

## КРЫМ

А.Н. Пустовитенко, В.А. Свидлова

Отдел сейсмологии Института геофизики НАН Украины, г. Симферополь, [silver@mail.strace.net](mailto:silver@mail.strace.net)

В 2002 г. в Крымской сети работали семь стационарных сейсмических станций (табл. 1). Выносной пункт «Донузлав» с 10 июня был снят с регистрации в связи с трудностями обслуживания и низкой эффективностью работы. На сейсмических станциях «Симферополь» и «Ялта» продолжалась регистрация цифровой аппаратурой, но из-за технической неисправности этой аппаратуры на первой из них был длительный перерыв цифровых записей каналов ВН с 14 апреля по 1 сентября. Поэтому с 7 мая в Симферополе была восстановлена регистрация стандартным длиннопериодным каналом СД-1. Короткопериодные каналы ЕН писали нормально.

Таблица 1. Сейсмические станции Крыма (в хронологии их открытия), работавшие в 2002 г.

№	Станция			Дата открытия	Координаты			Принадлежность
	Название	Код			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h_y, м$	
		межд.	рег.					
1	Феодосия	FEO	Фдс	11.10.1927	45.02	35.39	40	Отдел сейсмологии ИГ НАН Украины
2	Ялта	YAL	Ялт	13.03.1928	44.48	34.15	23.6	– « –
3	Симферополь	SIM	Смф	14.05.1928	44.95	34.12	275	– « –
4	Севастополь	SEV	Свс	28.06.1928	44.54	33.68	42	– « –
5	Алушта	ALU	Алш	03.10.1951	44.68	34.40	61	– « –
6	Судак	SDK	Суд	18.10.1988	44.89	35.00	108	– « –
7	Керчь	KRCH	Крч	19.05.1997	45.31	36.46	50	– « –
8	Донузлав (снят с регистрации в июне 2002 г.)	DON	Днз	20.04.1998	45.45	33.10	80	Крымский экспертный совет

Уникальные длиннопериодные каналы были восстановлены на сейсмоприемниках СД-1 с  $T_s=25$  с, снятых с временно неработающей цифровой станции. Вместо них для цифровой станции были подготовлены новые сейсмоприемники, снятые со среднепериодного канала СКД. На них перемотаны катушки, произведено определение новых параметров, и после подключения к цифровым широкополосным каналам ВНН, ВНЕ, ВNZ выполнена их калибровка. Все это заняло достаточно много времени, поэтому нормальная цифровая регистрация началась только в августе 2002 г. В результате всех этих перестановок была прекращена работа среднепериодного комплекта СКД, так как для него не осталось свободных сейсмоприемников. Пойти на этот шаг вынудила еще и необходимость экономить фотобумагу. Параметры основных типов аппаратуры представлены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры сейсмографов, основных и заглубленных каналов регистрации, на аналоговых станциях Крыма в 2002 г.

№	Название станции	Тип прибора	Компоненты	$T_s, с$	$D_s$	$T_g, с$	$D_g$	$\sigma^2$	$V_{max}$	$T_{max}, с$	Скорость развертки, мм/мин
1	Симферополь	СХ	N, E	1.00	0.70	0.360	3.00	0.2250	16400	0.20–0.80	60
			Z	1.00	0.70	0.360	4.20	0.1200	10300	0.20–0.80	60
		СХ, КПЧ	N	0.92	0.52	0.093	11.60	$3.34 \cdot 10^{-3}$	550	0.05–0.80	360
			E	0.92	0.52	0.099	10.60	$3.16 \cdot 10^{-3}$	540	0.05–0.80	360
			Z	0.97	0.60	0.096	14.50	$3.39 \cdot 10^{-3}$	520	0.05–0.80	360

№	Название станции	Тип прибора	Компоненты	$T_s, c$	$D_s$	$T_g, c$	$D_g$	$\sigma^2$	$V_{max}$	$T_{max}, c$	Скорость развертки, мм/мин
		СД-1	N	25.00	1.00	103	0.50	0.1730	730	20.0–50	15
			E	25.00	1.00	95	0.50	0.1484	730	20.0–50	15
			Z	25.00	1.00	80.9	0.50	0.1886	1000	20.0–50	15
2	Севастополь	СКМ-3	N	1.00	0.62	0.280	2.40	0.0715	20700	0.10–0.70	60
			E	1.00	0.62	0.280	2.40	0.0500	20500	0.10–0.70	60
			Z	1.00	0.62	0.280	2.40	0.0630	20600	0.10–0.70	60
3	Ялта	СХ	N	0.75	0.70	0.290	2.00	0.1900	21000	0.20–0.60	60
			E	0.75	0.70	0.290	2.00	0.1900	21000	0.20–0.60	60
			Z	0.75	0.70	0.290	2.00	0.1900	20900	0.20–0.60	60
		СХ, КПЧ	N	0.67	0.55	0.130	4.50	$3.0 \cdot 10^{-2}$	1000	0.10–0.60	60
			E	0.67	0.55	0.210	2.80	$9.0 \cdot 10^{-3}$	1000	0.10–0.60	60
			Z	0.67	0.55	0.210	2.80	$9.0 \cdot 10^{-3}$	1000	0.10–0.60	60
4	Алушта	СХ	N	0.76	0.74	0.220	1.74	0.2460	20000	0.20–0.50	60
			E	0.76	0.74	0.220	1.74	0.0350	20000	0.20–0.50	60
			Z	0.73	0.74	0.220	1.74	0.1220	20000	0.20–0.50	60
		СХ-КПЧ	N	0.61	0.57	0.190	2.00	$9.3 \cdot 10^{-4}$	1000	0.10–0.50	120
			E	0.72	0.72	0.190	2.00	$4.2 \cdot 10^{-4}$	2000	0.20–0.40	120
			Z	0.59	0.56	0.220	1.80	$4.2 \cdot 10^{-4}$	1000	0.20–0.50	120
5	Судак	СКМ-3	N	1.00	0.70	0.280	1.80	$1.6 \cdot 10^{-2}$	20000	0.19–0.55	60
			E, Z	1.00	0.7	0.270	1.80	$1.8 \cdot 10^{-2}$	20000	0.15–0.55	60
		СКМ-3, КПЧ	N	0.98	0.67	0.093	5.30	$6.6 \cdot 10^{-4}$	1000	0.15–0.60	360
			E	0.92	0.67	0.090	5.40	$7.5 \cdot 10^{-4}$	1000	0.15–0.60	360
			Z	0.92	0.67	0.095	5.10	$7.5 \cdot 10^{-4}$	1000	0.15–0.60	360
6	Феодосия	СХ СКМ-3	N, E	1.00	0.70	0.400	3.60	0.0400	10000	0.10–0.70	60
			Z	1.00	0.70	0.400	3.60	0.0200	10000	0.10–0.70	60
7	Керчь	УСФ	N	0.60	0.60	0.213	2.00	0.0188	10500	0.10–0.45	60
			E	0.60	0.60	0.208	2.00	0.0191	10500	0.10–0.45	60
			Z	0.60	0.60	0.227	2.00	0.0055	5150	0.10–0.50	60
8	Донузлав	ВЭГИК	N	1.00	–	0.200	–	–	10000*	0.10–0.80	60
			Z	1.00	–	0.200	–	–	10000*	0.10–0.80	60

\*Электронный канал.

Амплитудно-частотные характеристики цифровых каналов остались такие же, как и в 2001 г. [1]. Оценка качества определения характеристик производилась путем сопоставления результатов определения величины землетрясений (классов и магнитуд) по цифровым и аналоговым записям. Короткопериодные ВН-каналы работают в триггерном режиме с частотой оцифровки сейсмического сигнала 100 Гц. Они включаются в регистрацию только тогда, когда амплитуда полезного сигнала превышает амплитуду помех в 3–5 раз, поэтому слабые события чаще всего пропускаются, хотя аналоговой аппаратурой они регистрируются во вполне читаемом виде. В результате оказалось, что за период с 2001 по 2002 гг. материалов для сравнения короткопериодных цифровых каналов с аналоговыми недостаточно. В почти полной мере удалось провести такое сопоставление только для цифровых широкополосных ВН-каналов, работающих в непрерывном режиме, с частотой оцифровки 20 Гц.

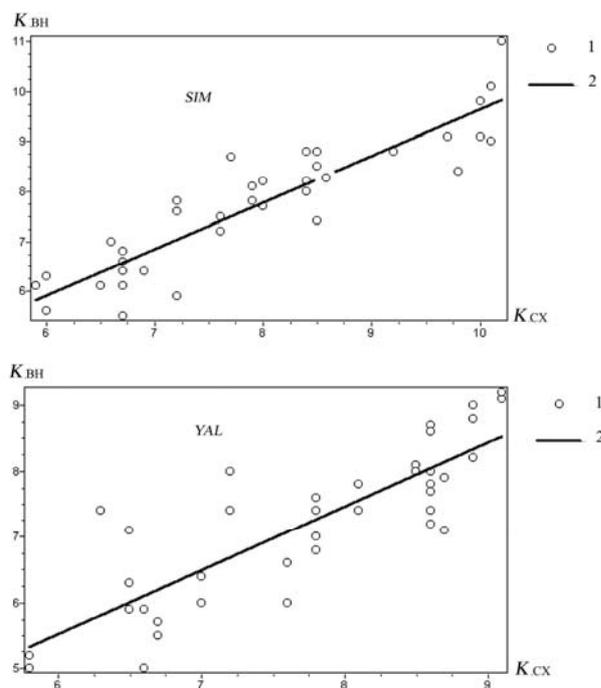
В качестве примера на рис. 1 даны корреляционные поля значений энергетических классов  $K_{\Pi}$  [2] местных крымских землетрясений, определенных параллельно по записям цифровых каналов ВН и аналоговых СХ. На их основе получены следующие уравнения прямых ортогональной регрессии для станций «Симферополь» и «Ялта»:

$$K_{\Pi}(\text{ВН}) = 0.936 K_{\Pi}(\text{СХ}) + 0.287 (\text{Смф}),$$

$$K_{\Pi}(\text{ВН}) = 0.972 K_{\Pi}(\text{СХ}) - 0.327 (\text{Ялт}),$$

при коэффициентах корреляции  $r$ , равных 0.907 и 0.839 соответственно. Наклон графиков 0.936 и 0.972 близок к единице и, следовательно, «перекос» невелик, но свободные члены довольно

ощутимы по модулю (около  $0.3 K_{II}$ ) и, более того, противоположны по знаку. В среднем по цифровым записям на станции «Симферополь» значения энергетических классов  $K_{II}$  несколько завышены, а на станции «Ялта» – занижены относительно  $K_{II}$ , полученных по аналоговой аппаратуре этих станций. Довольно существенные различия в параметрах уравнений регрессии можно объяснить разными типами характеристик как аналоговой (табл. 2), так и цифровой аппаратуры на этих станциях, а также разными эпицентрными расстояниями и разными геологическими условиями среды под станциями и на пути очаг–станция.



**Рис. 1.** Сопоставление энергетических классов  $K_{II}$  местных ( $\Delta \leq 200$  км) землетрясений, вычисленных по записям цифровых каналов ВН типа SDAS и аналоговых сейсмографов типа СХ на сейсмических станциях «Симферополь» (SIM) и «Ялта» (YAL)

1 – экспериментальные точки; 2 – линия регрессии.

Методика обработки землетрясений Крыма не изменилась. В то же время необходимо отметить, что были определенные трудности в сводной обработке, связанные с ненадежной службой времени в регионе. В результате того, что в течение длительного времени сейсмологические наблюдения финансировались частично, сейсмические станции до сих пор не имеют современных систем привязки наблюдений к единому Мировому времени, что резко снижает точность определения основных параметров землетрясений. На станциях «Симферополь», «Ялта», «Алушта» и «Феодосия» сигналы точного времени (СТВ) принимаются по городской трансляционной сети, а при их отсутствии – по радио от тех радиостанций, которые лучше слышны в данном районе. На остальных станциях радиотрансляция не работает и прием СТВ осуществляется только по радио. В перечень радиостанций входят как государственные, так и коммерческие радиостанции Украины, России, Румынии и Турции. Погрешность определения времени по этим радиостанциям очень велика. Так, например, при сводной обработке записей землетрясений станциями Крыма было выявлено, что сигналы точного времени украинских радиостанций в период с 27 мая по июль 2002 г. отличались на несколько секунд от сигналов радиостанции «Маяк», что было подтверждено сотрудниками Государственного НИИ метрологии Украины в Харькове. В результате приходилось корректировать времена вступлений волн при расчете координат гипоцентров землетрясений, зарегистрированных станциями «Севастополь» и «Судак», что, естественно, снижает доверие к полученным кинематическим параметрам землетрясений с порядковыми номерами 10, 12, 13 из каталога [3], которые записаны 24 июня в  $17^h37^m$  с  $K_{II}=8.9$  и  $h=14$  км, в  $18^h00^m$  с  $K_{II}=5.2$  и  $h=15$  км, в  $18^h11^m$  с  $K_{II}=6.9$  и  $h=13$  км.

Суммарное число землетрясений в регионе, зарегистрированное Крымской сетью станций и локализованное в группе обработки в 2002 г., составило  $N_{\Sigma}=38$ , максимальное из которых имеет  $K_{\Pi}=13.0$  (9 ноября в  $02^{\text{h}}18^{\text{m}}$  с  $h=29$  км), а минимальное – 4.3 (9 ноября в  $02^{\text{h}}18^{\text{m}}$  с  $h=3$  км). Для всех землетрясений определены координаты гипоцентров, представленные в каталоге [3]. Карта эпицентров изображена на рис. 2.

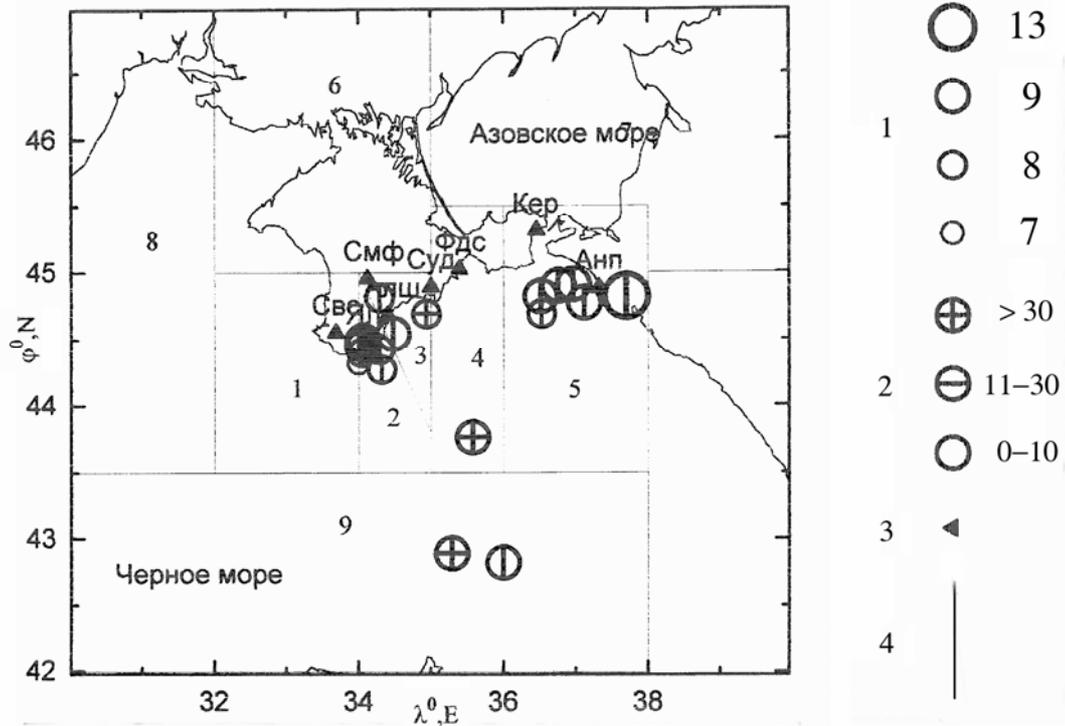


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Крымского региона за 2002 г.

1 – энергетический класс  $K_{\Pi}$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – сейсмическая станция; 4 – граница района.

Распределение числа землетрясений и суммарной выделившейся энергии по районам за 2002 г. показано в табл. 3.

Таблица 3. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_{\Pi}$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  по районам за 2002 г.

№	Район	$K_{\Pi}$											$N_{\Sigma}$	$\Sigma E$ , Дж	
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
1	Севастопольский	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	Ялтинский	–	6	5	7	1	1	–	–	–	–	–	–	20	$1.146 \cdot 10^9$
3	Алуштинский	1	1	3	2	1	–	–	–	–	–	–	–	8	$0.062 \cdot 10^9$
4	Судакский	–	–	1	–	–	1	–	–	–	–	–	–	2	$0.504 \cdot 10^9$
5	Керченско-Анапский	–	–	–	1	–	4	–	–	–	–	1	–	6	$10004.020 \cdot 10^9$
6	Степной Крым	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
7	Азово-Кубанский	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
8	Северо-Западный	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
9	Черноморская впадина	–	–	–	–	2	–	–	–	–	–	–	–	2	$0.331 \cdot 10^9$
	Всего	1	7	9	10	4	6	–	–	–	–	1	38	$10006.063 \cdot 10^9$	

Сопоставление суммарных величин  $N_{\Sigma}$  и  $\Sigma E$  за период с 1993 по 2002 гг. на рис. 3 свидетельствует о том, что в 2002 г. выделилась рекордная величина сейсмической энергии в связи с реализацией упомянутого выше землетрясения с  $K_{\Pi}=13.0$ , хотя фактически оно находится на границе с Северным Кавказом (рис. 2).

Рассмотрим сейсмичность региона по каждому из девяти районов. Больше половины всех землетрясений региона зарегистрировано в **Ялтинском районе (№ 2)**. Это – 20 землетрясений с энергетическими классами  $K_{\Pi}=4.8-8.9$ . Почти все толчки слабые, высвободившаяся в их очагах энергия ниже среднего уровня. Самое сильное ( $K_{\Pi}=8.9$ ) из них произошло 24 июня в 17<sup>h</sup>37<sup>m</sup> вблизи Ялты (9 км), где ощущалось на верхних этажах домов с интенсивностью  $I=2-3$  балла, в Ливадии (15 км) – 2 балла.

В **Алуштинском районе (№ 3)** отмечено восемь слабых землетрясений с энергетическими классами  $K_{\Pi}=4.3-7.7$ . Они сконцентрированы вблизи станции «Алушта» с эпицентрными расстояниями  $\Delta=9-17$  км. Максимальное ( $K_{\Pi}=7.7$ ) в районе землетрясение возникло в самом начале года – 18 января в 21<sup>h</sup>12<sup>m</sup> с  $h=7$  км. Одно землетрясение, произошедшее 14 апреля в 42 км от станции, отнесено к третьему району формально, т.к. его эпицентр находится на границе с районом № 4. Выделенная в районе энергия (табл. 3) также ниже среднегодового уровня.

В **Судакском районе (№ 4)** зарегистрировано лишь два землетрясения: 12 апреля в 13<sup>h</sup>23<sup>m</sup> с  $K_{\Pi}=8.7$  и  $h=3$  км, 9 декабря в 10<sup>h</sup>26<sup>m</sup> с  $K_{\Pi}=6.4$  и  $h=10$  км. Суммарная их энергия несколько выше среднего уровня энергии, обычно выделяемой в районе.

Резко возросла высвобожденная сейсмическая энергия в **Керченско-Анапском районе (№ 5)**. Здесь 9 ноября в 02<sup>h</sup>18<sup>m</sup> произошло уже упомянутое выше землетрясение энергетического класса  $K_{\Pi}=13.0$  [3], названное Нижнекубанским-II, которое вызвало на территории Краснодарского края сотрясения до 5–6 баллов. События такой величины не было в Керченско-Анапском районе с 1978 г. Землетрясение обследовано ГС РАН и описано в отдельной статье наст. сб. [5]. Сотрудники отдела сейсмологии ИГ НАН Украины, в том числе сейсмической станции «Керчь», также провели опрос населения на территории Керченского полуострова, где оно проявилось небольшими сотрясениями с  $I=2-3$  балла на верхних этажах многоэтажных домов Керчи [3]. Кроме него в районе № 5 сетью Крыма было зарегистрировано еще пять землетрясений, из которых четыре – 9-го класса (20 сентября в 20<sup>h</sup>56<sup>m</sup>, 23 октября в 02<sup>h</sup>31<sup>m</sup>, 21 декабря в 00<sup>h</sup>42<sup>m</sup>, 31 декабря в 14<sup>h</sup>32<sup>m</sup>) и одно – 7-го (29 сентября в 03<sup>h</sup>08<sup>m</sup>) [3], которые, в общем, не связаны с сильным толчком 9 ноября.

В районе **№ 9 – Черноморской впадине**, так же, как и в Судакском, зарегистрировано два землетрясения с близкими энергетическими классами –  $K_{\Pi}=8.4$  и  $7.9$  соответственно. Они реализовались 14 февраля в 23<sup>h</sup>29<sup>m</sup> и 13 декабря в 06<sup>h</sup>21<sup>m</sup> на значительных глубинах –  $h=15$  км и 33 км. Суммарная сейсмическая энергия в их очагах на три порядка ниже таковой в 2001 г. [1].

Не отмечено ни одного землетрясения как в трех слабоактивных районах (**Степном Крыме, Азово-Кубанском, Северо-Западном**), так и в обычно активном **Севастопольском** районе (табл. 3).

В заключение уже традиционно [1, 6–9] проведено сравнение временного хода выделения сейсмической энергии в отдельных районах Крымского региона (рис. 4). Как видим, в 2002 г. изменение во времени энергии по районам вновь пролонгирует зафиксированную ранее закономерность о противофазном характере выделения энергии в районе № 5 по отношению к району № 9. Одно из возможных объяснений этого явления представлено в [1].

Однако вопрос этот сложный и требует, безусловно, дальнейших исследований. В общем виде картина представляется в таком виде, что происходит ежегодная миграция сейсмической энергии из одного района в другой. Выдвигаемые рабочие гипотезы о причинах наблюдаемого феномена касаются явлений разной природы. Можно представить эту картину и в виде сейсмической сверхдлиннопериодной волны, которая возникает в одном районе и, распространяясь,

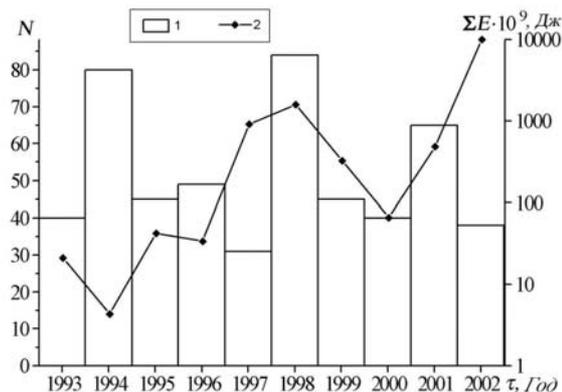


Рис. 3. Распределение числа землетрясений  $N$  (1) и суммарной выделившейся энергии  $\Sigma E$  (2) по годам за 10 лет

затухает в другом, или же привлечь вероятную связь с годовым ходом лунно-солнечных приливов. Возможно также, что астенолит, наличие которого под дном Черного моря предполагается в работах А.В. Чекунова [10, 11], поддавливается Аравийской плитой [12], вызывая отклик сначала в Черноморской впадине, а через год и в Керченско-Анапском районе. Не исключен иной, более простой вариант, когда та же Аравийская плита воздействует на блоки Черноморской впадины, а затем эта энергия воздействия через соседние блоки частично передается северо-западнее в Ялтинский и Алуштинский районы, а основная часть направлена северо-восточнее в Керченско-Анапский район – наиболее ослабленную зону Крымского региона. В пользу этого варианта говорит тот факт, что противофазность выделения энергии в менее четкой форме наблюдается также между девятым и третьим районами. В то же время во втором районе наблюдается синфазное выделение энергии с девятым.

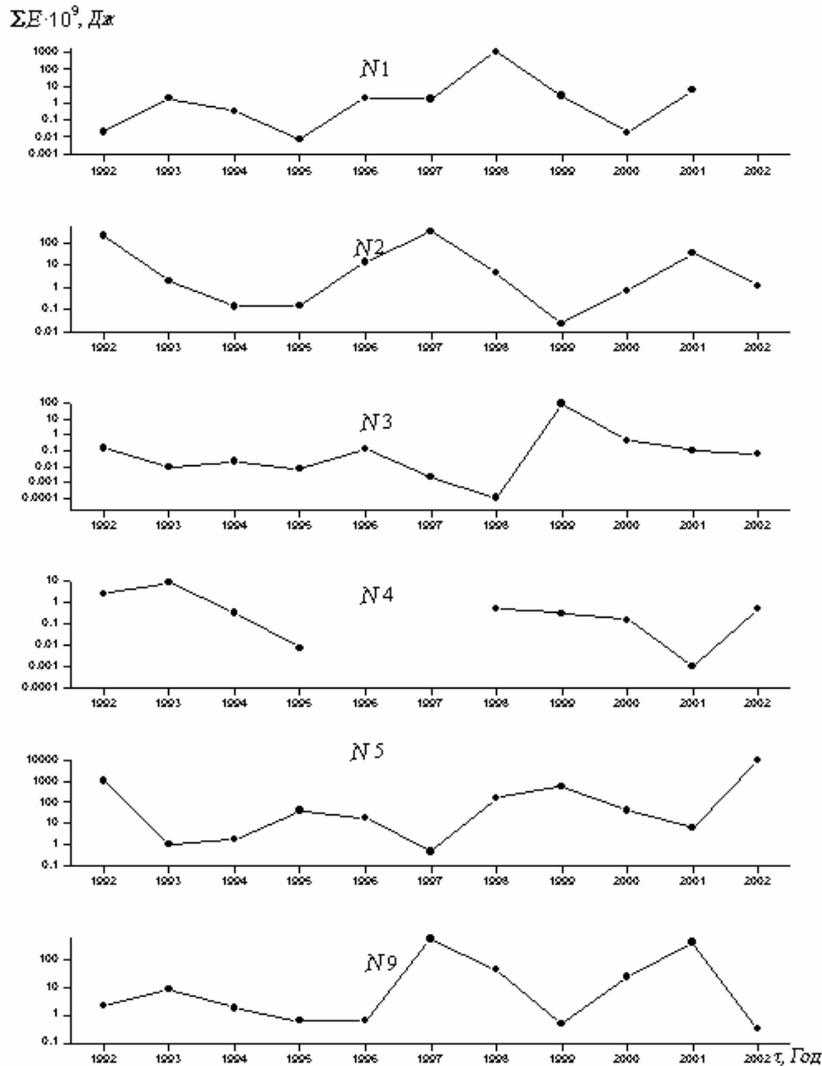


Рис. 4. Графики высвобождения энергии за последние 10 лет для некоторых районов Крымского региона

### Л и т е р а т у р а

1. 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.
2. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е. Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. II. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – С. 113–124.

3. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М. (отв. сост.). Крым. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
4. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М. Каталог и подробные данные о землетрясениях Крымско-Черноморского региона за 2002 г. // Симферополь: ОС ИГ НАНУ, 2004. – С. 12–27.
5. Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Бабкова Е.А. Нижнекубанское-II землетрясение 9 ноября 2002 года с  $K_p=13.0$ ,  $M_w=5.5$ ,  $I_0=6$  (Северный Кавказ). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
6. Пустовитенко А.Н., Пустовитенко Б.Г., Свидлова В.А., Поречнова Е.И., Сыкчина З.Н. Крым // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ГС РАН, 2003. – С. 33–41.
7. Пустовитенко А.Н., Пустовитенко Б.Г., Поречнова Е.И., Свидлова В.А., Сыкчина З.Н. Крым // Землетрясения Северной Евразии в 1998 году. – Обнинск: ГС РАН, 2004. – С. 36–44.
8. Пустовитенко А.Н., Поречнова Е.И., Пустовитенко А.А., Свидлова В.А., Сыкчина З.Н. Крым // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 52–59.
9. Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А., Пустовитенко А.А., Поречнова Е.И., Сыкчина З.Н. Крым // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 58–63.
10. Чекунов А.В. Крым в системе разломов Черноморского региона // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1990. – № 3. – С. 20–24.
11. Чекунов А.В. Проблемы Черноморской впадины // Геофизический журнал. – 1987. – 9. – № 4. – С. 3–25.
12. Чекунов А.В., Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е. Сейсмичность Черноморской впадины и ее тектонические следствия // Геологический журнал. – 1992. – № 2 – С. 17–22.