

КРЫМ

А.Н. Пустовитенко, В.А. Свидлова, Г.Д. Пасынков, А.А. Пустовитенко

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

Сеть стационарных сейсмических станций Крыма и их аппаратурное оснащение в 2005 г. не изменились. Сведения о станциях и параметрах регистрирующей аппаратуры представлены в табл. 1, 2. Только на двух сейсмических станциях – «Симферополь» и «Ялта» – продолжалась непрерывная регистрация землетрясений как стандартной аналоговой, так и цифровой аппаратурой типа SDAS, изготовленной в ГС РАН. Все остальные станции оборудованы только аналоговой аппаратурой с гальванометрической регистрацией на фотобумагу. Особенности условий регистрации на отдельных сейсмических станциях описаны в [1–3].

Проведены подготовительные работы для перевода всех станций сети на цифровую регистрацию. Сотрудником отдела сейсмологии Б.И. Шаторным разработаны и изготовлены цифровые сейсмические станции на базе микроконтроллера MSP430F149.

Таблица 1. Параметры сейсмографов основных и заглубленных аналоговых каналов сейсмических станций Крыма в 2005 г.

	Станция		Дата открытия	Координаты			Аппаратура				Раз- вертка, мм/мин
	Название	Код межд. рег.		φ°, N	λ°, E	$h_y,$ м	Тип при- бора	Компо- ненты	V_{max}	$\Delta T_{max},$ с	
1	Феодосия 2 режим	FEO Фдс	11.10.1927	45.02	35.39	40	СХ	N, E	10000	0.10–0.70	60
							СКМ-3	Z	10000	0.10–0.70	60
							СХ КПЧ	N, E	5000	0.10–0.70	60
2	Ялта	YAL Ялт	13.03.1928	44.48	34.15	23.6	СХ	N, E	20000	0.20–0.60	60
								Z	20000	0.20–0.55	60
3	Симферополь с 11 марта	SIM Смф	14.05.1928	44.95	34.12	275	СХ	N, E	16000	0.20–0.80	60
								Z	10000	0.20–0.80	60
							СХ КПЧ	N	540	0.05–0.8	360
								E	540	0.05–0.8	360
								Z	570	0.05–0.8	360
							СД-1	N, E	700	20–50	15
	Z	1000	20–50	15							
	СД-1 КПЧ	N, E, Z	50	20–50	7.5						
4	Севастополь	SEV Свс	28.06.1928	44.54	33.68	42	СКМ-3	N, E, Z	20000	0.10–0.70	60
5	Алушта	ALU Алш	03.10.1951	44.68	34.40	61	СХ	N	20000	0.20–0.50	60
							СГКМ-3	E	20000	0.20–0.50	60
							СХ	Z	20000	0.20–0.50	60
							СХ КПЧ	N	1000	0.10–0.50	120
		E	2000	0.20–0.40	120						
		Z	1000	0.20–0.50	120						
6	Судак	SDK Суд	18.10.1988	44.89	35.00	108	СКМ-3	N	20000	0.19–0.55	60
								E, Z	20000	0.15–0.55	60
							СКМ-3 КПЧ	N	1000	0.15–0.55	360
		E, Z	1000	0.15–0.55	360						
7	Керчь	Кер	19.05.1997	45.31	36.46	50	УСФ	N, E	5000	0.10–0.80	60
								Z	5000	0.10–0.60	60

В 2005 г. в пределах условных границ Крымско-Черноморского региона с координатами узловых точек: 1. $\varphi=42^\circ, \lambda=30^\circ$; 2. $\varphi=47^\circ, \lambda=30^\circ$; 3. $\varphi=47^\circ, \lambda=40^\circ$; 4. $\varphi=45^\circ, \lambda=40^\circ$; 5. $\varphi=45^\circ, \lambda=38^\circ$; 6. $\varphi=42^\circ, \lambda=38^\circ$ сетью Крымских станций зарегистрировано 29 землетрясений с энергетическими

классами $K_{II}=5.1-11.7$. Для всех землетрясений определены координаты гипоцентра. Основные параметры землетрясений приведены в [4], а эпицентры землетрясений показаны на рис. 1.

Таблица 2. Данные об аппаратуре цифровых станций Крыма в 2005 г.

Название станции	Тип АЦП и сейсмометра	Перечень каналов	Частотный диапазон, Гц	Частота опроса данных, Гц	Эффективная разрядность АЦП	Чувствительность, велосигграф – отсчет/(м/с)
Симферополь	SDAS+СКД	ВН (N, E, Z) v	0.01–4	20	16	$2.5 \cdot 10^8$
	SDAS+СМ-3	ЕН (N, E, Z) v	0.1–20	100	16	$1.9 \cdot 10^9$
Ялта	SDAS+СКД	ВН (N, E, Z) v	0.015–4	20	16	$3.3 \cdot 10^9$
	SDAS+СМ-3	ЕН (N, E, Z) v	0.2–20	100	16	$3.1 \cdot 10^9$

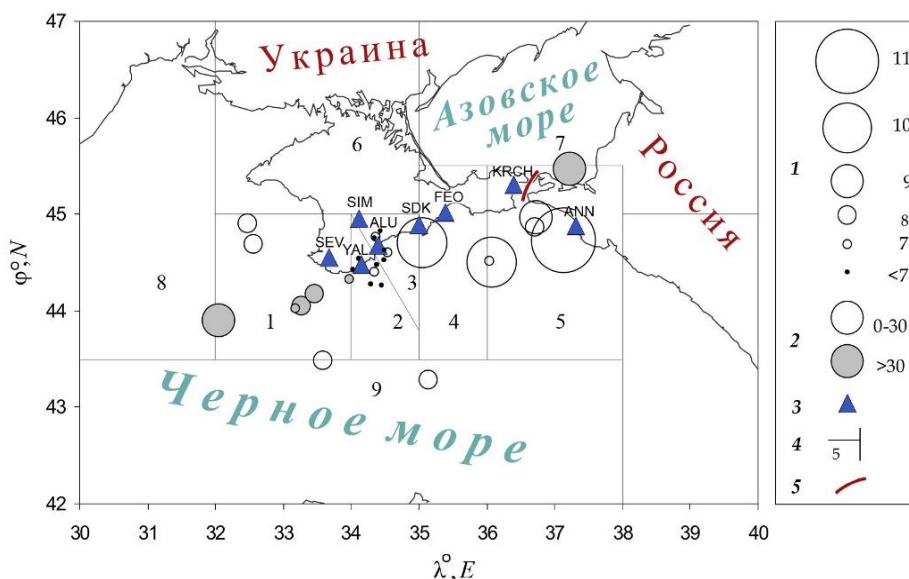


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Крымского региона за 2005 г.

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

Развертка во времени высвобожденной в очаге каждого из 29 землетрясений энергии (в логарифмическом масштабе) показана на рис. 2. Как видим, 20 землетрясений произошли с января по май, остальные восемь – в августе–декабре, а летние месяцы (июнь и июль) были без землетрясений.

Распределение числа землетрясений и суммарной выделившейся энергии по девяти районам региона за 2005 г. представлено в табл. 3.

Суммарная энергия в 2005 г. составила по всему региону $\Sigma E=5.19 \cdot 10^{11}$ Дж, но основной вклад в эту сумму – от землетрясения 13 марта в 01^h31^m с $K_{II}=11.7$, в очаге которого высвобожденная энергия равна $E=5.01 \cdot 10^{11}$ Дж, или 97.7% от годовой энергии региона.

Сравнение годовых значений числа землетрясений и величины высвобожденной в их очагах сейсмической энергии за весь период выпусков сборников «Землетрясения Северной Евразии», начиная с 1992 г., дано в табл. 4.

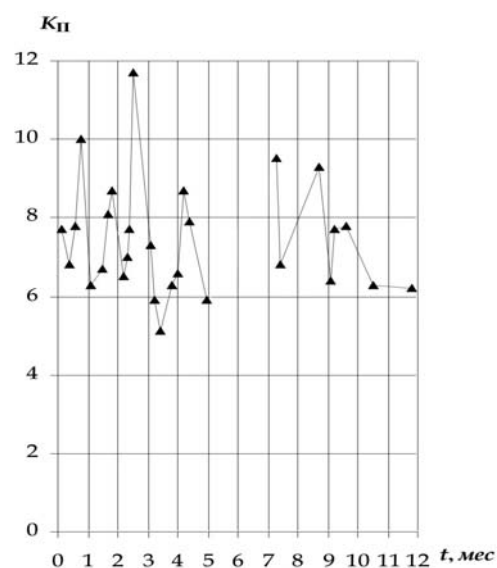


Рис. 2. Развертка во времени землетрясений за 2005 г.

Таблица 3. Распределение $N(K_{II})$ и сейсмической энергии ΣE по районам за 2005 г.

№	Район	K_{II}								N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^9 Дж	
		5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Севастопольский			2	4	1					7	$7.016 \cdot 10^8$
2	Ялтинский	1	4	1							6	$1.979 \cdot 10^7$
3	Алуштинский		4	2							6	$3.013 \cdot 10^7$
4	Судакский						1				1	$1.000 \cdot 10^{10}$
5	Керченско-Анапский			1	1	3				1	6	$5.070 \cdot 10^{11}$
6	Степной Крым											0
7	Азово-Кубанский											0
8	Северо-Западный											0
9	Черноморская впадина				2						2	$1.425 \cdot 10^8$
10	Вне границ региона					1					1	$1.259 \cdot 10^9$
	Всего	1	8	6	7	5	1	0	1	29	$5.191 \cdot 10^{11}$	

Таблица 4. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_{II} и суммарная сейсмическая энергия ΣE Крыма за 1992–2005 гг.

Год	K_{II}										N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^9 Дж	
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1992		3	15	15	17	14	6	4	2			76	1861.72
1993	1	5	11	9	6	6	2					40	21.109
1994	23	22	13	5	13	4						81	4.345
1995	4	4	12	13	9	2		1				45	42.326
1996		5	8	12	16	5	3					49	33.904
1997		1	7	8	5	5	5	1	2			31	904.407
1998		1	15	28	13	11	7	3	1			79	1310.927
1999		3	6	7	12	10	4	3				45	321.38
2000	3	2	13	8	6	4	2	1				39	66.109
2001	2	6	22	14	8	8	3	4				65	482.53
2002	1	7	9	10	4	6				1		38	10006.063
2003	1	11	16	11	15	5	2	1				62	46.293
2004		3	16	12	9	7	2	1				50	57.202
Среднее	2.69	5.61	12.54	11.69	10.23	6.69	2.77	1.46	0.38	0.08		53.85	1166.024
2005		1	7	7	7	3	2		1			28	519.131

Примечание. Данные за 1992–2003 г. приведены из [5].

Как следует из табл. 4, уровень сейсмической активности по числу землетрясений в 2005 г., равный $N_{\Sigma}=28$, самый низкий за 14 лет и примерно в два раза ниже соответствующих чисел N_{Σ} в 2003 и 2004 гг., хотя по величине суммарной энергии ситуация обратная, т.к. суммарная энергия в 2005 г. на порядок выше суммарной энергии в 2003 и 2004 гг. Правда, в сравнении со средним значением энергии за предыдущие 13 лет, видим уменьшение ΣE почти в два раза.

Еще более длинный временной ряд годовых значений сум-

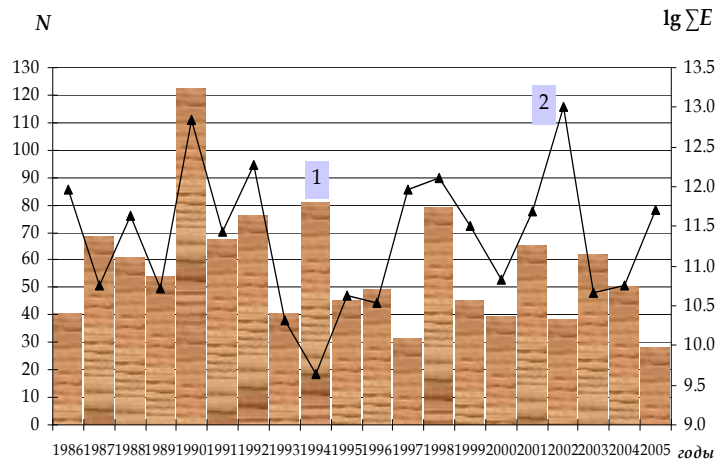


Рис. 3. Распределение числа землетрясений N (1) и логарифма суммарной выделившейся энергии ΣE (2) по годам за 20 лет

марного числа землетрясений и сейсмической энергии, начиная с 1986 г., изображен графически на рис. 3, но основной вывод об абсолютном минимуме числа землетрясений в регионе не изменился.

На рис. 3 четко просматриваются два основных максимума величины высвободившейся энергии в 1990 и 2002 гг., а максимальное число землетрясений отмечено в 1990 г. Двенадцатилетний промежуток времени между максимумами выделения энергии связан, возможно, с циклами солнечной активности. Однако для надежных выводов необходим более длинный ряд наблюдений, т.к. временные флуктуации сильных землетрясений зависят от многих факторов.

В связи с сохранявшимся в течение последних трех лет низким уровнем сейсмической активности в регионе (табл. 4) определенный интерес представляет рассмотрение миграции землетрясений с $K_{П} = 11.5-13.0$ в границах региона за последние 14 лет – с 1992 по 2005 гг. (рис. 4). Список землетрясений дан в табл. 5.

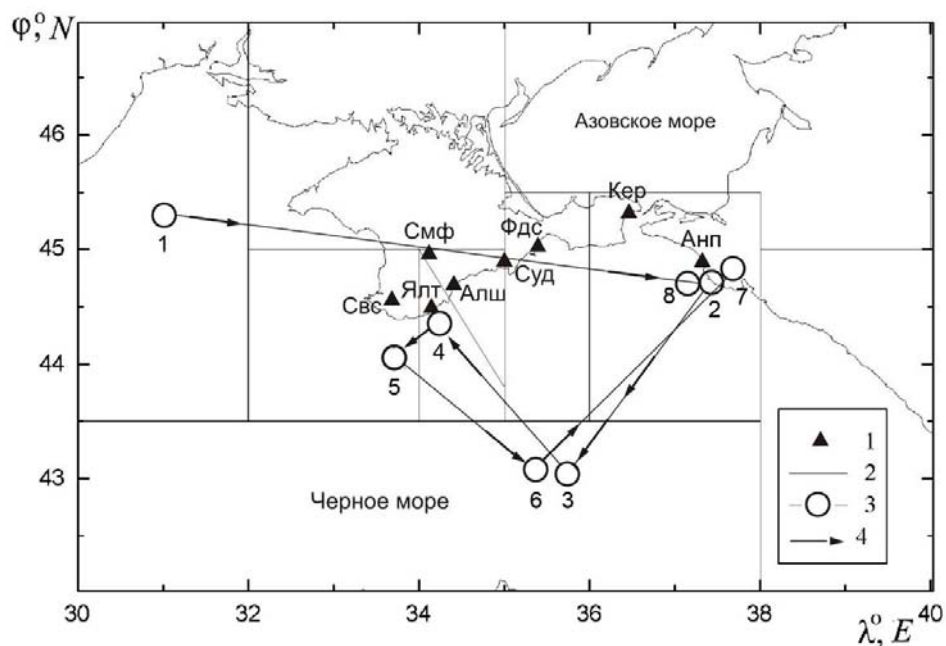


Рис. 4. Схема миграции очагов землетрясений с $K_{П} \geq 11.5$ за 1992–2005 гг.

1 – сейсмическая станция; 2 – граница районов; 3 – очаг землетрясения; 4 – направление миграции.

Таблица 5. Список землетрясений с $K_{П} \geq 11.5$, использованных для построения схемы последовательной миграции очагов землетрясений в пространстве

№	Год	Дата	φ°, N	λ°, E	$h, км$	Район	$K_{П}$
1	1992	29.03	45.30	31.00	33	8	11.5
2	1992	27.08	44.72	37.44	24	5	12.0
3	1997	09.06	43.03	35.73	33	9	11.7
4	1997	19.10	44.34	34.22	29	2	11.5
5	1998	18.10	44.05	33.69	22	1	12.0
6	2001	04.03	43.06	35.37	20	9	11.6
7	2002	09.11	44.82	37.70	29	5	13.0
8	2005	13.03	44.72	37.14	6	5	11.7

Землетрясение (1) зарегистрировано в Северо-Западном районе (№ 8), следующие события (2–5) произошли последовательно в треугольнике: Керченско-Анапский район (№ 5) – Черноморская впадина (№ 9) – Ялтинский (№ 2) и Севастопольский (№ 1) районы. Затем произошла миграция в обратном направлении (для землетрясений 6, 7, 8). Процесс миграции завершился землетрясением в Керченско-Анапском районе (№ 5). Логично предположить, что следующее землетрясение такого энергетического уровня произойдет в районах № 1 или № 8

(номера районов даны на карте рис. 1). Учитывая продолжительное семилетнее затишье в районе № 8 (рис. 6), вероятность появления именно в нем такого события выше, чем в районе № 1. Возможно, между Черноморской впадиной и прибрежными районами Крыма и Тамани имеется генетическая связь, которая проявляется в цикличности сейсмических процессов в Крымском сейсмоактивном регионе [6]. В предыдущих исследованиях рассматривалась миграция эпицентров наиболее сильных ($M > 5.5$) землетрясений вдоль Крымского и Таманского побережья за 1867–1970 гг. [7], эпицентров умеренных землетрясений ($M > 4$) – для всего Черноморского бассейна с 1949 по 2000 г., и, наконец, слабых толчков – в период афтершоковой активизации [6]. Показано, что явление миграции происходит на всех энергетических уровнях сейсмических процессов, что подтверждается и выводами данной работы.

Рассмотрим особенности проявления сейсмичности в 2005 г. по отдельным районам региона. В **Севастопольском районе (№ 1)** в 2005 г. зарегистрировано семь землетрясений с $K_{II}=6.6–8.7$ [4], из которых максимальное ($K_{II}=8.7$) реализовалось 7 мая в 21^h56^m на границе с Северо-Западным районом, а минимальное ($K_{II}=6.6$) – 30 апреля в 12^h00^m на границе с Ялтинским районом (рис. 1). Эпицентральные расстояния всех землетрясений от станции «Севастополь» в диапазоне 34–148 км.

Очень вялый сейсмический процесс наблюдался в центральной части региона, где обычно отмечается наибольшая плотность эпицентров землетрясений. В **Ялтинском и Алуштинском районах (№ 2 и № 3)** на расстояниях 7–35 км от береговой линии локализовано всего лишь по шесть землетрясений с $K_{II}=5.1–7.0$ и $K_{II}=5.9–7.3$ соответственно.

Значительное повышение высвободившейся энергии, по сравнению с таковой в 2004 г., отмечено в **Судакско-Феодосийском районе (№ 4)**. Здесь 24 января в 10^h39^m на расстоянии 22 км от берега зарегистрировано только одно землетрясение, но сравнительно высокого ($K_{II}=10.0$) энергетического класса. Его магнитуда по коде волн составила $M_c=3.2$ [4]. Это землетрясение вызвало сотрясения с интенсивностью $I=2–3$ балла в г. Судак (22 км) и 2 балла – в Алуште (52 км) [4].

Самый высокий уровень сейсмической активности по высвобожденной сейсмической энергии зафиксирован в 2005 г. в **Керченско-Анапском районе (№ 5)**. В этом районе зарегистрировано шесть сейсмических событий в диапазоне $K_{II}=6.8–11.7$, самое сильное из которых с $K_{II}=11.7$, упомянутое выше, произошло 13 марта в 01^h31^m в Черном море вблизи Кавказского побережья. Оно ощущалось в городах Анапа, Краснодар, Новороссийск, а также в Абинском и Славянском районах. Наибольшая интенсивность – $I=3–4$ балла – отмечена в г. Анапа (23 км) [8]. Кроме него, заметными являются еще три землетрясения, произошедшие 20 февраля в 02^h41^m с $K_{II}=8.7$, 10 августа в 18^h32^m с $K_{II}=9.5$ и 21 сентября в 19^h08^m с $K_{II}=9.3$ [4].

По данным международной сети станций для землетрясения 13 марта определены параметры механизма очага по методу тензора момента центроида [9]. В рамках обобщения данных о сейсмичности за 2005 г. собраны и проанализированы волновые формы землетрясения и по знакам первых вступлений продольных волн получено решение механизма очага [10] (табл. 6), согласующееся с данными по методу тензора момента центроида.

Таблица 6. Параметры механизма очага землетрясения 13 марта с $K_{II}=11.7$ в 01^h31^m из [10]

Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды		K_{II}	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
			M_w	M_s		T		N		P		$NP1$			$NP2$		
						PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$
13.03	01 31 22.6	6	4.6	4.1	11.7	8	346	20	78	69	235	54	41	-121	273	56	-66

В соответствии с этим решением в очаге по обеим нодальным плоскостям произошел сброс с незначительной сдвиговой составляющей под действием горизонтальных сил растяжения ($PL_T=8^\circ$). Одна нодальная плоскость ($NP1$) – северо-восточного простирания ($STK=54^\circ$), а другая ($NP2$) – широтная ($STK=273^\circ$) (рис. 5). Первая плоскость более пологая ($DP=41^\circ$), нежели $NP2$ ($DP=56^\circ$). При этом напряжения сжатия ориентированы в юго-западном направлении (азимут 235° , угол с горизонтом 69°), а напряжения растяжения – на север–северо-запад (азимут 346° , угол с горизонтом 8°).

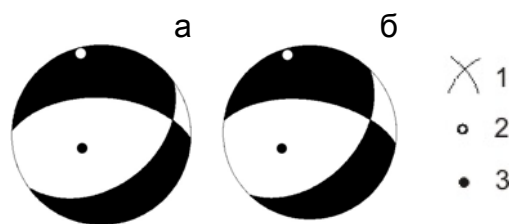


Рис. 5. Стереогаммы механизма очага землетрясения 13 марта 2005 г. с $K_{II}=11.7$

а – по знакам первых вступлений P -волн [10];
б – по методу тензора момента центра [9].

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; зачернена область волн сжатия.

Близширотная ориентация плоскости подвижки $NP2$ близка к простиранию разрыва в западном направлении с азимутом 260° [11], восстановленному по азимутальному годографу максимальной фазы колебаний продольных волн по методике [12]. Вероятно, именно с этой плоскостью подвижки связана основная дислокация в очаге – сброс с незначительным левосторонним сдвигом.

В **Черноморской впадине (район № 9)**, в соответствии с установленной ранее [2] закономерностью о противофазном выделении сейсмической энергии в районах № 5 и № 9, наблюдался резкий спад сейсмической активности. В этом районе было всего два землетрясения одинакового класса $K_{II}=7.9$, зарегистрированные 9 мая в 14^h40^m и 19 октября в 08^h31^m . Их суммарная энергия меньше среднегодовой в этом районе.

В остальных районах региона – **Степном Крыме (№ 6)**, **Азово-Кубанском (№ 7)**, **Северо-Западном (№ 8)** – сейсмические события в 2005 г. не зарегистрированы.

На рис. 6 показаны графики изменения по годам высвободившейся сейсмической энергии в отдельных районах региона с 1986 по 2005 г.

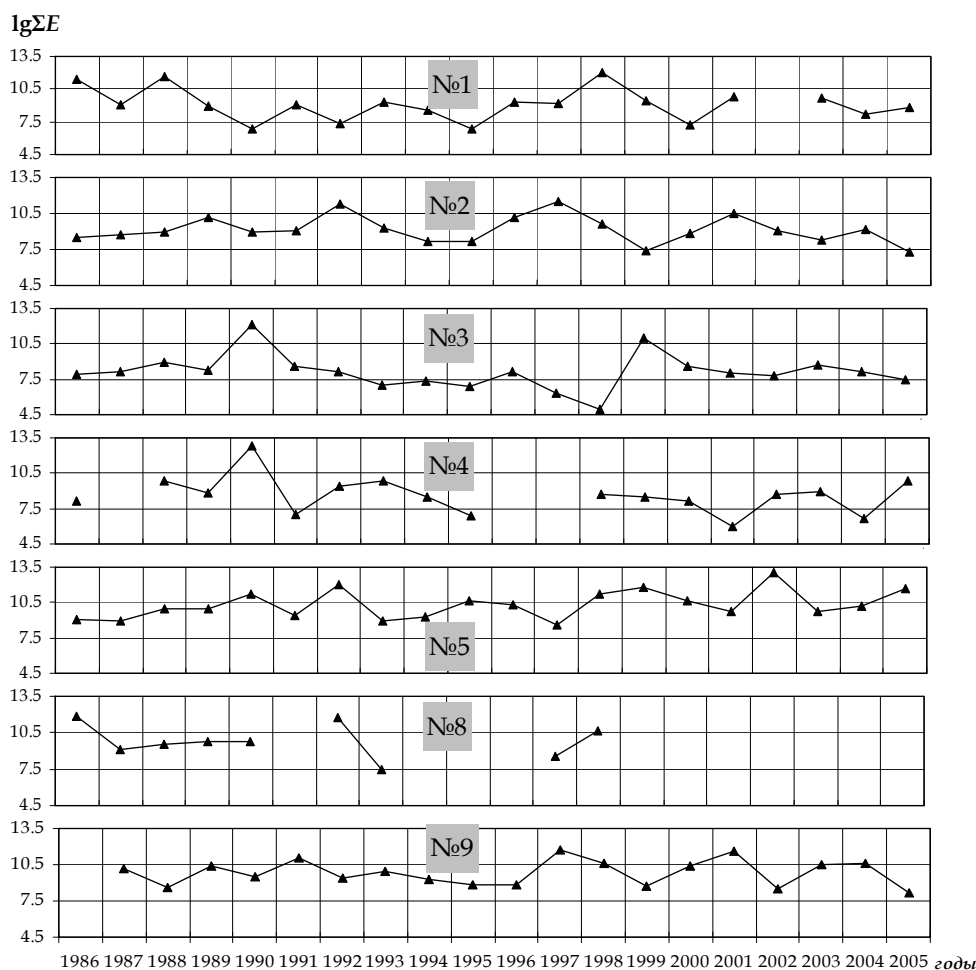


Рис. 6. Распределение логарифма суммарной выделившейся энергии ΣE по годам за 20 лет для основных районов Крымского региона

Ранее [2, 13], сопоставляя суммарную выделившуюся энергию по районам региона (рис. 6), был сделан вывод о связи между процессами в Керченско-Анапском районе и Черноморской впадине. Как оказалось, процесс этот сложнее и в нем участвуют также Южнобережные районы Крыма.

Л и т е р а т у р а

1. 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.
2. 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.
3. Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А. Крым // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 66–70.
4. Свидлова В.А., Сыкчина З.Н., Козиненко Н.М. (отв. сост.). Каталог землетрясений Крыма за 2005 год ($N=29$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
5. Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А. Крым // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 52–57.
6. Пустовитенко Б.Г. Сейсмические процессы в Черноморском регионе и сейсмическая опасность Крыма // Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – Киев, 2003.
7. Пустовитенко Б.Г., Каменобродский А.Г. Некоторые закономерности миграции очагов землетрясений Крыма за последние 100 лет // Геофизический сборник. – 1975. – Вып. 65. – С. 81–86.
8. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2005 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2005–2006.
9. International Seismological Centre. On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk/bull>, ISC, Thatcham, United Kingdom, 2005.
10. Пустовитенко А.А. (отв. сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Крыма за 2005 год ($N=1$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
11. Пустовитенко Б.Г., Пустовитенко А.А., Капитанова С.А. Экспериментальные данные о процессах в очагах Черноморских землетрясений // Сейсмологический бюллетень Украины за 2005 год. – Симферополь: ОС ИГ НАНУ, 2007. – С. 152–163.
12. Горбунова И.В., Бойчук А.Н., Доцев Н.И., Кальметьева З.А., Капитанова С.А., Кучай О.А., Михайлова Н.Н., Пустовитенко Б.Г., Симбирёва И.Г., Товмасын А.К. Интерпретация очаговых волн на записях землетрясений. – М.: Наука, 1992. – 130 с.
13. Пустовитенко А.Н., Свидлова В.А. Крым // Землетрясения Северной Евразии, 2002. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 73–79.