

КРЫМ

Г.Д. Пасынков, Б.И. Шаторный, В.А. Свидлова, Н.М. Козиненко

Отдел сейсмологии Института геофизики НАН Украины, г. Симферополь, seismosilver@mail.ru

В 2006 г. сейсмологические наблюдения в Крыму осуществлялись сетью из семи стационарных сейсмических станций. Расположение станций показано на рис. 1, в табл. 1 представлены их координаты и даты открытия. Все станции работали в непрерывном режиме. На сейсмических станциях «Симферополь» и «Ялта» продолжалась регистрация как стандартной аналоговой, так и цифровой аппаратурой SDAS, изготовленной в ГС РАН. Цифровая регистрация в Симферополе и Ялте ведется двумя трехкомпонентными каналами: широкополосным длиннопериодным и узкополосным короткопериодным. Все остальные станции в соответствии с табл. 2 были переведены на регистрацию цифровой короткопериодной аппаратурой, изготовленной в отделе сейсмологии.

Параметры сейсмографов основных и загрубленных каналов сейсмических станций Крыма, представленные в [1], не изменились и в 2006 г. Первичная станционная обработка полученной цифровой информации выполнялась по программному комплексу WSG [2].

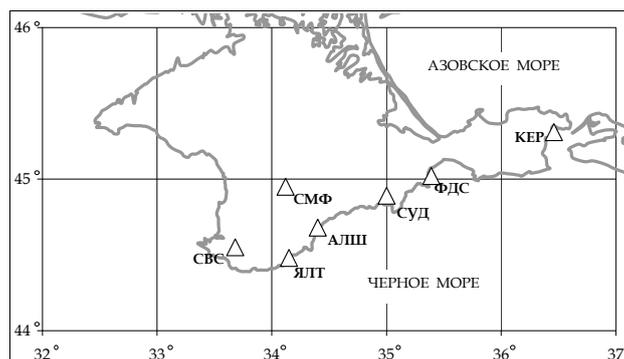


Рис. 1. Сеть стационарных сейсмических станций Крыма в 2006 г.

Таблица 1. Сейсмические станции Крыма (в хронологии их открытия), работавшие в 2006 г.

№	Станция		Дата открытия		Координаты			Принадлежность	
	Название	Код	аналоговой станции	цифровой станции	φ°, N	λ°, E	h_y, m		
	межд.	рег.							
1	Феодосия	FEO	Фдс	11.10.1927	06.09.2006	45.02	35.39	40	Отдел сейсмологии ИГ НАН Украины
2	Ялта	YAL	Ялт	13.13.1928	05.07.2000	44.48	34.15	23.6	
3	Симферополь	SIM	Смф	14.05.1928	25.06.2000	44.95	34.12	275	– " –
4	Севастополь	SEV	Свс	28.06.1928	06.09.2006	44.54	33.68	42	– " –
5	Алушта	ALU	Алш	03.10.1951	19.07.2006	44.68	34.40	61	– " –
6	Судак	SDK	Суд	18.10.1988	23.07.2006	44.89	35.00	108	– " –
7	Керчь	KRCH	Кер	19.05.1997		45.31	36.46	50	– " –

Цифровые записи региональных станций ежедневно пересылаются в Симферополь по e-mail. В режиме срочных донесений и по запросу также передаются в формате CSS фрагменты волновых форм землетрясений Крыма и прилегающих территорий. Срочные донесения о сильных землетрясениях и полная информация о сейсмических событиях за прошедшие сутки передаются из Симферополя в Обнинск.

Цифровые сейсмические станции (ЦСС) MSP-III, разработанные и изготовленные на базе микропроцессорного модуля MSP430F149 в отделе сейсмологии, были установлены на сейсмических станциях «Алушта», «Севастополь», «Судак» и «Феодосия» в течение второй половины 2006 г.

Технические характеристики цифровой сейсмической станции MSP-III представлены в табл. 2.

Таблица 2. Технические характеристики ЦСС MSP-III

Название параметра	Диапазон
Количество аналоговых каналов	6
Коэффициент усиления входных усилителей	400–1250
Частота дискретизации каналов, в секунду	64
Эффективная разрядность АЦП каналов, бит	12
Разрешающая способность АЦП, mV	1
Чувствительность канала усиления при $K_{vc} = 1\ 250, \mu V$	0.8
Скорость обмена информацией с PC, bod	115–200
Напряжение питания станции, V	5.0 ± 0.2
Максимальный потребляемый ток, mA	60
Полоса пропускания входного фильтра, $Гц$	0–20
Емкость запоминающего устройства, Gb	0.51–8.0
Коэффициент усиления каналов пониженной чувствительности	20–50

Структурная схема комплекса цифровой сейсмической станции MSP-III изображена на рис. 2; на рис. 3 показаны основные функциональные блоки автономной сейсмической станции.

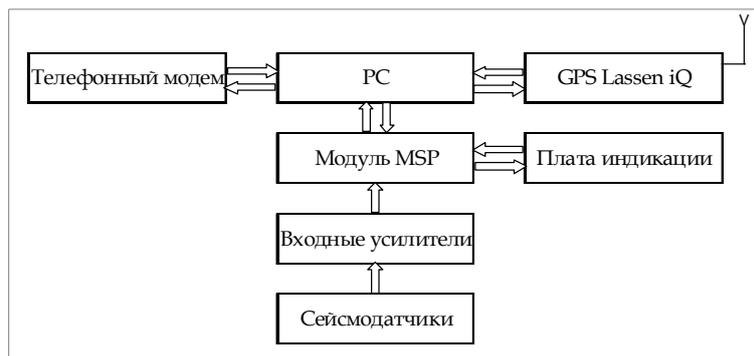


Рис. 2. Структурная схема комплекса ЦСС MSP-III

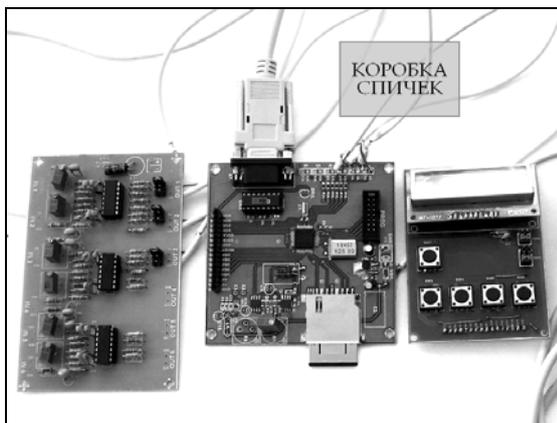


Рис. 3. Фото основных функциональных блоков автономной сейсмической станции

Плата входных усилителей – слева, модуль MSP – в центре, плата индикации – справа (спичечный коробок показан для сравнения).

В комплекс ЦСС MSP-III входят следующие основные устройства:

- 1 – датчики сейсмического сигнала;
- 2 – входные усилители;
- 3 – микропроцессорный модуль на основе MSP430F149;
- 4 – плата индикации и начальной установки;
- 5 – плата GPS;
- 6 – персональный компьютер;
- 7 – GPRS-модем.

Цифровые станции MSP-III имеют малые габариты и вес, и, как видно из технических характеристик, малое потребление тока при достаточно хорошей чувствительности. Основной недостаток – малый динамический диапазон, не превышающий динамический диапазон гальванометрической регистрации, и отсутствие дополнительных каналов для записи колебаний в режиме пониженной чувствительности.

Таблица 3. Основные параметры цифровых сейсмических станций Крыма, работавших в 2006 г.

Название станции	Тип датчика	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Эффективная разрядность АЦП	Чувствительность, отсчет/(м/с)
Симферополь	СКД	ВН (N, E, Z)	0.01–4	20	16	$2.5 \cdot 10^8$
	СМ-3	ЕН (N, E, Z)	0.1–20	100	16	$1.9 \cdot 10^9$
Ялта	СКД	ВН (N, E, Z)	0.015–4	20	16	$3.3 \cdot 10^9$
	СМ-3	ЕН (N, E, Z)	0.2–20	100	16	$3.1 \cdot 10^9$
Алушта	ВЭГИК	ЕН(N, E, Z)	0.2–10	64	12	$6.3 \cdot 10^9$
Судак	СКМ-3	ЕН(N, E, Z)	0.2–10	64	12	$2.9 \cdot 10^9$
Севастополь	СКМ-3	ЕН(N, E, Z)	0.2–10	64	12	$1.9 \cdot 10^9$
Феодосия	ВЭГИК	ЕН(N, E)	0.2–10	64	12	$2.5 \cdot 10^9$
	СКМ-3	ЕН(Z)	0.2–10	64	12	$2.5 \cdot 10^9$

Цифровые станции SDAS в Симферополе и Ялте работают, соответственно, с 25 июня и 5 июля 2000 г. Датчики цифровых станций установлены на тех же постаменты, что и аналоговые сейсмографы. Коэффициенты увеличений каналов ВН и ЕН цифровых станций были рассчитаны в 2001 г. и с тех пор не изменялись [1].

Описанной сетью сейсмических станций в 2006 г. зарегистрировано 42 землетрясения с $K_{II}=4.2-11.3$, для которых определены координаты гипоцентров. Каталог основных параметров этих землетрясений представлен в [3]. Для 6 землетрясений получены спектральные и динамические параметры очагов [4].

Энергетические классы по цифровым записям оценивались по-прежнему с использованием региональной номограммы [5]. При этом замеры периодов и амплитуд выполнялись по короткопериодным каналам ЕН, а в случае отсутствия записи этими каналами – по широкополосным каналам ВН с применением короткопериодных фильтров. Если землетрясение зарегистрировано параллельно двумя типами аппаратуры, энергетический класс определялся с использованием записи аналоговой аппаратурой. Карта эпицентров землетрясений с $K_{II}>6.4$ показана на рис. 4, из которой следует, что в основных сейсмоопасных для Крыма районах региона (№ 1–№ 4) пространственное распределение эпицентров землетрясений без особенностей.

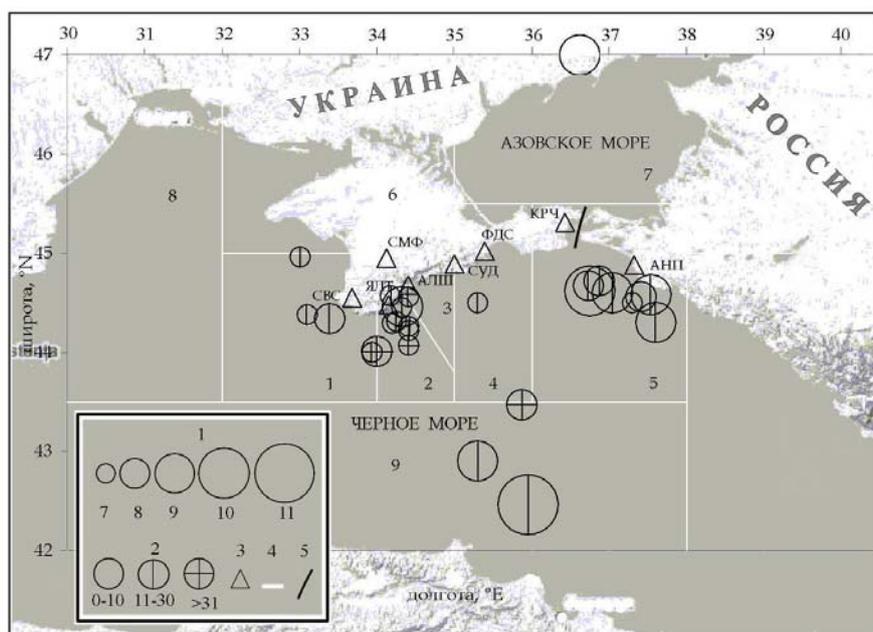


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Крыма в 2006 г.

1 – энергетический класс K_{II} ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – сейсмическая станция; 4 – граница района; 5 – государственная граница.

При таких умеренных значениях общего числа землетрясений $N_{\Sigma}=42$ и высвободившейся энергии $\Sigma E=215.342 \cdot 10^9$ Дж сейсмический процесс в регионе необычен. Он отличается двумя ощутимыми землетрясениями и неожиданным местоположением эпицентра одного из них.

Развитие сейсмического процесса во времени изображено на рис. 5, где представлены по месяцам три параметра: число землетрясений, максимальное и минимальное значения энергетических классов K_{Π} .

Как видно из рисунка, в январе, июле и сентябре зафиксировано равное число землетрясений $N=4$. В мае, августе и октябре число землетрясений также было одинаковым ($N=5$), в апреле и июне – по два, в ноябре не отмечено ни одного события. Наибольшее число ($N=7$) событий зарегистрировано в феврале. Землетрясение с максимальным энергетическим классом $K_{\Pi}=11.3$ произошло 19 мая в $23^{\text{h}}01^{\text{m}}$ с $h=22$ км, а с минимальным классом $K_{\Pi}=4.2$ – 5 октября в $23^{\text{h}}56^{\text{m}}$ с $h=10$ км [3]. Рассмотрим более детально ситуацию по районам. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_{Π} и суммарной выделившейся энергии ΣE по районам региона за 2006 г. представлено в табл. 4.

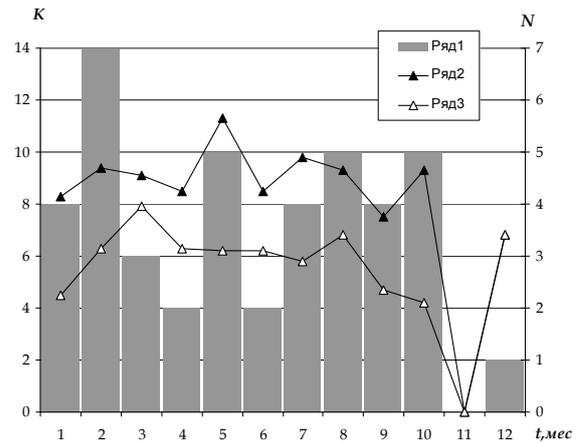


Рис. 5. Числа землетрясений, максимального и минимального энергетического класса по месяцам в 2006 г.

1 – число землетрясений N ; 2, 3 – K_{\max} и K_{\min} .

Таблица 4. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_{Π} и суммарная сейсмическая энергия ΣE по районам за 2006 г.

№	Район	K_{Π}									N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^9 Дж
		4	5	6	7	8	9	10	11			
1	Севастопольский			2	3	1					6	0.062
2	Ялтинский	1	1	4	9	1	2				18	2.925
3	Алуштинский		1	2	2						5	0.015
4	Судакский				1						1	0.012
5	Керченско-Анапский					3	5				8	7.411
6	Степной Крым											
7	Азово-Кубанский							1			1	5.012
8	Северо-Западный											
9	Черноморская впадина					1	1		1		3	199.906
	Всего	1	2	8	15	6	8	1	1		42	215.342

В Севастопольском районе (№ 1) зарегистрировано шесть землетрясений с $K_{\Pi}=6.2-7.6$. Их суммарная энергия на порядок ниже, по сравнению с энергией в 2005 г. ($\Sigma E=0.062 \cdot 10^9$ Дж вместо $\Sigma E=0.702 \cdot 10^9$ Дж [6]). Максимальное ($K_{\Pi}=7.6$) из них отмечено 18 августа в $14^{\text{h}}41^{\text{m}}$ на глубине $h=15$ км. Интересная локальная ($r \approx 2$ км) группа из трех слабых глубоких землетрясений реализовалась 8 мая в течение трех минут – в $17^{\text{h}}55^{\text{m}}20.1^{\text{s}}$ с $K_{\Pi}=6.2$ и $h=39$ км, в $17^{\text{h}}55^{\text{m}}26.6^{\text{s}}$ с $K_{\Pi}=6.8$ и $h=39$ км, в $17^{\text{h}}58^{\text{m}}03.4^{\text{s}}$ с $K_{\Pi}=6.4$ и $h=40$ км [3].

Более половины землетрясений произошло в центральной части региона – Ялтинском (№ 2) и Алуштинском (№ 3) районах. Энергия этих событий почти в 60 раз выше таковой в 2005 г. ($\Sigma E=2.94 \cdot 10^9$ Дж вместо $\Sigma E=0.05 \cdot 10^9$ Дж [6]).

В первом из них отмечено 18 толчков с $K_{\Pi}=4.2-9.4$. Четыре землетрясения произошли на берегу, остальные – в море. Землетрясение с $K_{\Pi}=9.4$, зафиксированное 7 февраля в $22^{\text{h}}58^{\text{m}}$, ощущалось в поселках Ботаническое и Ливадия с $I=2$ балла, максимальная интенсивность сотрясений в Ялте оценена в 4 балла. Эпицентр его находился в 14 км юго-восточнее города, глубина очага $h=13$ км [3]. Сведения о макросейсмических проявлениях этого землетрясения собраны сотрудниками станции «Ялта» по телефону.

Во втором – зарегистрировано пять землетрясений с $K_{II}=4.7-6.8$, из которых два – 7 февраля в 06^h54^m и 20 декабря в 10^h42^m – локализованы на суше.

В Судакском районе (№ 4) зафиксировано лишь одно событие – 28 октября в 13^h22^m с $K_{II}=7.2$ и $h=15$ км.

Сейсмическая активность Керченско-Анапского района (№ 5) по числу землетрясений несколько выше таковой в 2005 г. ($N_{\Sigma}=8$ вместо $N_{\Sigma}=6$ [6]), но по уровню высвобожденной сейсмической энергии почти на два порядка ниже ($\Sigma E=7.411 \cdot 10^9$ Дж вместо $\Sigma E=506.978 \cdot 10^9$ Дж [6]). Максимальное значение $K_{II}=9.3$ зафиксировано у двух достаточно удаленных между собой по времени землетрясений: 13 августа в 05^h46^m с $h=7$ км и 30 октября в 07^h51^m с $h=16$ км [3].

Самым интересным, и даже проблемным, оказалось Бердянское землетрясение в Азово-Кубанском районе (№ 7). Оно произошло на северном побережье Азовского моря вблизи г. Бердянск Запорожской области. Заметим, что до 2006 г. в акватории Азовского моря, исключая приграничную с Россией часть, землетрясения происходили со средним интервалом около двух лет. Но землетрясение на территории северного побережья отмечено впервые за весь период инструментальных наблюдений. Бердянскому землетрясению посвящена отдельная статья [7] в наст. сб., в которой подробно описаны результаты уточнения основных параметров землетрясения, полученные в ГС РАН по комплексу данных различных агентств, а также изложена интерпретация материалов макросейсмического обследования этого события, выполненная сотрудниками отдела сейсмологии ИГ НАНУ. Интенсивность сотрясений достигала $I_{\max}=5$ баллов. Глубина очага, рассчитанная с учетом I_{\max} , оценена в $h=6-7$ км.

В Черноморской впадине (№ 9) зарегистрировано три землетрясения с $K_{II}=7.8-11.3$. Выделившаяся сейсмическая энергия составила $\Sigma E=199.906 \cdot 10^9$ Дж. Самое сильное ($K_{II}=11.3$) событие года, упомянутое выше, произошло в этом районе 19 мая в 23^h01^m .

Районы Степного Крыма (№ 6) и Северо-Западный (№ 8) по-прежнему асейсмичны.

Как правило, при низкой сейсмической активности в регионе максимум сейсмической энергии высвобождается в краевых районах. Но если в 2005 г. 98.3% суммарной выделившейся энергии приходилось на Керченско-Анапский район (№5), то в 2006 г. 92.8% ΣE относится к Черноморской впадине (№ 9), т.е. продолжается ежегодное противофазное выделение энергии в районах № 5 и № 9, отмеченное ранее [8–10]. Попытка объяснения этому явлению предпринята в [11].

График распределения суммарных чисел землетрясений и выделившейся энергии за период с 1986 по 2006 гг. представлен на рис. 6.

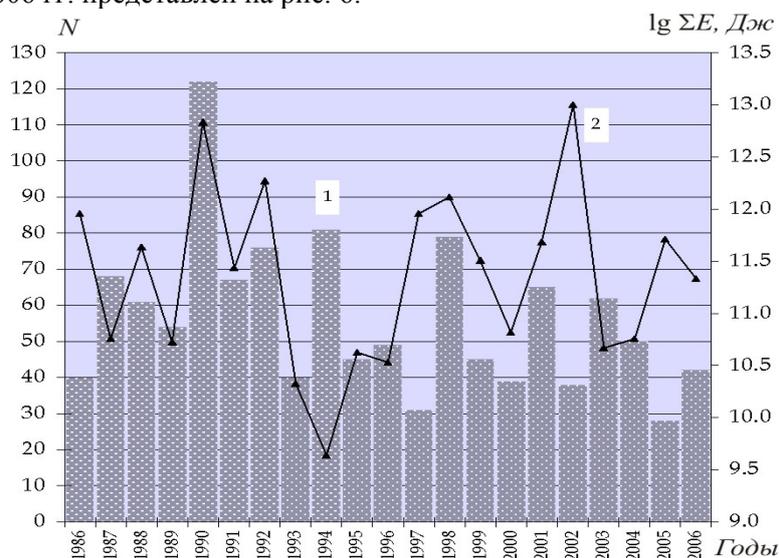


Рис. 6. Годовые значения чисел землетрясений (1) и выделившейся сейсмической энергии (2) в Крыму за 1986–2006 гг.

На этом графике четко просматриваются два основных максимума выделившейся энергии в 1990 и 2002 гг. и один максимум числа землетрясений в 1990 г. Двенадцатилетний промежуток между максимумами выделения энергии наводит на мысль о связи этого процесса с

циклами солнечной активности, хотя для надежных выводов одного цикла недостаточно. Более подробно этот вопрос был рассмотрен в [11]. Из графика видно также, что после максимума 2002 г. наблюдается спад выделения энергии в регионе и относительное уменьшение числа землетрясений в течение четырех последних лет.

Л и т е р а т у р а

1. **Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А.** Сейсмичность Крыма в 2001 году // Сейсмологический бюллетень Украины за 2001 год. – Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 2003. – С. 6–12.
2. **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.
3. **Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыччина З.Н. (отв. сост.)**. Каталог землетрясений Крыма за 2006 г. ($N=42$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
4. **Поречнова Е.И., Сыччина З.Н.** Очаговые параметры землетрясений Крыма. (См. раздел II (Спектры и динамические параметры очагов землетрясений) в наст. сб.).
5. **Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е.** Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. – Т. 2. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – С. 113–125.
6. **Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А., Пасынков Г.Д., Пустовитенко А.А.** Крым // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 70–76.
7. **Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А., Князева В.С., Бушмакина Г.Н., Габсатарова И.П.** Две версии изосейст Осипенковского (Бердянского) землетрясения 31 июля 2006 г. с $M_w=3.3$, $I_0=5$ (Украина, Запорожская область). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
8. **Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А.** Сейсмичность Крыма в 2002 году // Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год. – Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 2003. – С. 6–12.
9. **Пустовитенко А.Н., Поречнова Е.И., Пустовитенко А.А., Свидлова В.А., Сыччина З.Н.** Крым // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 52–59.
10. **Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А., Пустовитенко А.А., Михайлова Р.С.** Крым // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 64–73.
11. **Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А., Михайлова Р.С.** Некоторые свойства сейсмичности Крыма // Уроки и следствия сильных землетрясений. Материалы Международной научной конференции «Уроки и следствия сильных землетрясений (к 80-летию разрушительных землетрясений в Крыму)». – Симферополь: КЭС, НАНУ, 2007. – С. 106–107.