

СЛУЖБА СРОЧНЫХ ДОНЕСЕНИЙ ГС РАН**О.Е. Старовойт, Л.С. Чепкунас, М.В. Коломиец**Геофизическая служба РАН, г. Обнинск, *kolmar@gsras.ru*

Непрерывный сейсмический мониторинг территории России и сопредельных государств, как и ранее [1], осуществляется в ГС РАН в двух режимах:

– в режиме срочных донесений при сильных землетрясениях, с передачей информации заинтересованным ведомствам и организациям;

– в оперативном режиме, с выпуском сейсмологических бюллетеней и каталогов.

В [1] и [2] подробно был описан первый режим. Ниже представлена информация о развитии в Геофизической службе РАН Службы срочных донесений (ССД) о сильных и ощутимых землетрясениях в 2002 г.

Используемая в 2002 г. сеть сейсмических станций, по сравнению с таковой в 2001 г. [1], претерпела некоторые изменения, а именно: в режиме, близком к реальному времени, начали поступать волновые формы цифровой станции «Пулково» и на станции «Анапа» с 11 июля началась в опытном режиме регистрация землетрясений цифровой станцией SDAS+CM3-OC (табл. 1, 2).

Таблица 1. Сейсмические станции, добавившиеся в ССД в 2002 г., и их параметры по [3]

№	Станция		Дата открытия	Координаты			Аппаратура			
	Название	Код		φ°, N	λ°, E	h _y , м	Тип прибора	Компонента	V _{max} /чувствительность	ΔT _{max}
1	Пулково	PUL	09.12.1906	59°46'22"	30°19'25"	65	ВЭГИК	Z	7900	0.30–1.60
							СГ	(N, Z, E)	760	4.0 – 8.0
							СКД	(N, Z, E)	1040	0.20–17.0
									*500	0.20–19.0
							СКД	(N, Z, E)	50	0.20–19.0
							СД	(N, Z, E)	730	17.0–50.0
			05.2001				Quanterra – цифровая станция			
2	Анапа	ANN	07.03.1968	44°48'	37°26'	35	СКМ-3	(N, Z, E)	28100	0.25–0.80
								(N, Z, E)	*12500	0.25–0.80
							СКД	(N, Z, E)	1040	0.20–19.0
							С-5-С	(N, E)v	2.8 с	0.01–4.5
								(N, Z, E)v	0.1 с	0.01–4.5
							ССР3-М	(N, Z, E)a	0.0023 с ²	0.08
			11.07.2002				SDAS – цифровая станция			

Примечание. Знаком * отмечено увеличение во втором режиме работы; символами «v» и «a» обозначены велосиграф и акселерограф соответственно.

Таблица 2. Параметры цифровых станций «Пулково» и «Анапа» в 2002 г.

Название станции	Тип АЦП и сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Разрядность АЦП	Чувствительность: велосиграф – отсчет/(м/с)
Пулково	Quanterra – STS-2	BH(N,Z,E)v	0.008–8	20	24	5.99·10 ⁰⁸
	Quanterra – STS-2	LH(N,Z,E)v	0.008–0.4	1	24	5.99·10 ⁰⁸
	Quanterra – STS-2	VH(N,Z,E)v	0.008–0.04	0.1	24	2.39·10 ⁰⁹
	Quanterra – STS-2	HH(N,Z,E)v	0.008–40	100	24	5.99·10 ⁰⁸
Анапа	SDAS – CM3–OC	BH(N,Z,E)v	0.02–7	20	16	8.20·10 ⁰⁹
	SDAS – CM3–OC	BL(N,Z,E)v	0.02–7	20	16	2.57·10 ⁰⁸

В 2002 г. в ССД использовались следующие входные потоки информации:

– **волновые формы в режиме, близком к реальному времени**, с 20-ти цифровых сейсмических станций, из которых двенадцать расположены на территории России [«Арти» (ARU), «Кисловодск» (KIV), «Обнинск» (OBN), «Талая» (TLY), «Ловозеро» (LVZ), «Южно-Сахалинск» (YSS), «Якутск» (YAK), «Петропавловск-Камчатский» (PET), «Магадан» (MA2), «Тикси» (TIXI), «Билибино» (BILL), «Пулково» (PUL)], три – на территории стран СНГ [«Боровое» (BRVK) в Казахстане, «Ала-Арча» (AAK) в Кыргызстане, «Гарни» (GNI) в Армении], и пять – из других стран [«Kongsberg» (KONO) в Норвегии, «College» (COLA), «Hockley» (HKT), «Albuquerque» (ANMO) в США, «Ulaanbaatar» (ULN) в Монголии]. Станции «Пулково», «Albuquerque», «Ulaanbaatar» добавились в 2002 г. Волновые формы со станции «Ала Арча» поступали только в январе.

– **времена вступлений (ARRIVAL) основных сейсмических волн**, поступавшие в базу данных ORACLE в режиме, близком к реальному времени, с восьми станций из Международного центра данных IDC СТВТО [«Залесово» (ZAL) в России; «FINESS Array» (FINES) в Финляндии; «Wonju Array» (KSAR) в Южной Корее; «Bogoin» (BGCA) в Центральной Африканской Республике; «Kilima Mbogo» (KMBO) в Кении; «Waramunga Array» (WRA) в Австралии; «Yellowknife Array» (YKA) в Канаде; «Chiang Mai Array» (CMAR) в Таиланде], а также с шести станций Казахстанского национального центра данных (КНЦД) ИГИ НЯЦ [«Чкалово» (CHKZ), «Курчатов» (KURK), «Маканчи» (MKAR), «Восточное» (VOSK), «Каратау» (KKAR), «Зеренда» (ZRNK)].

– **срочные сводки по телетайпу, телефону и e-mail** с девяти цифровых станций России [«Москва» (MOS), «Сочи» (SOC), «Петропавловск-Камчатский» (PET), «Магадан» (MA2), «Южно-Сахалинск» (YSS), «Якутск» (YAK), «Иркутск» (IRK), «Ельцовка» (ELT), «Закаменск» (ZAK)]; с одной цифровой станции СНГ («Симферополь» (SIM)]; с четырех аналоговых станций России [«Анапа» (ANN), «Пятигорск» (PYA), «Махачкала» (MAK), «Северо-Курильск» (SKR)] и с десяти аналоговых станций СНГ [«Алма-Ата» (AAA) – в Казахстане; «Ашхабад» (ASH) и «Кызыл-Арват» (KAT) – в Туркменистане; «Кишинев» (KIS) – в Молдове; «Львов» (LVV) и «Ужгород» (UZH) – на Украине, «Минск» (MNK) – в Беларуси; «Ташкент» (TAS) – в Узбекистане; «Фрунзе» (FRU) – в Кыргызстане; «Баку» (BAK) – в Азербайджане].

Станционная и сводная обработка проводилась программным комплексом WSG («Система обработки сейсмических данных») [4], уточнение параметров землетрясений осуществлялось по программе APM-2 [5]. WSG представляет собой автоматизированное рабочее место сейсмолога, состоящее из основной программы и набора утилит (получение данных непрерывно по протоколам NRTS и SEED – Rnrts и Rseed, по запросам – Xfer2wsg, отображение на экране – WSGview, детектирование событий – AUZ). Впервые в 2002 г. в ССД была поставлена версия WSG 4.9, не ограничивающая число станций, по которым проводится обработка волновых форм. Возможности этого комплекса позволили обрабатывать волновые формы, поступающие в режиме, близком к реальному времени, с 19 станций СНГ и мира, а также использовать поступающие автоматически выделенные вступления (формат *.arrival) с 14 станций международных центров IDC и КНЦД. Кроме того, данные, получаемые по электронной почте со станций ГС РАН и центров СНГ в виде сводок в коде МСК-8, записывались в банк данных (БД) и также включались в счет. Сводная обработка основана на использовании данных о временах первых вступлений продольных волн на трех-четыре и более сейсмических станциях. Для определения основных параметров землетрясения (времени возникновения t_0 , координат эпицентра ϕ , λ , глубин очага h) применялся годограф Джеффриса-Буллена [6] в интервале $\Delta=1-105^\circ$ и Рихтера [7] – в интервале $\Delta=110-150^\circ$. Значения магнитуд MS и $MPSP$ землетрясений находились по максимальной скорости смещения $(A/T)_{\max}$ в поверхностных и объемных волнах по соответствующим калибровочным кривым [8–11].

Обмен данными с международными сейсмологическими центрами использовался широко для повышения информативности ССД ГС РАН. Рассмотрим его более подробно.

Обмен происходит на этапе обработки станционных данных, а также на этапе получения параметров очагов землетрясения. В режиме, близком к реальному времени, в ССД поступают:

– волновые формы цифровых станций IRIS – по соглашению с Объединением научно-исследовательских институтов по сейсмологии США [12];

– автоматически выделенные вступления станций IMS IDC СТВТО – по соглашению об использовании продуктов ARRIVAL SLSD (Standard List of Signal Detections) и SEL1 (Standard Event List) [13];

– автоматически выделенные вступления станций КНЦД – по соглашению об обмене данными с Казахстанским национальным центром данных ИГИ НЯЦ РК [13].

Расположение станций «виртуальной» сети ССД показано на рис. 1.

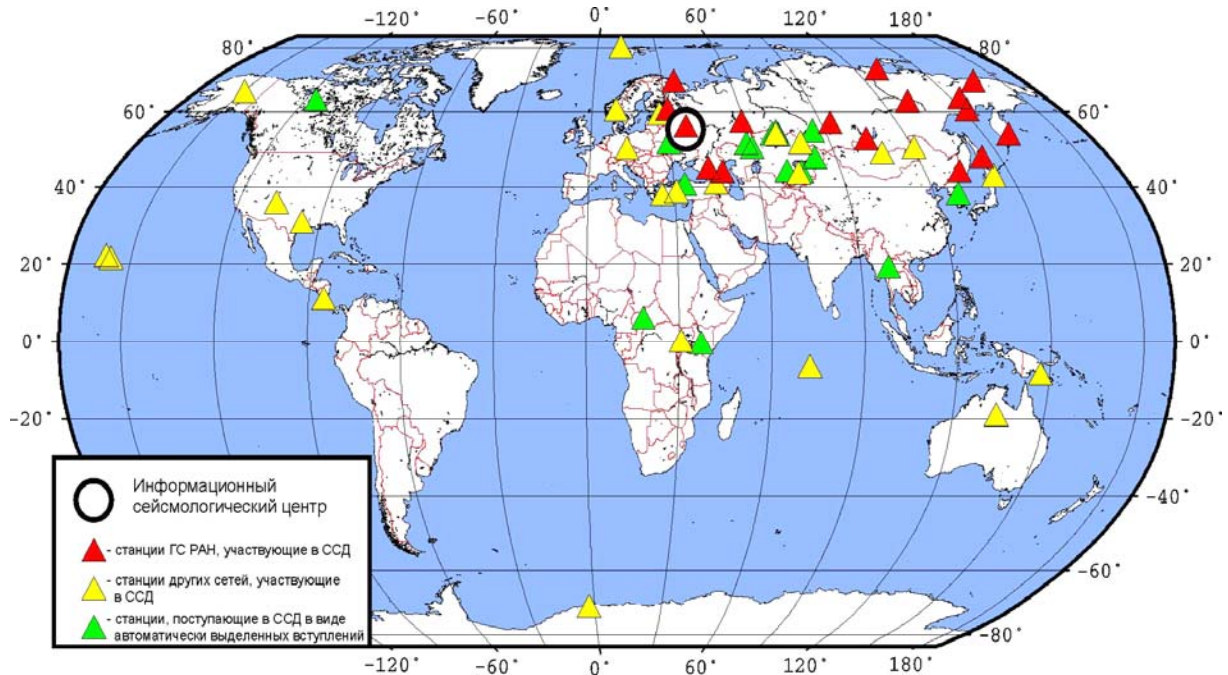


Рис. 1. Сеть сейсмических станций, участвовавших в работе ССД ГС РАН в 2002 г.

Кроме данных сети ГС РАН, в обработку включаются данные дополнительных зарубежных станций, распространяемые по каналам Интернет или имеющие адресную рассылку.

На рис. 2 показан пример использования данных IDC СТВТО и КНЦД (с сайта ГС РАН [14]) для слабого землетрясения 20 октября в 13^h28^m в районе Курильских островов, поступающих в виде автоматически выделенных вступлений.

20-Окт-2002 13:28:54.6 lat= 46.64 lon= 150.36
depth= 200km mb: 4.7/3

N	COD	TIME	PHASE	DELTA	AZIMUTH	RESIDUAL	MS	MB	NET	SOURCE
1	YSS	13:30:13.8	P	5.23	276	1.2	-	-	SKHL	OBN
2	ULN	13:34:38.0	P	29.14	288	-0.9	-	-	OBM	OBN
3	COLA	13:35:49.8	P	37.40	38	0.5	-	-	NEIC	OBN
4	MKAR	13:36:54.4	P	45.49	296	-0.8	-	-	NNC	NNC
5	KURK	13:36:57.9	P	45.84	303	0.0	-	-	NNC	NNC
6	CHKZ	13:37:22.3	P	49.04	309	-0.3	-	-	NNC	NNC
7	BRVK	13:37:26.3	P	49.50	309	0.2	-	-	NNC	OBN
8	ZRNK	13:37:31.8	P	50.24	309	0.1	-	-	NNC	NNC
9	YKA	13:37:46.0	P	52.14	36	0.3	-	-	OTTR	IDC
10	ARU	13:37:57.6	P	53.80	317	-0.5	-	4.5	OBN	OBN
11	KKAR	13:38:03.0	P	54.39	298	0.5	-	-	NNC	NNC
12	FINES	13:39:03.0	P	63.32	334	-0.6	-	-	HEL	IDC
13	OBN	13:39:10.2	P	64.31	324	0.0	-	4.9	OBN	OBN
14	WRA	13:39:32.9	P	67.83	196	-0.1	-	-	CAN	IDC
15	KIV	13:39:43.6	P	69.50	313	0.7	-	4.6	OBN	OBN

Рис. 2. Времена автоматически выделенных вступлений t_{pi} землетрясения, произошедшего в районе Курильских островов 20 октября в 13^h28^m

Из 15 станций, участвующих в расчете параметров названного землетрясения, только с семи (меньше половины) были получены данные в виде волновых форм в режиме, близком к реальному времени, а с восьми – в виде автоматически выделенных вступлений, три из IDC (YKA, FINES, WRA) и пять – из КНЦД (MKAR, KURK, CHKZ, ZRNK, K KAR). Использование данных этих станций позволило улучшить азимутальное окружение эпицентра указанного землетрясения и повысить точность его расчета.

Наиболее полный объем станционных данных содержится в сообщениях Национального центра информации о землетрясениях (NEIC) Геологической службы США, который собирает и обрабатывает данные глобальной цифровой сети (более 100 сейсмических станций) сначала в автоматическом, а потом в интерактивном режиме, и одновременно публикует основные параметры очагов землетрясений. По электронной почте также поступают сообщения из Средиземноморского центра данных (CSEM), содержащие станционные данные и сейсмологическую информацию с результатами сводной обработки [1, 15]. Сейсмологическая служба Швейцарии (SED) получает результаты определения местоположения землетрясения другими зарубежными национальными и региональными сетями, формирует автоматически компиляцию таких сообщений и помещает на сайте [16], а также присылает в ГС РАН по электронной почте. В свою очередь ГС РАН посылает информацию с результатами сводной обработки, а также станционные данные в эти международные центры по электронной почте.

Вся информация, поступающая из различных международных сейсмологических центров, используется в ССД для уточнения параметров землетрясений и выпуска информационных сообщений для некоторых из них. Следует подчеркнуть, что точность определения положения эпицентра существенно зависит от относительного расположения станций (расстояние, азимут), т.е. от конфигурации сейсмической сети. Учитывая различие программ, по которым ведутся расчеты в разных центрах, следует рассматривать результаты их определений, как дополняющие друг друга.

В 2002 г. в срочном режиме осуществлены сбор, сводная обработка и подача срочных донесений о 1665 землетрясениях на территории СНГ и мира, из них ощутимых на территории СНГ – 105, в том числе 85 – на территории России. В табл. 3 помещено распределение обработанных в ССД землетрясений по магнитудам и их суммарная энергия.

Таблица 3. Распределение числа землетрясений N по магнитудам $MPSP$ и суммарная энергия за 2002 г. в пределах земного шара и России в частности

$h,$ км	$MPSP$						N_{Σ}	$\Sigma E,$ Джс
	2.6–3.5	3.6–4.5	4.6–5.5	5.6–6.5	6.6–7.5	7.6–8.5		
Россия								
≤ 70	20	80	42	5	–	–	147	$0.07 \cdot 10^{15}$
71–390	1	16	29	2	–	–	48	$0.02 \cdot 10^{15}$
≥ 391	–	5	6	2	2	–	15	$1.03 \cdot 10^{15}$
Всего	21	101	77	9	2	–	210	$1.12 \cdot 10^{15}$
Земной шар								
≤ 70	29	323	631	165	5	–	1153	$14.2 \cdot 10^{15}$
71–390	1	72	315	64	3	–	455	$6.1 \cdot 10^{15}$
≥ 391	–	10	28	14	4	1	57	$5.8 \cdot 10^{15}$
Всего	30	405	974	243	12	1	1665	$26.1 \cdot 10^{15}$

Из диаграммы на рис. 3 виден рост числа землетрясений, обработанных в Службе срочных донесений за период 1996–2002 гг. Значительное увеличение в последние годы, с 1999 г. по 2002 г., связано с использованием современных технологий приема, сбора и обработки сейсмологической информации и данных цифровых станций в режиме, близком к реальному времени. Небольшое превышение числа землетрясений в 2001 г. вызвано активизацией сейсмических процессов в августе–сентябре на Сахалине, в октябре – на Камчатке.

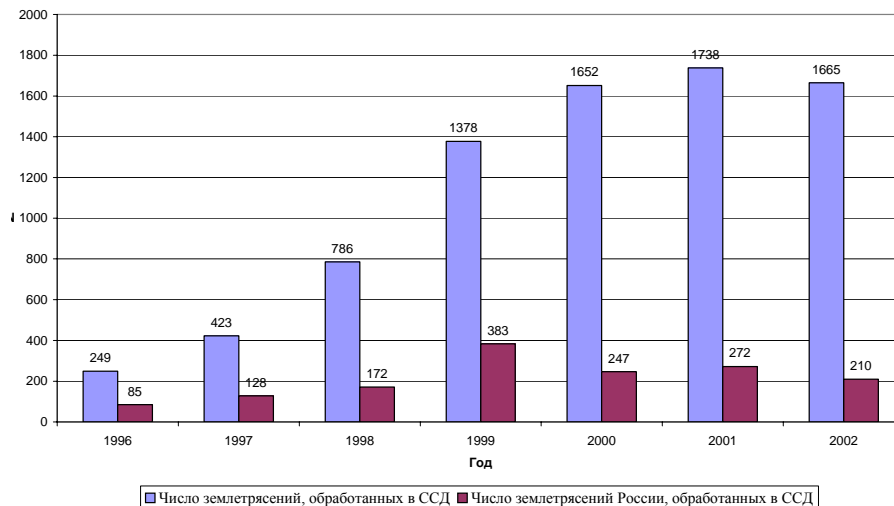


Рис. 3. Число землетрясений, обработанных в Службе срочных донесений в 1996–2002 гг.

Как видно из рис. 4, основная часть (почти 80%) землетрясений была обработана не позднее двух часов с момента их возникновения. При этом уменьшилось среднее время передачи первого предварительного сообщения. Для сильных землетрясений мира и ощутимых землетрясений России оно составляло 55^м.

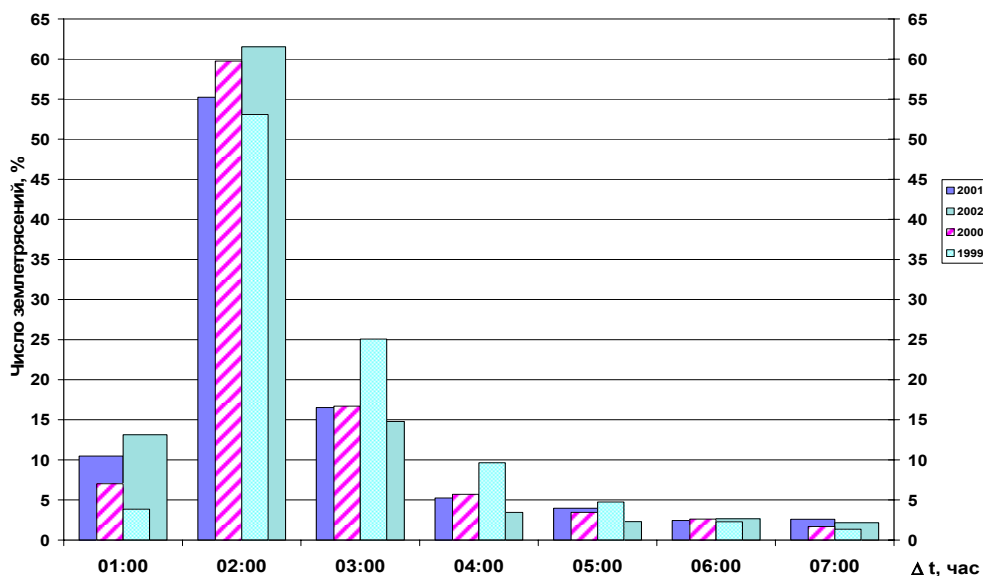


Рис. 4. Гистограмма распределения числа землетрясений по времени передачи о них срочных сообщений в 1999–2002 гг.

Максимальная интенсивность сотрясений в 2002 г., отмеченная на территории России, равна $I=6$ баллов и наблюдалась для землетрясения 9 ноября в 02^h18^m с $MS=4.5$ на Нижней Кубани, в Краснодарском крае. Всего подготовлено и помещено на WEB-страницу [14] 11 информационных сообщений, которые были посвящены следующим землетрясениям:

- 1 – 9 января в 06^h45^m с $MS=5.0$ в Центральном Таджикистане. Его эпицентр располагался в 80 км к востоку от столицы – г. Душанбе. Максимальные макросейсмические проявления достигали 6–7 баллов в г. Рогуне, ближайшем к эпицентру. Землетрясение ощущалось в Душанбе с интенсивностью $I=3-4$ балла;

- 2 – 30 января в 04^h01^m с $MPSP=4.4$ в центральном районе Чечни, в России. Землетрясение произошло в долине р. Терек, в 35 км севернее г. Грозный. Очаг располагался в верхней мантии ($h=137$ км). Район землетрясения относится к одному из немногих районов Кавказа, где исторически известны очаги на глубинах от 50 до 125 км;

- 3 – 2 февраля в 21^h55^m с $MPSP=6.0$ в Приморье, в России. Оно произошло в районе Сихотэ-Алиньского хребта. Макросейсмические сведения отсутствуют;
- 4 – 3 февраля в 07^h11^m с $MS=6.2$ в Западной Турции. Эпицентр разрушительного землетрясения располагался в уезде Болвадин. Землетрясение ощущалось во многих центральных, южных и северо-западных районах Турции. В течение дня произошло около 60 афтершоков, магнитуда самого сильного из них, зарегистрированного ССД 3 февраля в 12^h26^m, составила $MS=5.4$;
- 5 – 3 марта в 12^h08^m с $MPSP=6.4$ в Северо-восточном Афганистане. Гипоцентр этого разрушительного землетрясения располагался на глубине $h=250$ км в северо-восточной части Афганистана, в высокосейсмичном Гиндукуше. Оно ощущалось на обширной территории Центральной Азии: в Афганистане, Пакистане, Индии, Таджикистане, Узбекистане, Кыргызстане, Казахстане;
- 6 – 25 марта в 14^h56^m с $MS=6.0$ в северном Афганистане. Хотя высвобожденная в его очаге сейсмическая энергия была примерно в 100 раз меньше, чем от землетрясения 3 марта, разрушения были гораздо значительнее в связи с тем, что очаг располагался на небольшой глубине $h=8-10$ км;
- 7 – 31 марта в 06^h52^m с $MS=7.3$ на Тайване. Оно ощущалось с интенсивностью $I=5$ баллов в Тайпэе, Илане и Хуалиене. Тайпэйский финансовый центр почти полностью разрушен, были погибшие и раненые. Последнее катастрофическое землетрясение с $MS=7.7$ в этом районе произошло 20 сентября 1999 г., когда погибли 1500 жителей;
- 8 – 22 июня в 02^h58^m с $MS=6.5$ в северо-западном Иране. Два десятка деревень провинции Казвин, оказавшихся в эпицентре землетрясения, были наполовину разрушены. Толчок ощущался в Тегеране, расположенном на расстоянии 130 км к востоку от эпицентра;
- 9 – 28 июня в 17^h19^m с $MPSP=7.0$ в Приморье, в России. Гипоцентр располагался на глубине $h=570$ км в пограничной области Россия–Китай. Поэтому, несмотря на значительную магнитуду, его макросейсмический эффект на поверхности был невелик, в то же время область осязтимости землетрясения достаточно обширна. По данным ИТАР-ТАСС от 29.06.2002 г., землетрясение ощущалось в России в следующих городах Приморья: Уссурийск, Владивосток, Спасс-Дальний, Арсеньев и Артем с I до 2 баллов, а также в китайских провинциях Цзилинь, Хэйлунцзян, Ляонин, расположенных вблизи эпицентральной области. Кроме того, ИТАР ТАСС сообщает об осязтимости этого землетрясения в Пекине и провинциях Шаньдун и Хэнань, расположенных на 1000 км южнее;
- 10 – 31 октября в 10^h32^m с $MS=5.4$ в южной Италии. В результате землетрясения разрушены многие постройки, в городке Сан-Джулиано рухнуло старое школьное здание, погибли 29 человек, из них 26 – дети;
- 11 – 9 ноября в 02^h18^m с $MS=4.5$ в Краснодарском крае, в России. Эпицентр располагался в районе Нижней Кубани, примерно в 50 км северо-восточнее Анапы. Землетрясение ощущалось на обширной территории Краснодарского края (Анапа, Крымск, Юровка – $I=5-6$ баллов, Новороссийск – 5 баллов, Краснодар – 4–5 баллов, Геленджик, Белореченск, Славянск-на-Кубани, Темрюк, Майкоп – 3 балла [17]).

Как видим, эти информационные сообщения посвящены как сильным разрушительным землетрясениям (1, 4, 7, 8) мира, так и значимым землетрясениям (2, 3, 5, 9, 11) на территории России и мира с меньшей магнитудой. Например, в 2002 г. анализировалось осязтимое землетрясение на Нижней Кубани (11) с $MS=4.5$, вызвавшее сотрясения $I=6$ баллов. Оно интересно тем, что произошло в районе, где редко случаются землетрясения подобной энергии.

Л и т е р а т у р а

1. Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Коломиец М.В. Служба срочных донесений ГС РАН // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 252–258.
2. Старовойт О.Е. Система информационного обеспечения о землетрясениях в России // Вестник ОГГГН РАН. – 1999. – № 1 (7). http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-99/starovt.htm#begin
3. Старовойт О.Е., Мишаткин В.Н. Сейсмические станции Российской академии наук (состояние на 2001 г.). – М.-Обнинск: ГС РАН, 2001. – 86 с.

4. **Красилов С.А., Коломиец М.В., Акимов А.П.** Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург». – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77–83.
5. **Бармин М.П., Захарова А.И., Миронович В.Л., Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С.** Определение координат сильных землетрясений на ЭВМ «Мир-1» в службе срочных донесений // Физика Земли. – 1976. – № 9. – С. 87–93.
6. **Jeffreys H., Bullen K.E.** Seismological tables // Brit. Assoc. for the advancement of Sci. – London: Gray-Milne Trust, 1958. – 65 p.
7. **Рихтер Ч.** Элементарная сейсмология. – М.: ИЛ, 1963. – 670 с.
8. **Gutenberg B., Richter C.** Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration // Bull. Seism. Soc. Am. – 1942. – 32. – № 3 – P. 163–191.
9. **Gutenberg B., Richter C.** Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration // Bull. Seism. Soc. Am. – 1956. – 46. – № 2 – P. 105–145.
10. **Ванек И., Затопек А., Карник В., Кондорская Н.В., Ризниченко Ю.В., Саваренский Е.Ф., Соловьёв С.Л., Шебакин Н.В.** Стандартизация шкал магнитуд // Изв. АН СССР, сер. геофизич. – 1962. – № 2. – С. 153–158.
11. **Горбунова И.В., Шаторная Н.В.** О калибровочной кривой для определения магнитуды землетрясений по волнам *PKIKP* // Физика Земли. – 1976. – № 7. – С. 77–81.
12. **Старовойт О.Е., Чернобай И.П.** Участие России в международных проектах по сейсмическим наблюдениям // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений: Информационно-аналитический бюллетень – М.: МЧС РФ и РАН. – 1994. – № 2. – С. 33–40.
13. **Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Коломиец М.В.** Использование данных и продуктов Организации по ДВЗЯИ в сейсмическом мониторинге России // Вестник НЯЦ РК. Вып. 2. – Курчатова: НЯЦ РК, 2007. – С. 9–12.
14. Сайт ГС РАН <http://www.ceme.gsras.ru>
15. **Старовойт О.Е.** Современные проблемы стационарных сейсмических наблюдений // Геофизика и математика в XXI веке. Вып. 2. – М: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 92–101.
16. Сайт Сейсмологической службы Швейцарии (SED) – <http://www.seismo.ethz.ch/>
17. **Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Бабкова Е.А.** Нижнекубанское-II землетрясение 9 ноября 2002 года с $K_p=13.0$, $M_w=5.5$. (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).