологические наблюдения на территории КАО до 2006 г.

В таблице 1 показаны все пункты, на которых проводились сейсмологические наблюдения на территории КАО, главным образом в рамках выполнения работ по уточнению оценки сейсмической опасности. Первая сейсмическая станция с гальванометрической регистрацией на территории КАО была открыта в 1973 г. в п. Оссора. Ее открытие было вызвано Озерновским землетрясением 1969 г., которое произошло севернее зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. В ходе выполнения работ по уточнению карты общего сейсмического районирования территории КАО наблюдения выполнялись путем развертывания станций регионального типа с видимой записью на фотобумагу или самописцы барабанного типа («Палана», «Тилички», «Пахачи») и путем применения более мобильных и не требующих постоянного обслуживания автономных сейсмических станций (АСС) с регистрацией сейсмических сигналов на магнитную ленту. В основной массе наблюдения сейсмичности на территории КАО в 1992-1996 гг. были выполнены с помощью АСС. В ходе выполнения работ по соглашению с Институтом исследования землетрясений (Токио) в рамках Проекта «Poseidon» была создана сейсмическая станция «Каменское», оснащенная цифровыми сейсмометрическими каналами с широкополосными датчиками STS-1 и 24-х разрядным регистратором данных на магнитооптические диски. Обработка записей станции «Каменское» проводилась и проводится до настоящего времени в отложенном режиме после получения материалов почтой или с оказией в г. Петропавловск-Камчатский

Таблица 1 Пункты сейсмологических наблюдений на территории КАО в 1973 – 2006 гг.

Код	Название	Тип оборудов-я	Координаты, градусы		Высота, км	Сейсмо- метр	Увеличение/чув- ствительность	Время работы	Примечание
			широта	долгота					
КАМ	Каменское	"Посейдон"	62.456	166.210	0.064	STS-1	/9*10 ⁸ отсч/м/с,	октябрь 1994 – по настоящее время с перерывами	с. 110, 120, 122 отчет 1994*
OSS	Оссора	регионал.				СМ-3	5000	1973	с. 73 отчет 1992
			59.250	163.060	0.005	СМ-3	10000	1985 только z канал	
							7300	30.10.1992	с. 13-14 отчет 1993
							10000	28.03.1994 – август 2006	с. 98 отчет 1994
ACC3	Оссора	ACC	59.250	163.060	0.005	СМ-3	/ (15-22)*10 ⁶ отсч/ м/с	21.08 - 10.10.1994	с. 114, 120,122 отчет 1994, с. 55 отчет 1995
PCH	Пахачи	регионал.	60.558	169.125	0.001- 0.002	СМ-3	7400	16.12.1992	с. 13 отчет 1993, с. 119 отчет 1994
							5000	июль 1994 – в конце августа 1994 вышла из строя линия электропередач	с. 95,100,119 отчет 1994
PAL	Палана	регионал.	59.093	159.963	0.080	СМ-3	10000	22 мая 1994	с. 104 отчет 1994
	Палана	ACC	59.093	159.963	0.080	СМ-3		август 1995 - 1996	с. 51,55 отчет 1995
TIG	Тигиль	ACC(2)	57.750	158.660		СМ-3	/ (15-22)*10 ⁶ отсч/ м/с	22.08 - 28.11.1994	с. 114,120,122 отчет 1994
								работала с перерывами до конца 1995г.	с. 51 отчет 1995
TIL	Тиличики	ACC				СМ-3		11.03-13.03.1991; 20.03-31.03.1991	с. 35 отчет 1992
TIL	Тиличики	регионал.	60.432	166.057	0.040	СМ-3	10000	02.12.1993 -зима 1994	с. 13 отчет 1993, с. 99,119 отчет 1994
			60.432	166.076			5000	08.11.1994 - 1995	с. 99, 102, 119,122 отчет 1994, с. 51 отчет 1995
ACC3	Тиличики	ACC	60.434	166.082	<0.020	СМ-3	/ (15-22)*10 ⁶ отсч/ м/с	19.07-15.10.1993	с. 70 отчет 1993, с. 55 отчет 1995
ACC4	Хаилино	ACC	60.954	166.842	0.030	СМ-3	/ (15-22)*10 ⁶ отсч/ м/с	19.07 - 15.10.1993	с. 70 отчет 1993, с. 55 отчет 1995
NAI	Хаилино	ACC	60.950	166.840		СМ-3	(15-2)*10 ⁶ отсч/ м/с	25.08 - 21.11.1994 и далее с перерывами до 1996 г.	с. 114,120,122 отчет 1994, с. 55 отчет 1995
ACC1	Лавровая	ACC	60.405	167.125	<0.020	СМ-3		18.07-01.09.1993	с. 70 отчет 1993, с. 55 отчет 1995
ACC2	Аметистовая	ACC	61.312	164.913	0.400	СМ-3	/ (15-22)*10 ⁶ отсч/ м/с	19.07-02.10.1993	с. 70 отчет 1993, с. 55 отчет 1995
ACC9	Карагинский	ACC	58.156	163.800	0.050	СМ-3	/ (15-22)*10 ⁶ отсч/ м/с	18.07-01.09.1993	с. 70 отчет 1993, с. 55 отчет 1995

* - Отчет КОМСП ГС РАН «Уточнение карты общего сейсмического районирования территории Корякского автономного округа», 1992-1995 гг.

с задержкой более 30 дней. После окончания работ в 1996 г. на территории КАО остались функционировать только две станции: «Оссора» и «Каменское». Контроль сейсмичности территории КАО в оперативном режиме проводился с низкой точностью оценок координат по данным сети радиотелеметрических сейсмических станций, расположенных в южной части полуострова Камчатка [2] (от вулкана Шивелуч – п. Крутоберегово до острова Атласова на Северных Курилах) с $M_{\min} = (3.5 - 4.0)$, рисунок 1.

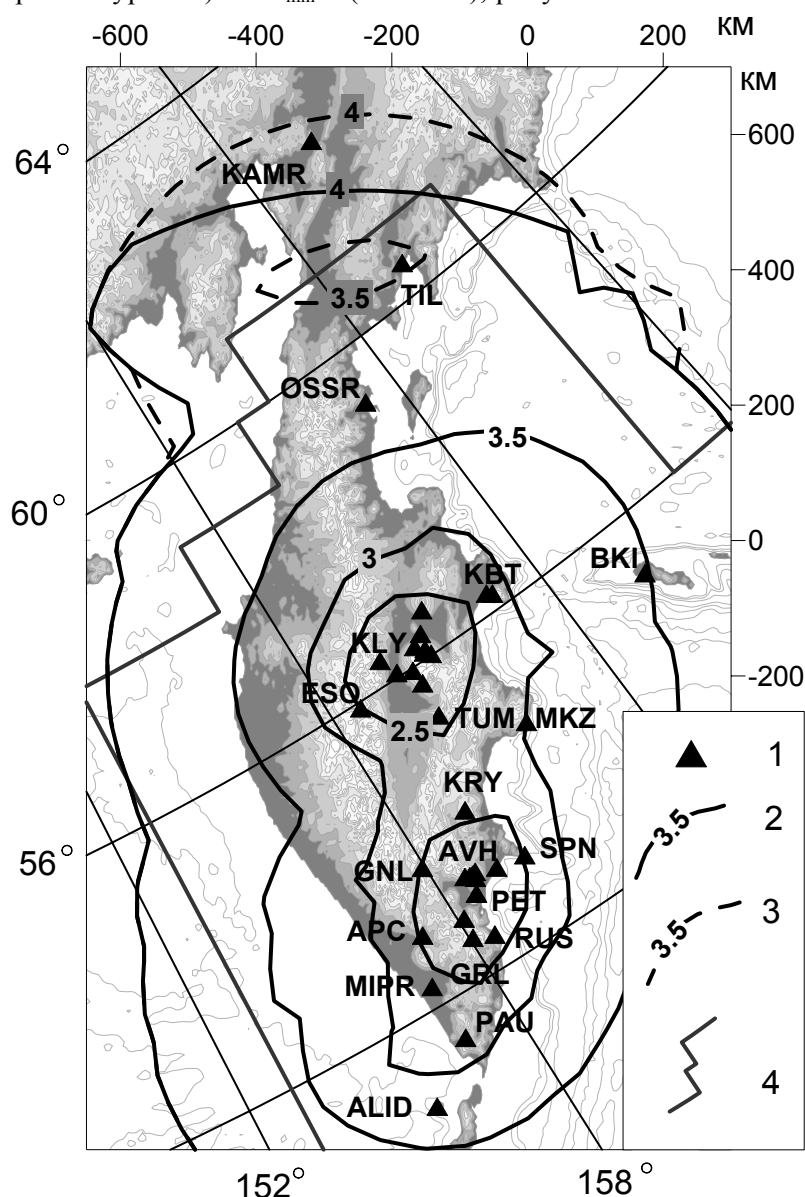


Рис.1 Сеть сейсмических станций КФ ГС РАН и карта энергетической представительности землетрясений $M_{\min}$ по состоянию на 1 сентября 2006 г.

1 – сейсмические станции; 2 – изолинии $M_{\min}$ ($Ml=0.5 \cdot K_{S1.2}^{\Phi 68} - 0.75$) без станции «Тилички»; 3 – изолинии $M_{\min}$ ($Ml=0.5 \cdot K_{S1.2}^{\Phi 68} - 0.75$) со станцией «Тилички»; 4 - граница региона.

Сейсмологические наблюдения в эпицентральной зоне Олюторского землетрясения, перспективы развития сети сейсмических станций на территории КАО.

Происшедшее в Корякском нагорье 20 (21) апреля 2006 г. сильное землетрясение вызвало необходимость развертывания на территории КАО дополнительных сейсмических станций. В условиях отсутствия резерва оборудования для организации эпицентральных наблюдений в КФ ГС РАН было принято решение использовать имеющиеся в Институте вулканологии и сейсмологии (ИВиС) автономные цифровые сейсмические станции «Mars» (производства Германии) с магнитооптическим регистратором и сейсмометром LE-3D ($T_c = 1.0$ с). Основные технические характеристики: частотный диапазон (1-40) Гц; частота оцифровки 100 Гц; разрядность аналого-цифрового преобразования 24 бит; чувствительность

сейсмометрических каналов $10^8 - 10^9$ отсчет/м/с. Три комплекта оборудования были оперативно подготовлены под руководством В.А. Гаврилова.

Эпицентральная группа, сформированная из сотрудников КФ ГС РАН (сейсмологические наблюдения - Токарев Е.П., Козлов В.Н., Шевченко Т.В.); GPS наблюдения - Пилипенко В.В., Сероветников С.С.) и ИВиС (сейсмологические наблюдения – Липатьев М.С., Тембрел И.И.), вылетела в Тиличики 1-2 мая. В таблице 2 приведены сведения о пунктах установки сейсмических станций «Mars» и периоды их работы.

Таблица 2. Пункты установки временных станции и периоды их работы

Станция	Код	Широта	Долгота	Время работы	
				начало	конец
Тиличики	ST01	60.43017	166.0563	02.05.2006	08.05.2006
				10.05.2006	25.08.2006
Хаилино	ST02	60.95940	166.8543	02.05.2006	18.05.2006
Ледяная	ST03	60.98338	166.22495	03.05.2006	17.05.2006

На станции Тиличики (ST01) был также установлен комплект оборудования для регистрации сильных землетрясений в составе акселерометра CMG-5T и регистратора GSR-24. Основные технические характеристики: частотный диапазон (0-40) Гц; частота оцифровки 100 Гц; разрядность аналого-цифрового преобразования 24 бит; чувствительность каналов $2.5 \cdot 10^5$ отсчет/(м/с²); максимальный регистрируемый сигнал 2g. На рисунке 2-левый показано расположение временных станций в районе эпицентральной зоны землетрясения.

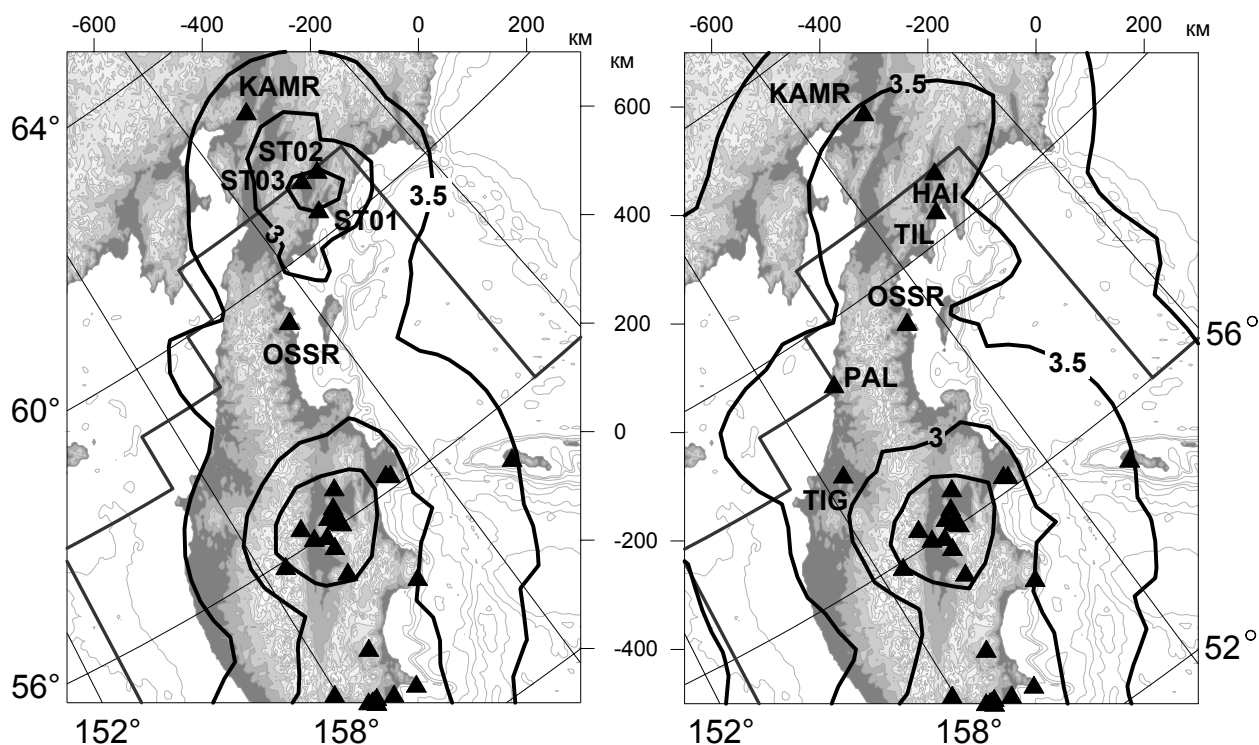


Рис. 2 Сети сейсмических станций с контурами надежной регистрации землетрясений Ml_{min} . Слева - временные станции «Mars» (ST01, ST02, ST03) в эпицентральной зоне землетрясения; справа – новые сейсмические станции на территории КАО Тигиль (TIG), Палана (PAL), Тиличики (TIL), Хаилино (HAI).

Установка трех временных станций улучшила уровень надежной регистрации афтершоков из эпицентральной зоны землетрясения до $Ml_{min} = (2.0-2.5)$. За 12-16 дней работы временной локальной сети автономными станциями были зарегистрированы тысячи и тысячи землетрясений из очаговой области. Это позволило существенно повысить точность определений координат

землетрясений на территории КАО камчатской сетью сейсмических станций и дало возможность надежно оконтурить очаг сильного землетрясения по его афтершокам [3].

В мае 2006 г. Камчатским филиалом Геофизической службой РАН для повышения качества оценок параметров землетрясений из очаговой области Олюторского землетрясения при окончательной обработке было принято решение об открытии в п. Тилички постоянной сейсмической станции. Комплект оборудования, установленный здесь 2 мая, продолжал свою работу до августа 2006 г. На рисунке 1 показаны изменения контуров надежной регистрации землетрясений на территории КАО при использовании данных станции «Тилички».

25 августа в п. Тилички был установлен комплект оборудования стационарной цифровой сейсмической станции (СЦСС, разработка КФ ГС РАН) [6]. Сейсмометрические каналы станции организованы на короткопериодных сейсмометрах СМ-3 ($T_s=1,2$ с) и акселерометрах Guralp CMG-5T. В состав станции входит стандартный набор аппаратуры: блок АЦП, интерфейсный блок, регистратор данных на микро-РС, GPS, блоки бесперебойного питания, компьютер обработки.

19 августа 2006 г. была модернизирована станция "Оссора", взамен гальванометрической регистрации с записью на фотобумагу, была установлена и запущена в работу цифровая сейсмическая станция (СЦСС) с сейсмометрами СМ-3 ($T_s=1,2$ с). Таким образом, в августе 2006 г. на территории КАО функционировало три постоянных стационарных цифровых станции. К сожалению, данные этих станций до настоящего времени в реальном времени не доступны и в оперативной обработке не используются. Проведенные в 2006 г. работы по развитию сети стационарных сейсмологических наблюдений на территории КАО были направлены на повышение качества и достоверности результатов окончательной обработки афтершокового роя Олюторского землетрясения.

Для обеспечения надежной регистрации землетрясений и современных деформаций земной коры на территории КАО, сопоставимой по уровню с южной частью полуострова Камчатка, необходимо открыть не менее трех (3) новых сейсмических станций с организацией GPS наблюдений. Предполагается установить новые станции в поселках Палана, Тигиль, Хаилино (или Апука, или Пахачи), рисунок 2 -правый. Для работы в оперативном режиме необходимо на всех станциях организовать каналы связи. Новая сеть сейсмологических наблюдений позволит контролировать землетрясения всего Камчатского края с уровня не хуже $M_{\min} = 3.0 - 3.5$.

Оперативная обработка Олюторского землетрясения и его афтершоков.

Система обработки землетрясений в КФ ГС РАН в зависимости от времени задержки выходных данных, имеет 3 уровня: служба срочных донесений с задержкой до 30 минут (оценки в автоматическом режиме с задержкой до 5 минут); оперативная обработка с задержкой до 24 часов; окончательная (сводная) обработка с задержкой до одного года [2].

Служба срочных донесений (ССД) обеспечивается сейсмической станцией «Петропавловск» и лабораторией исследований сейсмической и вулканической активности (ЛИСВА) для всех Камчатских землетрясений с $M > 4.5$, для района Авачинского залива с $M > 4.0$.

Станция «Петропавловск» входит также в систему предупреждения о цунами (СПЦ) на Дальнем Востоке и при возникновении сильного близкого землетрясения у берегов Камчатки и возможной угрозе цунами она объявляет тревогу.

В режиме оперативной обработки основная работа выполняется в ЛИСВА. Оперативный каталог содержит координаты землетрясения, его глубину и энергетический класс $K_{S1,2}^{\Phi 68}$ по С.А. Федотову [5]. Для сильных землетрясений дается оценка магнитуды по коде. Для расчетов координат гипоцентров тектонических землетрясений в оперативной обработке на приемных центрах РТСС используется программа Ю.Ю.Мельникова [4].

Оперативный каталог ежедневно публикуется в Интернет (<http://data.emsd.iks.ru/regquake/index.htm>) и рассылается согласно установленного регламента.

К моменту Олюторского землетрясения 20 (21) апреля 2006 г конфигурация сети радиотелеметрических станций позволяла проводить обработку землетрясений из Корякского округа только с $M_{\min} = 4.0$, рисунок 1 [2]. Ближайшая станция была расположена в 600 км от эпицентральной зоны. Поэтому первоначальное определение параметров Олюторского землетрясения вызвало серьезное затруднение у дежурного оператора ЛИСВА и первая информация была передана по телефону в Штаб ГО и ЧС Камчатской области только через 40 мин после начала события. Первое сообщение об этом землетрясении было разослано во все соответствующие инстанции спустя 45 мин после начала события:

«20.04.06 23-25-03.00(время) 60.9N(широта) 166.04E(долгота) 5.0(глубина) 7.9(магнитуда)
Ossora 4-5 ballo
21.04.06 N.Kozlova»

На станции «Петропавловск» в режиме ССД и СПЦ при первоначальной обработке по одной станции для Олюторского землетрясения были определены следующие параметры: $T_p = 23-27-15$; $T_s = 23-29-02$; расстояние от Петропавловска –1070 км, $M=8.1$; координаты Lat 59.6 N, Lon 171.3E. Сообщение по регламенту службы срочных донесений было отправлено в 23-52 (12 часов 52 минуты по местному времени). По этому определению землетрясение произошло в Беринговом море, к югу от мыса Олюторский. При повторном определении сотрудниками станции «Петропавловск» с привлечением данных других сейсмических станций были получены следующие параметры: время в очаге 2006.04.20 23:24:56.9 координаты Lat 60.98 N, Lon 166.19E. Эти координаты были близки к результатам определений зарубежными станциями и Геофизической Службой США

Было очевидно, что для корректного определения параметров землетрясений из Корякского округа необходимо привлечение данных других сейсмических станций, расположенных либо в эпицентральной зоне, либо с разных сторон от нее. Данные единственной работающей региональной станции «Оссора», расположенной в 300 км от эпицентра главного толчка, были недоступны в реальном режиме времени. Проблема была решена благодаря организации доступа в реальном времени через Интернет к данным цифровых станций глобальной сети «IRIS» на дальнем Востоке России (Дроздин Д.В.), рисунок 3.

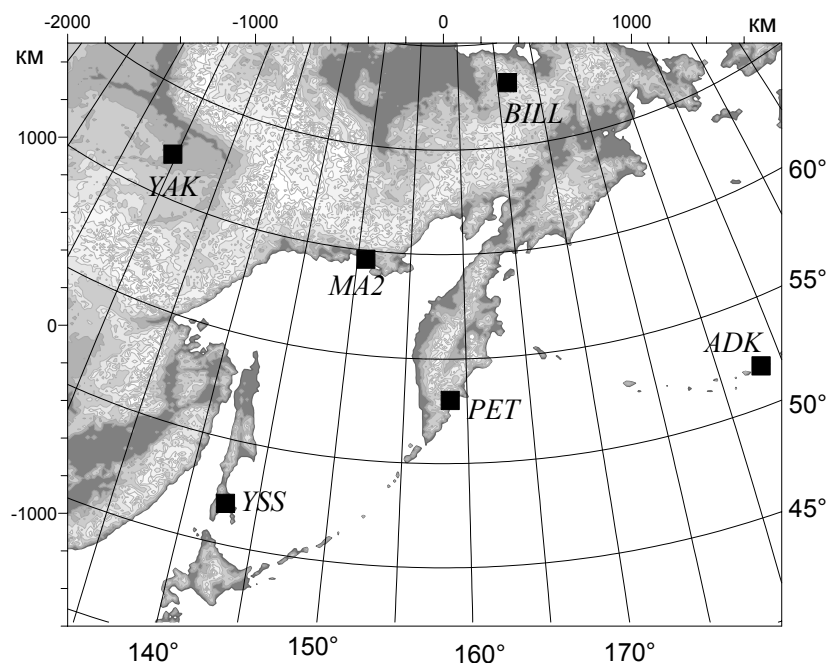


Рис. 3. Станции сети IRIS на Дальнем Востоке России и Алеутских островах: Петропавловск (PET); Магадан (MA2); Южно-Сахалинск (YSS); Билибино (BILL); Якутск (YAK); Адак (ADK).

Привлечение данных станций IRIS, в первую очередь «Билибино» и «Магадан», существенно облегчило и повысило корректность обработки афтершоков, последующих за главным событием, рисунок 4, где показано, что это систематически сдвигает эпицентры землетрясений в северо-западном направлении на 50 км по отношению к эпицентрам, определенным только по радиотелеметрическим станциям КФ ГС РАН.

Для обработки роя афтершоков приказом по КФ ГС РАН был введен чрезвычайный режим работы. Для сотрудников ЛИСВА был объявлен круглосуточный режим работы, который продлился 10 суток до значительного уменьшения сейсмической активности. В течение этого времени было передано 9 сообщений по регламенту службы срочных донесений. Всего за период времени от момента главного события до конца 2006 г. в оперативном режиме и по ССД было обработано около 200 землетрясений из эпицентральной зоны Олюторского землетрясения.

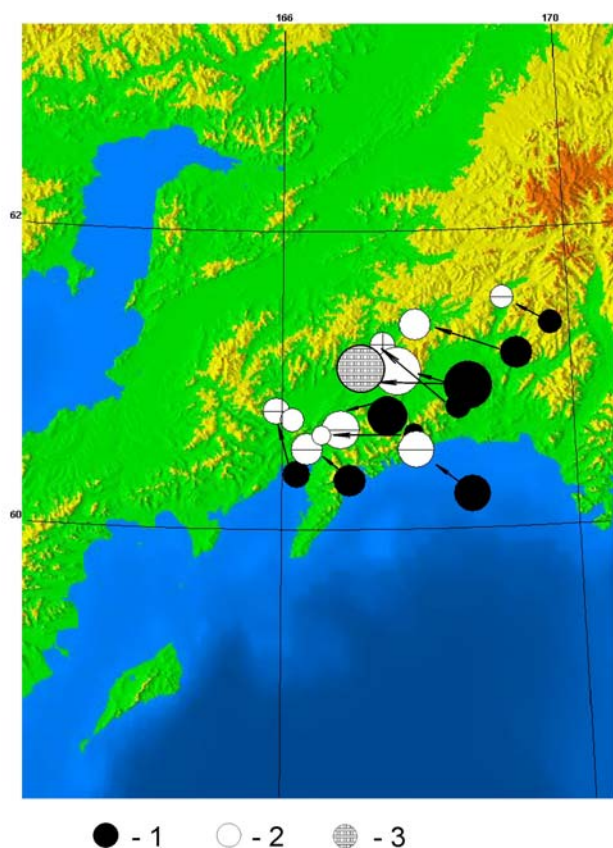


Рис.4 Карта с инструментальными эпицентрами наиболее сильных афтершоков, построенных по данным:

1 - радиотелеметрических станций,
2 - радиотелеметрических станций и станций «Билибино» и «Магадан»,
3 – эпицентр Олюторского землетрясения по данным Геофизической Службы США (USGS, <http://earthquake.usgs.gov/>).

Выводы

До 2006 г. детальные сейсмологические наблюдения на территории КАО главным образом выполнялись в связи с решением конкретных задач по уточнению общего сейсмического районирования после Хаилинского землетрясения 1991 г., $M_w=6.6$. Контроль сейсмичности территории КАО в оперативном режиме проводился с низкой точностью оценок координат по данным сети радиотелеметрических сейсмических станций, расположенных в южной части полуострова Камчатка.

Благодаря организации в эпицентральной зоне Олюторского землетрясения временной локальной сети

автономных сейсмических станций удалось существенно повысить точность определений координат землетрясений на территории КАО камчатской сетью сейсмических станций. Это дало возможность надежно оконтурить по афтершокам очаг сильного землетрясения.

Проведенные в 2006 г. работы по развитию сети стационарных сейсмологических наблюдений на территории КАО обеспечивают повышение качества и достоверности результатов окончательной обработки афтершокового роя Олюторского землетрясения.

Первые оценки параметров Олюторского землетрясения 20 (21) апреля 2006 г. в режиме ССД и СПЦ сейсмической станцией «Петропавловск» и ЛИСВА были даны с большими ошибками, что было обусловлено недостатками имеющейся сети наблюдений. Оперативная обработка с привлечением данных станций IRIS «Билибино» и «Магадан» давала корректные оценки параметров последующих афтершоков, что обеспечивало необходимыми данными Камчатский филиал Российского экспертного совета для выработки заключений о сейсмической опасности на территории КАО.

Для обеспечения надежной регистрации землетрясений и современных деформаций земной коры на территории КАО, сопоставимой по уровню с южной частью полуострова Камчатка, необходимо открыть не менее трех (3) новых сейсмических станций (Палана, Тигиль, Хаилино (или Апука, или Пахачи)) с одновременной организацией GPS наблюдений.

Список литературы

1. Викулин А.В. Природный риск Северной Камчатки // Тихоокеанская геология. 1998. Т. 17, №2. С. 85-92.
2. Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Левина В.И., Сеньюков С.Л., Шевченко Ю.В., Ящук В.В. Система сейсмологических наблюдений на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2006. №3. с. 6-27
3. Ландер А.В., Левина В.И., Иванова Е.И. Олюторское землетрясение 20(21) апреля 2006 г. $M_w=7.6$: сейсмическая история региона и предварительные результаты исследования серии афтершоков. // Наст. Сборник.
4. Мельников Ю.Ю. Пакет программ для определения координат гипоцентров землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. 1990. №5. С. 103-112.
5. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.
6. Чебров В.Н., Воропаев В. Ф., Дроздин Д. В., Сергеев В. А., Шевченко Ю. В. Развитие сети цифровых сейсмических станций Камчатки. // Геофизический мониторинг Камчатки, Материалы научно-технической конференции, 17-18 января 2006 г. Петропавловск-Камчатский 2006, с. 13-20