

РАЗДЕЛ 4. ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ

УДК 550.348.435

СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМА В 2022 ГОДУ

Калинюк И. В.¹, Свидлова В. А.¹, Бондарь М. Н.^{1,2}, Бойко В. А.^{1,2}

¹Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Российская Федерация.

²ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», Симферополь, Российская Федерация.

E-mail: ¹epicrimea@mail.ru

Сейсмические наблюдения в Крыму выполнялись сетью из 10 станций. На основе материалов наблюдений описаны особенности сейсмичности Крымско-Черноморского региона в 2022 г. Приведены: карты представительной регистрации землетрясений и эпицентров; каталог, таблицы и графики распределения числа землетрясений и энергетических параметров по годам и районам, классам, глубинам региона. В 2022 г. наблюдалась активизация сейсмических процессов региона. Всего за год локализовано 73 землетрясения. Суммарная выделенная сейсмическая энергия $\Sigma E = 1236.1641 \cdot 10^9$ Дж возросла в 25.5 раз относительно подобной в 2021 г. Два землетрясения с $K_{II} = 10.6$ и с $K_{II} = 11.3$ вызвали сотрясения в населенных пунктах Кавказского побережья интенсивностью $I_{max} \sim 3-4$ балла по шкале MSK64. Очаг самого сильного землетрясения с $K_{II} = 12.0$ – в Черноморской впадине.

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмическая станция, эпицентр, гипоцентр, энергетический класс.

ВВЕДЕНИЕ

Инструментальный мониторинг сейсмических процессов в сейсмоопасном Крымско-Черноморском регионе осуществляется с 1928 года. В 2022 году инструментальные наблюдения выполнялись сетью из десяти сейсмических станций. Из них семь – это станции геофизической обсерватории Института сейсмологии и геодинамики КФУ: «Симферополь» (SIM), «Севастополь» (SEV), «Ялта» (YAL), «Алушта» (ALU), «Судак» (SUDU), «Феодосия» (FEO), «Керчь» (KERU).

Три удаленных пункта: «TARU», «DNZ2», «OPUK» принадлежат ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства» (ГАУ «КРЦ»). Наблюдения на пункте «Тарханкут» (TARU) прекращены 6 мая 2022 года в связи с неисправностью регистратора.

В рамках соглашения, действовавшего до 1 октября, техническое обслуживание и первичная обработка материалов наблюдения на станциях ГАУ «КРЦ» проводилось совместно с Институтом сейсмологии и геодинамики КФУ имени В.И. Вернадского.

1. СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ

Расположение сейсмических станций показано на рис. 1. Общие сведения о станциях приведены в таблице 1.

СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМА В 2022 ГОДУ

Параметры регистрирующей аппаратуры сейсмических станций региона представлены в таблицах 2 и 3.

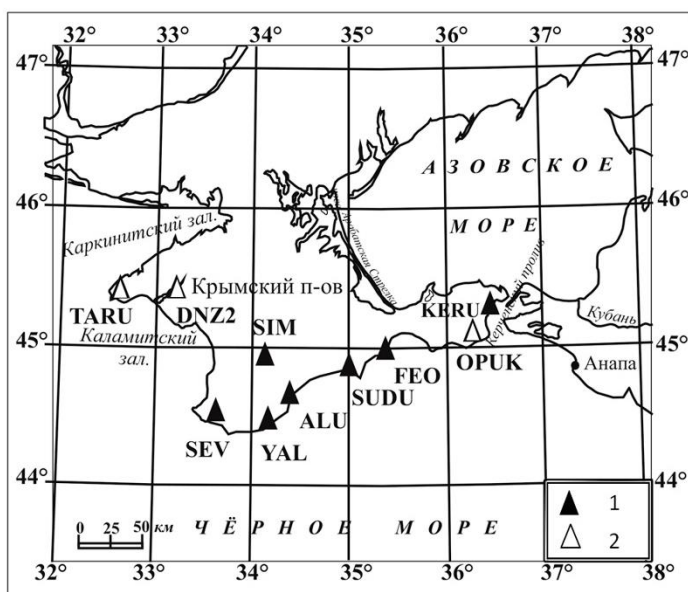


Рис. 1. Сейсмические станции Крыма в 2022 г.
1 – станция обсерватории «КФУ», 2 – станция ГАУ «КРЦ».

Таблица 1.

Сейсмические станции Крыма (в хронологии их открытия), работавшие в 2022 г.

№	Станция		Дата открытия	Начало цифровой регистрации	Координаты			Подпочва
	Название	Код межд. рег.			φ°, N	λ°, E	h _y , м	
1	«Феодосия»	FEO Фдс	11.10.1927	13.09.2006	45.02	35.39	40.0	мергелистая глина
2	«Ялта»	YAL Ялт	13.03.1928	05.07.2000	44.48946	34.15337	23.6	шиферные сланцы
3	«Симферополь»	SIM Смф	14.05.1928	25.06.2000	44.9494	34.1161	275.0	нуммулитовый известняк
4	«Севастополь»	SEV Свс	28.06.1928	20.08.2006	44.54499	33.6792	42.0	суглинки
5	«Алушта»	ALU Алш	03.10.1951	12.07.2006	44.68	34.40	61	глинистые сланцы
6	«Судак»	SUDU Суд	18.10.1988	15.10.2006	44.8883	34.9967	108.0	глинистые сланцы
7	«Керчь»	KERU Кер	19.05.1997	07.03.2007	45.3051	36.4532	70.2	мшанковый известняк
8	«Тарханкут»	TARU TARU	11.07.2012	11.07.2012	45.3678	32.5321	10	известняк
9	«Донузлав»	DNZ2 Днз2	26.07.2019	26.07.2018	45.3747	33.2144	56	известняк
10	«Опук»	OPUK OPUK	19.05.2021	19.05.2021	45.1159	26.243	80	мшанковый известняк

Все сейсмические станции Крыма оборудованы цифровой регистрирующей аппаратурой с различными техническими характеристиками.

На региональных станциях «Севастополь» – SEV, «Алушта» – ALU, «Судак» – SUDU, «Феодосия» – FEO продолжают регистрацию 12-разрядные ЦСС MSP (табл. 2).

Таблица 2.

Основные параметры ЦСС MSP КФУ (сеть CFUSG) в 2022 г.

Станция	Тип Датчика	Группа каналов (каналы)	Частотный диапазон, Гц	Частота квантования, Гц	Разрядность АЦП	Амплитудный динамический диапазон	Дата начала регистрации
«Севастополь»	СКМ-3	(N, E, Z)	0.2–10	64	12	70	20.08.2006 г.
«Судак»	СКМ-3	(N, E, Z)	0.2–10	64	12	70	15.10.2006 г.
«Алушта»	СКМ-3	(N, E, Z)	0.2–10	64	12	70	12.07.2006 г.
«Феодосия»	ВЭГИК СКМ-3	(N, E) (Z)	0.2–10 0.2–10	64 64	12 12	70 70	03.09.2006 г.

Семь станций Крыма оборудованы широкополосной аппаратурой с большим динамическим диапазоном – ЦСС «Байкал-8» [1], параметры которых приведены в табл. 3, 4. Эксплуатация этих станций позволяет выполнять сбор сейсмических данных в режиме онлайн. Соответственно срочная сводная обработка землетрясений региона осуществляется в режиме, близком к реальному времени.

Таблица 3.

Основные параметры цифровых сейсмических станций «БАЙКАЛ-8» КФУ (сеть CFUSG) в 2022 г.

Станция/код межд./код рег.	Тип датчика	Каналы	Частотный диапазон, Гц/ Частота квантования, Гц	Динамический диапазон, дБ/ Разрядность АЦП, бит	Чувствительность, 10 ⁶ отсч. *с/м	Дата начала регистрации
1	2	3	4	5	6	7
«Севастополь» / SEV/ SE1	CX	EHZ	1.0 – 20/100	132/24	8623	21.06. 2016
		EHN			8680	
		EHE			11594	
«Симферополь» / SIM / SIM	CM-3	EHZ	0.6 – 30/100		17547	1.04. 2016
		EHN			19894	
		EHE			19085	
«Ялта» /YAL/YAL	CX	EHZ	1.0 – 20/100		7778	13.04. 2016
		EHN			6090	
		EHE			5877	
«Керчь» /KERU/KERU	CM-3	EHZ	0.6 – 30/100		11779	22.05. 2019
		EHN			11140	
		EHE			10565	

Таблица 4.

Основные параметры цифровых сейсмических станций «БАЙКАЛ-8»
ГАОУ «КРЦ» в 2022 г.

Станция/код межд./код рег.	Тип датчика	Каналы	Частотный диапазон, Гц/ Частота квантования, Гц	Динамический диапазон, дБ/ Разрядность АЦП, бит	Чувстви- тельность, 10 ⁶ отсч. *с/м	Дата начала регистрации
1	2	3	4	5	6	7
«Тарханкут» /TARU/TARU	СМ-3	ЕНЗ	0.6 – 30/100	132/24	3572	21.06. 2016
		ЕНН			5314	
		ЕНЕ			6373	
«Донузлав» /DNZ2/DNZ2	СМ-3	ЕНЗ	0.6– 30/100		7291	26.07. 2018
		ЕНН			6252	
		ЕНЕ			7230	
«Опук» /OPUK/OPUK	СМ-3	ЕНН	0.6 – 30/100		16766	19.05. 2021
		ЕНЕ			17787	
		ЕНЕ			23234	

2. АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Чувствительность сети Крыма в целом не изменилась. На рисунке 2 показаны контуры представительной регистрации от $K_{\min}=6$ до $K_{\min}=9$ на территории региона.

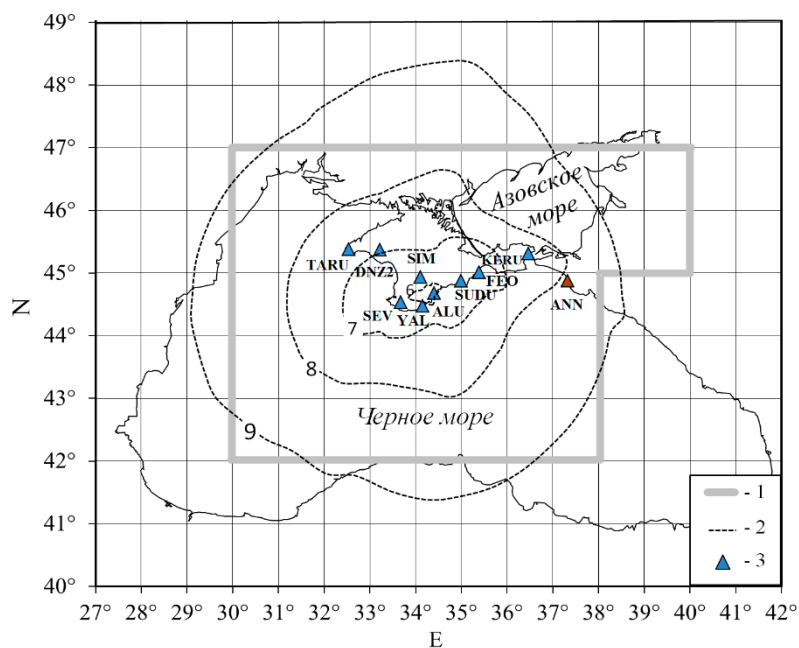


Рис. 2. Карта энергетической представительности землетрясений в изолиниях K_{\min} : 1 — граница региона; 2 — изолинии K_{\min} ; 3 — сейсмическая станция.

Конфигурация изолиний такая же, как и в 2021 году [2]. По-прежнему практически для всего региона возможна регистрация без пропусков землетрясений с $K_{II}=9.0$ (по региональной классификации [3]). Изолиния $K_{min}=8$ покрывает всю территорию Крымского п-ова и Таманский п-ов. На локальном участке территории региона сеть Крыма регистрирует без пропуска землетрясения на уровне $K_{II}=6$.

В расчеты изолиний пока не входят данные станции «Опук». К сожалению, из двадцати одного зарегистрированных крымских землетрясений на станции «Опук» за 2021–2022 годы, только пять с записью полной волновой картины, которые можно использовать для уточнения границ надежной регистрации.

На рисунке 3 представлена гистограмма, отражающая вклад каждой станции в результаты инструментальных сейсмических наблюдений, обусловленный не только аппаратурными регистрационными возможностями, но и расположением станции относительно очаговых зон региона, сейсмоактивных в описываемом году.

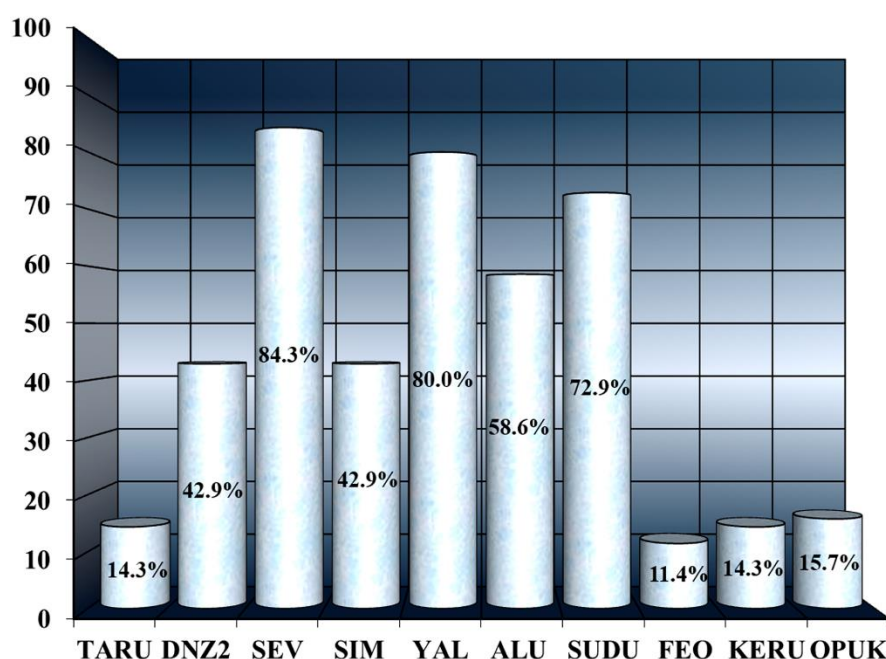


Рис. 3. Количество землетрясений (в %), зарегистрированных станциями от общего числа землетрясений Крыма за 2022 г.

Наиболее эффективными станциями были в 2022 году стационарные станции «Севастополь», «Ялта», «Судак». Относительный коэффициент участия станции «Тарханкут» снизился из-за прекращения регистрации на пункте 6 мая 2022 года вследствие выхода из строя регистратора «Байкал».

Методика. Первичная интерпретация полученных цифровых материалов наблюдений по-прежнему выполняется с использованием программного комплекса

WSG [4] на всех сейсмических станциях. При сводной обработке, расчеты основных кинематических параметров выполняются в региональной программе GIPO последней версии [5, 6].

Оценка динамических параметров сейсмических волн землетрясений дана по материалам регистрации каждой цифровой станции. Методика их определения в основном не изменилась [3, 7, 8, 9].

Как обычно, при расчетах гипоцентров использованы данные из бюллетеня станции «Анапа» (ANN). Отдельные цифровые записи землетрясений станциями Северного Кавказа скачивались через удаленный доступ и обрабатывались самостоятельно.

Дополнительно привлекались времена вступлений сейсмических волн, взятых из электронного оперативного каталога EMSC [10], из них на станциях России: GLDR, GOYR, SUKR, TMNR, SPGR, SOC — для некоторых землетрясений Керченско-Анапского района; на станциях Северной Турции: KDZE, BTIN, ISK, ERBA, HAVZ, SAMS, KURC — для землетрясений Черноморской впадины; на станциях Румынии: TIRR — для землетрясения Северо-Западного района региона.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

В 2022 году в Крымско-Черноморском регионе в пределах условных границ ($\varphi=42^{\circ}-47^{\circ}N$, $\lambda=30^{\circ}-40^{\circ}E$) (см. рис. 5) зарегистрировано 73 землетрясения, для которых определены координаты гипоцентров.

По материалам сводной обработки полученной сейсмологической информации составлен региональный каталог, приведенный в таблице 5. Подробные данные о всех сейсмических событиях могут быть представлены заинтересованным организациям по запросу.

Таблица 5.

Каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2022 г.

З. Н. Сыкчина, Н. М. Козиненко, М. Н. Бондарь (отв. составители), Г. П. Антонюк, В. А. Антонюк, И. В. Курьянова, Ж. В. Лукьянова, В. А. Подвицнев

Время возникновения землетрясения, t_0						Координаты эпицентра			Глубина очага		Энергетический класс					Район	Магнитуда		
месяц	число	час	мин	сек	δt_0	$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}N$	$\delta\varphi, \delta\lambda$	$h, км$	$\delta h, км$	$K_T [2]$	δK	n	KD	n		$M_c [8]$	MSH	MD
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	9	16	55	40.5	0.5	44.26	34.30	0.04	23	12	5.8	0.4	4	6.6	2	2		1.8	
	16	11	11	48.8	0.2	44.55	36.65	0.05	5	1	7.3	0.2	4	7.6	1	5		1.8	
	17	3	31	8.3	0.2	44.25	34.30	0.01	24	1	7.4	0.5	6	7.5	3	2			
	19	11	52	5.1	0.5	44.34	34.02	0.02	24	1	6.5	0.1	3	6.5	2	2		1.5	
	20	20	48	32.3	0.2	42.12	30.69	0.05	41	3	7.5	0.3	4	8.3	1	9		2.2	
	21	18	11	30.7	0.1	44.67	37.52	0.04	31	3	8.0	0.4	5	8.6	2	5		2.5	
	23	15	19	28.7	0.2	44.66	37.45	0.03	30	3	7.4	0.4	5	7.4	1	5		2.0	

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	5	20	12	28.1	0.6	44.78	34.32	0.05	18	3	5.4	0.1	5	5.5	4	3			
	6	1	6	40.3	0.5	46.39	35.91	0.05	5	3	7.2	0.4	6	7.7	3	7		2.1	
	8	5	16	55.1	0.2	44.63	37.06	0.03	36	2	8.2	0.5	6	8.3	2	5		2.4	
	12	22	33	54.5	0.2	44.63	37.29	0.01	40	5	7.5	0.2	6	7.9	6	5		2.1	
	25	19	30	18.4	0.2	45.01	31.59	0.07	7	6	7.4	0.3	6	8.2	6	8		2.0	
3	2	13	9	27.7	0.3	44.38	34.35	0.05	29	5	8.3	0.3	8	7.4	8	2		2.4	
	7	3	20	11.2	0.5	44.61	36.83	0.05	5	3	6.9	0.2	8			5			
	8	5	29	38.4	0.5	44.61	34.47	0.03	18	5	6.7	0.2	7	6.7	5	3			
	8	6	27	4.7	0.5	44.61	34.47	0.03	18	5	5.8	0.5	1	4.9	1	3			
	8	6	43	56.5	0.5	44.61	34.47	0.03	18	5	5.5	0.5	1	4.9	1	3			
	8	13	33	15.3	0.3	44.65	34.49	0.04	9	5	6.1	0.4	4	5.8	2	3			
	8	13	36	51.3	0.3	44.60	34.51	0.02	8	3	7.1	0.2	8	7.2	5	3			
	9	8	2	16.7	0.4	44.76	34.34	0.02	19	2	6.4	0.2	4	5.4	4	3			
	9	18	15	53.0	0.2	43.63	34.36	0.05	25	5	6.2	0.2	3	6.9	1	2			
	13	12	0.7	46.9	0.5	44.53	34.19	0.02	13	1	6.0	0.1	2			2			
	13	12	0.7	47.9	0.1	44.53	34.19	0.02	13	1	7.6	0.4	7	7.9	7	2		1.8	
	13	12	34	6.4	0.5	44.53	34.19	0.02	13	1	4.6	0.3	2	5.1	2	2			
	13	13	42	14.6	0.5	44.53	34.19	0.02	13	1	4.3	0.5	1	4.3	1	2			
	14	22	12	15.2	0.5	44.53	34.19	0.02	13	1	3.9	0.5	1			2			
	28	19	9	11.8	0.2	44.71	36.79	0.04	6	3	7.3	0.1	6	8.2	2	5		1.9	
	31	17	51	53.5	0.2	42.47	35.71	0.03	11	3	7.7	0.6	5	8.5	1	9		2.2	
4	5	6	56	7.2	0.5	44.62	37.47	0.05	28	5	7.1	0.2	4			5			
	11	17	38	42.7	0.5	42.25	31.35	0.10	23	5	12.0	0.5	9			9	3.8	4.6	4.5
	15	17	3	13.2	0.2	44.64	34.58	0.02	6	2	6.5	0.2	5			3			
	20	2	46	55.5	0.6	44.49	34.08	0.07	14	4	6.3	0.6	3	6.0	2	2			
	20	2	47	8.9	0.6	44.49	34.08	0.07	14	4	4.7	0.1	2	4.3	1	2			
	20	21	51	18.5	0.6	44.45	34.05	0.04	6	5	4.7	0.4	3	4.9	2	2			
	24	4	28	12.8	0.5	44.55	34.55	0.06	10	10	3.7	0.5	1	4.4	1	3			
5	5	21	50	17.8	0.5	44.21	34.23	0.02	12	8	5.2	0.2	3	5.7	3	2			
	12	1	37	6.5	0.2	44.24	34.14	0.01	23	1	5.6	0.3	4			2			
	14	15	43	15.0	0.1	44.25	33.14	0.01	36	1	7.4	0.7	6	7.2	5	1			
	22	16	53	15.9	0.2	44.58	36.27	0.03	11	3	7.2	0.3	6	7.6	5	5			
	28	1	8	35.3	0.6	44.38	34.07	0.04	10	5	5.5	0.3	2	5.5	2	2			
6	3	23	58	2.3	0.1	44.33	34.25	0.01	16	2	6.3	0.5	6	6.6	2	2			
	5	13	21	51.8	0.3	44.52	34.57	0.02	18	2	5.9	0.2	5	6.3	1	3			
	16	3	50	25.9	0.2	44.65	37.00	0.07	17	6	10.5	0.2	9	10.1	7	5		3.6	3.2
	16	12	22	43.0	0.2	44.64	37.01	0.04	19	1	9.1	0.3	7	9.0	4	5		2.9	2.9
	16	16	28	39.9	0.2	44.66	37.02	0.03	21	2	7.7	0.2	7	7.6	1	5		2.1	
	27	2	19	46.0	0.5	44.32	33.91	0.06	32	5	5.4	0.5	4	6.6	2	1			
7	4	4	20	39.6	0.2	44.78	36.47	0.04	21	3	8.5	0.3	9	8.7	4	5		2.6	2.7
	17	3	43	33.9	0.5	44.58	36.71	0.05	9	5	6.4	0.3	3			5			
	18	14	55	0.2	0.2	44.59	36.87	0.04	28	3	7.8	0.3	8	7.9	1	5		2.2	
	21	7	13	41.0	0.2	44.64	36.75	0.04	21	4	8.2	0.3	9	8.6	3	5		2.3	2.7
8	1	18	28	18.2	0.2	43.95	33.30	0.02	6	1	6.9	0.4	4	7.5	1	1			
	15	14	44	33.2	0.2	44.29	34.10	0.02	10	1	5.7	0.1	2	5.1	2	2			
	22	23	16	14.7	0.1	44.65	37.42	0.02	29	1	7.0	0.4	5	8.0	1	5			
	27	21	54	31.3	0.2	44.52	32.34	0.02	9	1	7.6	0.3	6	7.8	6	1		2.1	
9	1	5	14	17.7	0.2	45.20	38.11	0.07	38	6	8.2	0.5	4	8.2	3	7		2.6	
	2	10	11	33.9	0.2	44.55	34.53	0.05	16	1	6.7	0.4	2			3			
	2	10	11	35.0	0.2	44.58	34.56	0.03	20	3	8.4	0.3	6	8.3	5	3		2.4	
	10	15	12	33.0	0.2	44.38	37.56	0.04	5	3	8.4	0.3	7	8.0	1	5		2.6	
10	1	23	55	12.6	0.5	44.75	34.44	0.02	24	2	5.3	0.5	1			3			

СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМА В 2022 ГОДУ

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	2	9	39	58.6	0.1	44.75	34.44	0.02	24	2	6.7	0.3	5	6.6	5	3		1.5	
	2	9	45	11.1	0.2	44.75	34.40	0.01	22	1	6.7	0.2	5	6.5	5	3		1.6	
	2	12	35	27.6	0.2	44.75	34.38	0.01	19	1	5.7	0.2	5	5.9	2	3		1.6	
	10	22	57	13.6	0.3	44.36	34.39	0.03	28	2	9.0	0.5	6	8.6	5	2	2.4	2.7	2.7
	20	11	5	7.0	1.0	44.17	35.38	0.10	20	10	6.9	0.1	2	7.4	1	4			
11	8	0	35	30.4	0.2	44.18	32.88	0.03	34	1	7.0	0.8	5	7.5	4	1		1.7	
	18	6	18	18.1	0.2	44.40	34.58	0.02	39	1	6.7	0.2	3	6.0	2	3			
	21	5	20	34.5	0.2	44.72	32.54	0.02	8	1	8.0	0.4	6	8.2	3	1		2.1	
	25	21	35	49.7	0.5	44.47	34.20	0.03	17	2	5.6	0.3	3	5.5	2	2			
12	6	4	16	2.6	0.1	44.47	37.78	0.04	27	3	8.4	0.2	6	8.5	2	5		2.6	
	18	16	46	33.0	0.4	42.90	35.43	0.10	15	15	7.8	0.3	6	8.6	4	9		2.3	
	26	17	14	32.1	0.2	44.64	34.54	0.02	16	1	7.5	0.3	5	7.4	6	3			
	31	5	0	18.5	1.0	44.66	37.01	0.06	25	5	11.3	0.3	10	11.0	9	5	3.4	4.1	3.6
	31	10	7	6.4	0.2	44.62	37.04	0.03	20	2	7.8	0.3	7	8.6	2	5		2.1	

Примечание: n – число стационарных определений

Классификация землетрясений в основном каталоге выполнена по следующим энергетическим параметрам: энергетический класс K_{Π} [3], класс по длительности колебаний KD [7], магнитуда по коду M_c [8], MSH (ML_{WSG}), магнитуда по длительности MD [9].

Магнитуда MSH рассчитана в программе WSG [4] как локальная по максимальной амплитуде поперечной волны S . Диапазон энергетических классов равен $K_{\Pi}=3.7-12.0$, диапазон магнитуд — $M_c=2.4-3.8$, $MD=2.7-4.5$, $MSH=1.5-4.6$, соответственно.

Ощутимых землетрясений в 2022 году – два, в Керченско-Анапском районе № 5. Сотрясения от ощутимых землетрясений были зафиксированы в населенных пунктах Кавказского побережья Черного моря.

В таблице 6 приведены: число землетрясений за год N_{Σ} и суммарная, выделившаяся в очагах этих землетрясений сейсмическая энергия ΣE , а также энергетический уровень самого сильного землетрясения года K_{\max}

Таблица 6.

Распределение числа землетрясений и суммарной сейсмической энергии по годам за 2012–2022 гг.

Год	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Сред- нее	2022
K_{\max}	12	10	11	11	13	11	11	10	11	10		12
N_{Σ}	53	64	119	58	59	89	100	85	88	96	81	73
$\Sigma E, 10^9$ <i>Дж</i>	1288	53	191	149	13104	131	364	49	248	49	1563	1236

Общее число локализованных в 2022 г. землетрясений $N_{\Sigma}=73$. Это ниже, чем в предыдущем году [2], $N_{\Sigma}=96$ и меньше среднего значения, $N_{\text{ср}}=81$ за десятилетний период наблюдений (табл. 6). Но объем высвободившейся энергии в очагах этих землетрясений значительно возрос.

Суммарный объем сейсмической энергии составляет $\Sigma E=1236.1641 \cdot 10^9$ Дж — это в 25.5 раз больше годовой сейсмической энергии 2021 года ($\Sigma E=48.3975 \cdot 10^9$ Дж)

и приблизился к среднему уровню за предыдущие 10 лет – $\Sigma E_{\text{ср.}} = 1563 \cdot 10^9 \text{ Дж}$.

Временной ряд наблюдений за активностью сейсмических процессов в течение последних 11 лет проиллюстрирован на рисунке 4.

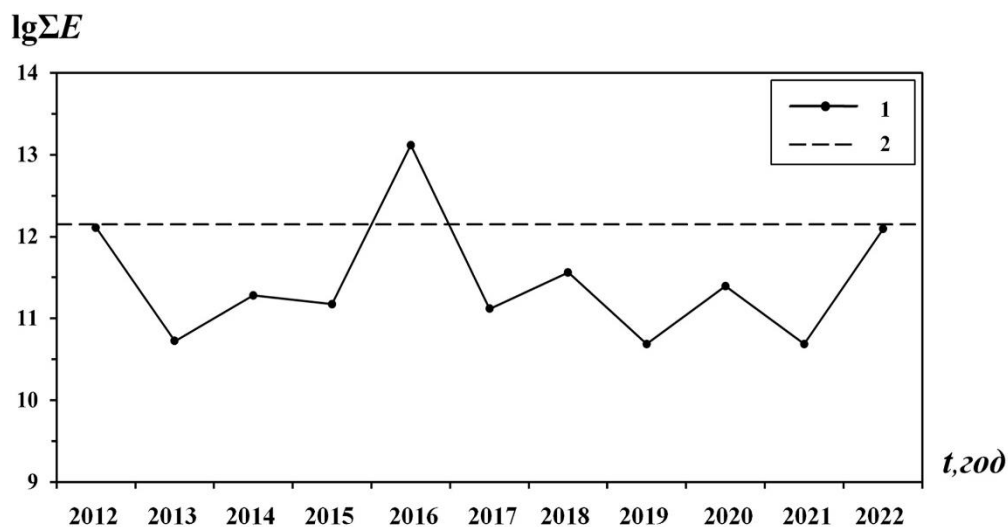


Рис. 4. Распределение суммарной выделенной энергии ΣE (1) в Крымско-Черноморском регионе за 2012–2022 годы. Среднее значение ΣE за исследуемый период — (2).

Как видно из рисунка, снижение сейсмической активности в течение пяти лет, после всплеска в 2016 г., сменилось на значительное повышение в 2022 г.

Пространственное распределение землетрясений (рис. 5), как и в предыдущем году, традиционно: наибольшая плотность эпицентров просматривается в центре региона — в Ялтинском (№2) и Алуштинском (№3) районах и в Керченско-Анапском районе (№5). Как обычно, преобладающее число эпицентров землетрясений сосредоточено в пределах морской акватории.

Распределение глубин залегания очагов землетрясений, как свойственно региону, – неравномерное (рис. 5). В районах с наибольшим числом толчков: Ялтинском, Алуштинском, Керченско-Анапском помимо землетрясений на средней глубине $h = 11–25 \text{ км}$, также присутствуют либо поверхностные землетрясения с $h \leq 10 \text{ км}$, либо относительно заглубленные с $h > 25 \text{ км}$.

В 2022 г. наибольшая сейсмическая активность наблюдалась в **Черноморской впадине** (район № 9). Максимум годовой сейсмической энергии ΣE , в основном обеспечен реализацией 11 апреля в 17 ч 38 мин землетрясения с $K_{\text{П}} = 12.0$ (табл. 5).

Явных форшоков и афтершоков нет. Помимо упомянутого землетрясения, в районе № 9 зарегистрировано еще три с $K_{\text{П}} = 7.5–7.8$ на глубинах $h = 11–41 \text{ км}$.

Как обычно, повышенной сейсмической активностью относительно других районов характеризуется **Керченско-Анапский район (№ 5)**, где зарегистрировано 21 землетрясение с $K_{\text{П}} = 6.5 – 11.3$. Количество высвободившейся энергии в очагах этих землетрясений $\Sigma E = 233.966 \text{ Дж}$, возросло на порядок относительно подобной в

СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМА В 2022 ГОДУ

2021 г. Это пятая часть от общего количества годовой сейсмической энергии. Очаги большинства землетрясений расположены в земной коре акватории Черного моря на глубинах в пределах от $h=5$ км до $h=40$ км.

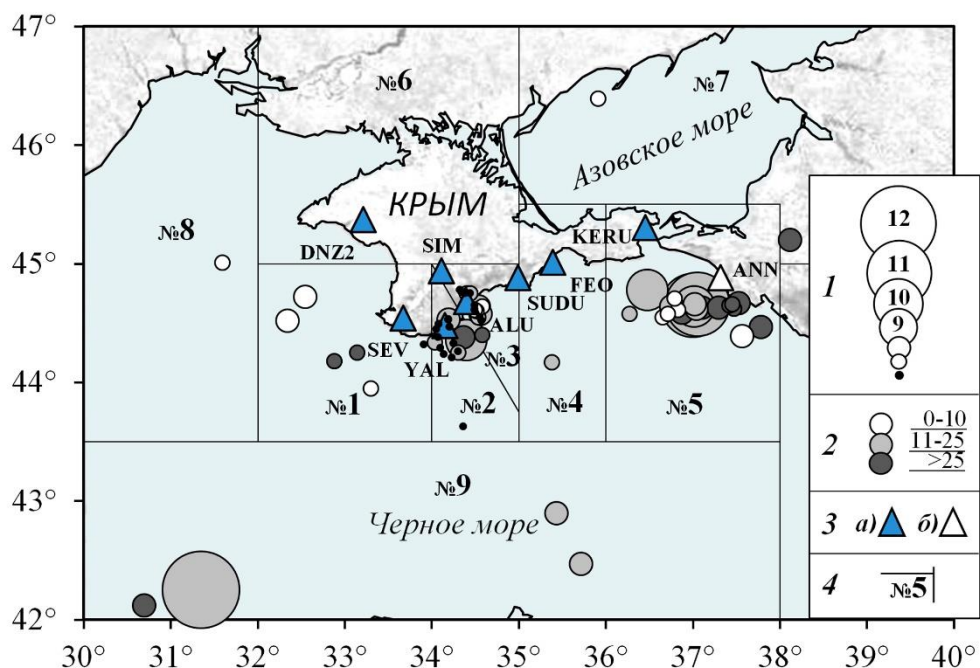


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Крыма в 2022 г. 1 — энергетический класс K_{II} ; 2 — глубина гипоцентра h , км; 3 — сейсмическая станция, а) Крымская сеть, б) сеть Северного Кавказа; 4 — граница и номер района соответственно.

Два землетрясения из одного очага в Черном море — ощутимые. Первое произошло 16 июня в 03 ч 50 мин 25.9 сек и второе — 31 декабря в 05 ч 00 мин 18.5 сек. Июньский толчок с $K_{II}=10.5$ и $MSH=3.6$ ощущался с интенсивностью сотрясений $I=2-3$ балла по шкале MSK64 [11] в городе Анапа и станице Анапская. Декабрьское землетрясение с $K_{II}=11.3$ и $MSH=4.1$ ощущалось с максимальной интенсивностью сотрясений $I=3-4$ балла в Анапе и селе Сукко, а интенсивностью $I=2-3$ балла — в Новороссийске, станице Анапская. Макросейсмические сведения переданы дежурными сейсмостанции «Анапа».

В Севастопольском районе (№ 1) в течение 2022 года зарегистрировано только шесть землетрясений с классами от $K_{II}=5.4$ до $K_{II}=8.0$. Суммарная выделившаяся энергия почти в сто раз меньше энергии 2021 г. [2]. Очаги всех землетрясений находятся в море. Половина из них — поверхностные на глубинах $h=6-9$ км, половина — относительно заглубленные с $h=32-36$ км. Эпицентры рассредоточены по всей площади района на расстояниях $\Delta =31-106$ км от станции «Севастополь».

В **Ялтинском** районе (№ 2) суммарная выделившаяся сейсмическая энергия и число землетрясений сохранились на уровне 2021 года. Здесь зарегистрировано 20 землетрясений с классами от $K_{II}=3.9$ до $K_{II}=9.0$. С 13 марта по 20 апреля отмечена серия землетрясений с эпицентрами на побережье вблизи сейсмостанции «Ялта»: $\Delta=6-10$ км, $K_{II}=3.9-7.6$, $h=6-14$ км. Затем в мае эпицентры землетрясений сместились на юго-восток в пограничную зону с Алуштинским районом (№ 3). Землетрясение максимального класса $K_{II}=9.0$ – не ощутимое, произошло 10 октября в 22 часа 57 мин. Его очаг располагался в 23 км юго-восточнее сейсмостанции «Ялта» на глубине $h=2$ км.

Небольшая сейсмическая активность наблюдалась в **Алуштинском** районе (№ 3), хотя и несколько выше, чем в предыдущем году, $\Sigma E=0.398469 \cdot 10^9$ Дж против $\Sigma E=0.078 \cdot 10^9$ Дж.[2]. Это энергия 18 землетрясений с $K_{II}=3.7-8.0$. Третья часть их эпицентров расположена на суше северо-восточнее станции «Алушта», на расстояниях $\Delta=8-13$ км. Очаги этих землетрясений – на средних глубинах $h=18-24$ км.

Минимальный уровень сейсмической энергии приходится на **Судакско-Феодосийский** район (№ 4), где зафиксировано одно землетрясение с $K_{II}=6.9$.

Также районы: **Азово-Кубанский** (№ 7) и **Северо-Западный** (№ 8) характеризуются слабой сейсмичностью. В восьмом районе отмечено одно землетрясение с $K_{II}=7.4$ при небольшой глубине $h=7$ км. Несколько больше энергия двух землетрясений седьмого района. Первое с $K_{II}=7.2$ и $h=5$ км произошло в западной части Азовского моря. Эпицентр второго с $K_{II}=8.2$ и $h=38$ км – в Нижней Кубани.

В районе Степной Крым (№ 6) — полное затишье.

Распределение числа землетрясений региона по районам и энергетическим классам в 2022 г. дано в табл. 7

Таблица 7.

Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_{II} и суммарная сейсмическая энергия ΣE по районам в 2022 г.

Район		Число землетрясений										ΣN	ΣE , 10^9 Дж
		Энергетический класс											
№	Наименование	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	Севастопольский	-	1	-	3	2	-	-	-	-	-	6	0.183124
2	Ялтинский	2	4	9	2	2	1	-	-	-	-	20	1.264235
3	Алуштинский	1	2	6	7	2	-	-	-	-	-	18	0.330092
4	Судакско-Феодосийский	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	0.007943
5	Керченско-Анапский	-	-	-	8	9	2	-	2	-	-	21	233.9660
6	Степной Крым	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.0
7	Азово-Кубанский	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	2	0.174338
8	Северо-Западный	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	0.025119
9	Черноморская впадина	-	-	-	-	3	-	-	-	1	-	4	1000.145
	Всего	3	7	15	23	19	3	-	2	1	-	73	1236.096
	Всего в 2021 году	-	12	19	37	11	14	3	-	-	-	96	48.61906

Ниже приведены рисунки, отражающие особенности сейсмичности всего региона в целом. Рисунок 6 иллюстрирует, что максимальный объем сейсмической энергии ΣE приходится на Черноморскую впадину (район № 9). На втором месте и по сумме энергии и по числу землетрясений N – Керченско-Анапский (№ 5) район.

Глубина очагов меняется в интервале от $h=5$ км до $h=41$ км. 49.3% всех землетрясений имеют среднюю глубину от $h=11$ км до $h=25$ км, а 13.7% – с глубиной от $h>25$ км до $h=35$ км (рис. 7). К зоне перехода кора-мантия, $h>35$ км можно отнести 8.2% числа толчков, что согласуется с выводами о глубинах залегания очагов в регионе по результатам многолетних наблюдений [12].

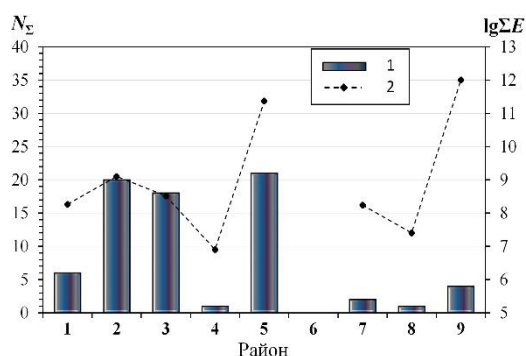


Рис. 6. Распределение числа N_{Σ} (1) землетрясений и суммарной выделенной энергии ΣE (2) по районам за 2022 г.

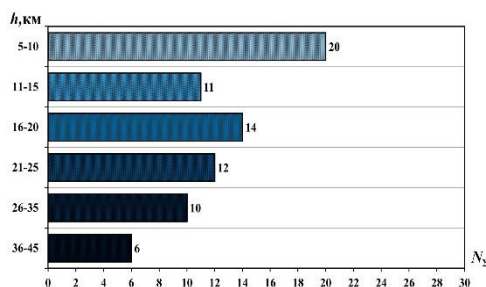


Рис. 7. Распределение по глубинам числа землетрясений N_{Σ} за 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученной информации в ходе мониторинга сейсмичности Крымско-Черноморского региона, составлен каталог, проведен анализ и обрисованы особенности сейсмичности отдельных районов региона.

2022 год характеризуется повышенной активностью сейсмических процессов региона относительно ситуации в предыдущем году — суммарный объем сейсмической энергии возрос в 25.5 раз.

Региональный каталог за 2022 г. содержит сведения о 73 сейсмических событиях, для которых определены координаты гипоцентров. Землетрясение максимального класса $K_{II}=12.0$; $MSH=4.6$, $mb=4.5$ произошло в Черноморской впадине.

Еще два наиболее сильных землетрясения с $K_{II}=10.5$; $MSH=3.6$ и $K_{II}=11.3$; $MSH=4.1$ из одного очага в Керченско-Анапском районе вызвали сотрясения в населенных пунктах Кавказского побережья Черного моря. Максимальная наблюдаемая интенсивность сотрясений — $I_{max} \sim 3-4$ балла.

Список литературы

1. Байкал-8 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.expas-sib.com> (дата обращения 17.08.2022).
2. Свидлова В. А., Бондарь М. Н., Бойко В. А. Сейсмичность Крыма в 2021 году // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2021. Том 8(74). № 4. С. 7–79.
3. 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.
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. Кульчицкий В. Е. Программа расчета координат гипоцентров землетрясений (GPO-08). Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 год. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2010. С. 28–33.
6. Кульчицкий В. Е. Новые годографы сейсмических волн Крымско-Черноморского региона // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2018. Том 4(70). № 4. С. 164–173.
7. Пустовитенко Б. Г. Определение энергии землетрясений Крыма по длительности колебаний. Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым-Карпаты) в 1970–1974 гг. Киев: Наукова думка, 1980. С. 34–39.
8. Пустовитенко Б. Г., Раутиан Т. Г., Свидлова В. А. Определение магнитуд и энергетических классов землетрясений по наблюдениям в Крымском регионе. Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым-Карпаты за 1978–1979). Киев: Наукова думка, 1983. С. 126–138.
9. Маламуд А. С. Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений. Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. 2. М.: ИФЗ АН СССР, 1974. С. 180–192.
10. European-Mediterranean Seismological Center [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php> (дата обращения: 31.12.2022).
11. Медведев С. В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.
12. Пустовитенко Б. Г., Лущик А. В., Боборыкина О. В., Кульчицкий В. Е., Можжерина А. В., Насонкин В. А., Панков Ф. Н., Поречнова Е. И., Пустовитенко А. А., Тихоненков Э. П., Швырло Н. И. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2014. 264 с.

SEISMICITY OF THE CRIMEA IN 2022

Kalinyuk I. V.¹, Svidlova V. A.¹, Bondar M. N.^{1,2}, Boyko V. A.^{1,2}

¹*Institute of seismology and geodynamics FSAEI HE, V. I. Vernadsky Crimean Federal University», Simferopol, Russian Federation.*

²*GAU "Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment, technical inspection of construction objects", Simferopol, Russia Federation.*

E-mail: ¹epicrimea@mail.ru

In 2022 the monitoring of the seismic situation in the Crimean-Black Sea region was carried out by a network of ten seismic stations: «Simferopol» (SIM), «Sevastopol» (SEV), «Yalta» (YAL), «Alushta» (ALU), «Sudak» (SUDU), «Feodosia» (FEO), «Tarkhankut» (TARU), «Donuzlav 2» (DNZ 2), «Kerch» (KERU), «ОПУК» (ОПУК), located on the Crimean Peninsula.

The existing network of stations provides, without gaps, registration of earthquakes with a magnitude of $M \geq 4.0$, and for the main seismically hazardous zones: Sevastopol, Yalta, Alushta, Sudak, Kerch Peninsula – with a magnitude of $M \geq 3.0$.

On the basis of the information obtained, a catalog of earthquakes with the main kinematic and dynamic parameters was compiled, an analysis was carried out and the features of seismicity of individual regions of the region were indicated.

The following parameters are given: basic information about seismic stations; map of representative earthquake registration, map of epicenters; tables and graphs of the distribution of the number of earthquakes and energy parameters by years and districts of the region.

It is shown that 2022 is characterized by increased activity of seismic processes in the region compared to the situation in the previous year – the total volume of seismic energy increased by 25.5 times.

The highest seismic activity was observed in the Black Sea depression. The maximum of the annual seismic energy ΣE is mainly provided by the realization on April 11 of an earthquake with magnitude $MSH=4.6$, $mb=4.5$, $I_0=4.5$.

Two more perceptible earthquakes with $MSH=3.6$ and $MSH=4.1$ with sources in the Kerch-Anapa region caused shaking in the settlements of the Caucasian coast of the Black Sea. Maximum observed shaking intensity $\sim I_{max} \sim 3-4$ points on the MSK64 scale.

Keywords: seismicity, the seismic station, epicenter, hypocenter, energy class.

References

1. Bajkal-8 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.expas-sib.com/> (data obrashcheniya 17.08.2022)
2. Svidlova V. A., Bondar' M. N., Boyko V.A. Sejsmichnost' Kryma v 2021 godu (Seismicity of Crimea 2021). Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2021, Vol. 8(74), no. 4, pp. 7–79 (in Russian).
3. Pustovitenko B. G., Kul'chickij V. E. Ob energeticheskoy ocenke zemletryasenij Krymsko-Chernomorskogo regiona (On the energy assessment of earthquakes in the Crimean-Black Sea region). Magnituda i energeticheskaya klassifikaciya zemletryasenij, Vol. 2. 1974, Moscow: IFZ AN SSSR, pp. 113–125 (in Russian).
4. Krasilov S. A., Kolomic M. V., Akimov A. P. Organizaciya processa obrabotki cifrovyyh sejsmicheskikh dannyh s ispol'zovaniem programmnoy kompleksa WSG (Organization of digital seismic data processing using the WSG software package. Modern methods of processing and interpretation of seismological data). Materials of the international seismological school dedicated to the 100-th anniversary of the opening of the «Pulkovo» and «Yekaterinburg» seismic stations. Obninsk: GS RAN, 2006, pp. 77–83 (in Russian).
5. Kul'chickij V. E. Programma rascheta koordinat gipocentrov zemletryasenij (GIPO-08) (Program for calculating the coordinates of earthquake hypocenters (GIPO-08)). Sejsmologicheskij byulleten' Ukrainy za 2008 god. Sevastopol': NPC «EHKOSI-Gidrofizika», 2010, pp. 28–33 (in Russian).
6. Kul'chickij V. E. Novye godografy sejsmicheskikh voln Krymsko-Chernomorskogo regiona (New travel time curves of seismic waves of the Crimean-Black Sea region). Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2018. V. 4(70), no. 4, pp. 164–173 (in Russian).

7. Pustovitenko B. G. Opredelenie energii zemletryasenij Kryma po dlitel'nosti kolebanij (Determination of the energy of earthquakes in Crimea by the duration of oscillations). Seismologicheskij byulleten' Zapadnoj territorial'noj zony ESSN SSSR (Krym–Karpaty) v 1970–1974 gg. Kiev: Naukova dumka, 1980, pp. 34–39 (in Russian).
8. Pustovitenko B. G., Rautian T. G., Svidlova V. A. Opredelenie magnitud i ehnergeticheskikh klassov zemletryasenij po nablyudenyam v Krymskom regione (Determination of the magnitudes and energy classes of earthquakes from observations in the Crimean region). Seismologicheskij byulleten' Zapadnoj territorial'noj zony ESSN SSSR (Krym–Karpaty za 1978–1979). Kiev: Naukova dumka, 1983, pp. 126–138 (in Russian).
9. Malamud A. S. Ispol'zovanie dlitel'nosti kolebanij dlya energeticheskoy klassifikacii zemletryasenij. Magnituda i energeticheskaya klassifikaciya zemletryasenij. T. 2. Moscow: IFZ AN SSSR, 1974, pp. 180–192 (in Russian).
10. European-Mediterranean Seismological Center. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php> (data obrashcheniya: 31.12.2022).
11. Medvedev S. V., Shponhojer V., Karnik V. Shkala seismicheskoy intensivnosti MSK-64 (Seismic intensity scale MSK-64). Moscow: MGK AN SSSR, 1965, 11 p. (in Russian).
12. Pustovitenko B. G., Lushchik A. V., Boborykina O. V., Kul'chickij V. E., Mozhzherina A. V., Nasonkin V. A., Pankov F. N., Porechnova E. I., Pustovitenko A. A., Tihonenkov E. P., Shvyrlo V. G. Monitoring seismicheskikh processov v Krymsko-Chernomorskom regione (Monitoring of seismic processes in the Crimean Black Sea region). Sevastopol': NPC «EKOSI-Gidrofizika», 2014, 264 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 22.10.2023 г.