

Крымско-Черноморский регион

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

¹ИСГ КФУ, г. Симферополь; ²ГАУ «КРЦ», г. Симферополь

В 2023 г. сейсмический мониторинг Крымско-Черноморского региона осуществлялся сетью из семи сейсмических станций геофизической обсерватории ИСГ КФУ и двух станций, принадлежащих ГАУ «КРЦ». Относительно 2022 г. [1] в составе сети ГАУ «КРЦ» изменилось количество станций – станция «Тарханкут» была временно закрыта в мае 2022 г. в связи с неисправностью регистратора. Сеть станций ИСГ КФУ существенных изменений не претерпела. Конфигурация сетей показана на рис. 1.4, основные сведения о станциях и их аппаратурной комплектации приведены в табл. 1.6 и 1.7.

Все сейсмические станции Крыма оснащены цифровым оборудованием. Семь из девяти оборудованы цифровыми сейсмическими регистраторами Байкал-8 [2], в их числе станция «Алушта», где с июня 2023 г. обработка данных производится в онлайн-режиме. Две станции («Симферополь», «Ялта») оснащены дополнительными комплектами длиннопериодных сейсмометров СКД. Оснащение станций GPS-приемниками и средствами передачи данных позволяет выполнять сбор сейсмических данных в режиме, близком к реальному времени. Все цифровые станции, на которых установлены Байкал-8, работают синхронно, АЧХ представлены в виде нулей и полюсов, точность привязки по GPS ко времени UTC – не более 5 мкс. Эти пункты наблюдений, согласно [3], соответствуют требованиям к региональным станциям, т.к. среднесуточный уровень шумов не превышает верхний уровень модели шумов Дж. Петерсона в диапазоне частот от 0.1 до 10 Гц [4].

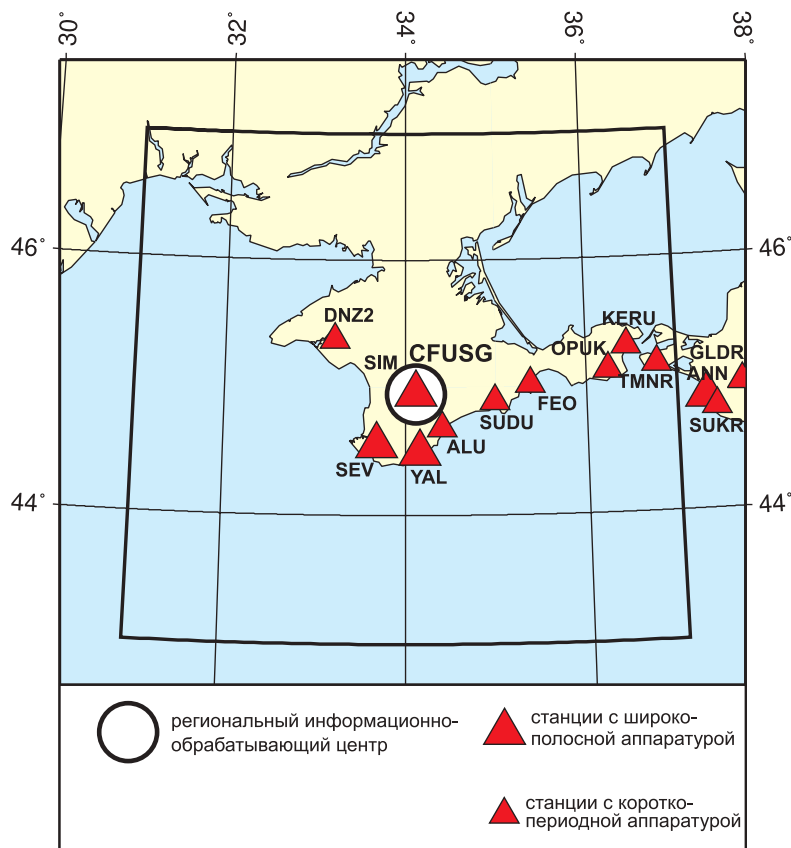


Рис. 1.4. Сейсмические станции Крымско-Черноморского региона в 2023 г.
Черный шрифт – международные коды центра и станций

Таблица I.6. Сведения о сейсмических станциях ИСГ КФУ (центр CFUSG)

№	Сейсмическая станция			Дата открытия (последней модернизации)	Координаты и высота над уровнем моря			Подпочва	Тип оборудования
	название	код			φ, °N	λ, °E	h, м		
		международный	региональный						
1	Алушта	ALU	Алш	03.10.1951 (19.07.2006)	44.680	34.402	61	Глинистые сланцы	СМ-3, С5С+ Байкал-8
2	Керчь	KERU	KERU	07.03.1968 (29.08.2019)	45.305	36.453	50	Известняк мшанковый	СМ-3+ Байкал-8
3	Севастополь	SEV	Свс SE1	28.06.1928 (21.06.2016)	44.544	33.683	42	Известняки массивные	СКМ-3, СКД+ Байкал-8
4	Симферополь	SIM	Смф	14.05.1928 (01.04.2016)	44.948	34.113	275	Нуммулитовый известняк	СКД, СМ-3+ Байкал-8
5	Судак	SUDU	Сдж	18.10.1988 (29.07.2006)	44.887	34.986	108	Глинистые сланцы	СКМ-3
6	Феодосия	FEO	Фдс	11.10.1927 (06.09.2006)	45.021	35.382	40	Мергелистая глина	СХ, СКМ-3
7	Ялта	YAL	Ялт	13.03.1928 (21.04.2016)	44.489	34.153	24	Аргиллиты с прослоями алевролитов и песчаников	СМ-3, СКД+ Байкал-8

Таблица I.7 Сведения о сейсмических станциях ГАУ «КРЦ»

№	Сейсмическая станция			Дата открытия	Координаты и высота над уровнем моря			Подпочва	Тип оборудования
	название	код			φ, °N	λ, °E	h, м		
		международный	региональный						
1	Донузлав2	DNZ2	DNZ2	26.07.2018	45.375	33.214	56	Известняк	СМ-3+ Байкал-8
2	Опук	OPUK	OPUK	19.05.2021	45.116	36.243	80	Мшанковый известняк	СМ-3+ Байкал-8

Представительная регистрация землетрясений с $K_{II}=9.0$ (по региональной классификации [5]), как и ранее, обеспечена для всего региона. Закрытие сейсмического пункта наблюдения «Тарханкут» незначительно сократило площадь в пределах изолинии $K_{min}=7$ в западной части полуострова по сравнению с таковой в начале 2022 г. [1].

Детальная обработка локальных событий региона производилась Лабораторией сводной обработки результатов сейсмического мониторинга на станции «Симферополь» с использованием ежедекадных бюллетеней всех станций сети. Для более точного определения гипоцентра дополнительно использовались данные Международного сейсмологического центра EMSC-CSEM [6], ежедневные сводки ФИЦ ЕГС РАН, поступающие в электронном виде, а также в онлайн-доступе изучались волновые формы причерноморских станций Северного Кавказа.

Параметры очагов землетрясений рассчитывались с использованием программного комплекса WSG [7, 8] и программы сводной обработки GIPO8, разработанной в Крымско-Черноморском регионе (автор В.Е. Кульчицкий) [9].

В 2023 г. в пределах условных границ региона ($\varphi=43-47^\circ N$, $\lambda=31-37^\circ E$) зарегистрировано 71 землетрясение с магнитудой $M=0.8-4.6$ ($K_{II}=5.7-12.6$), параметры этих событий включены в электронный вариант каталога Крымско-Черноморского региона [10].

Карта эпицентров землетрясений региона представлена на рис. I.5.

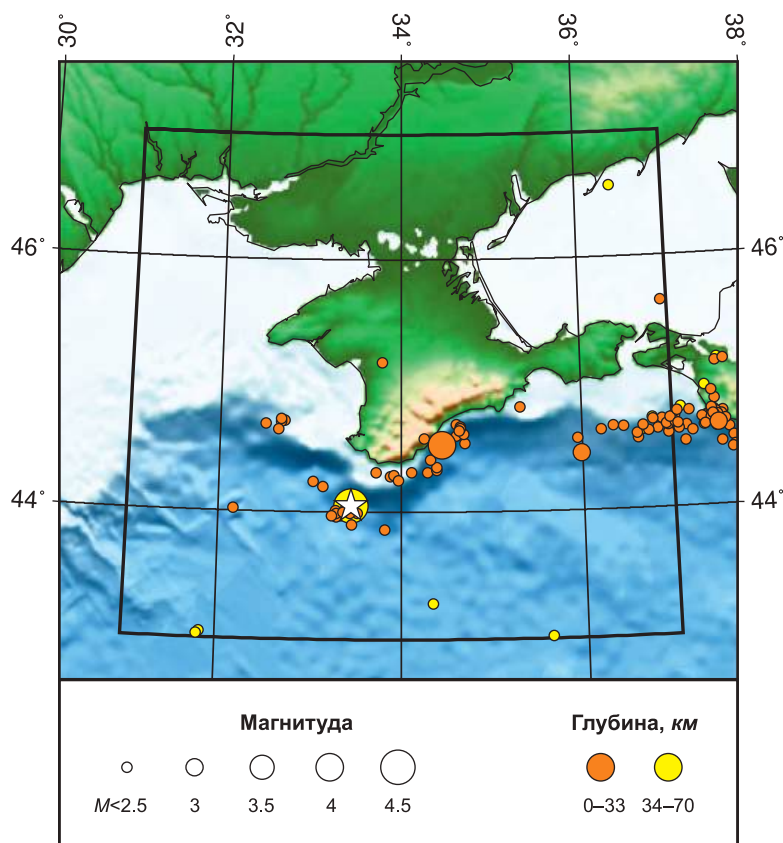


Рис. 1.5. Карта эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2023 г.
Звездочкой показано самое сильное землетрясение в регионе

В каталог [10] из каталога Северо-Кавказского региона [11] перенесены параметры десяти землетрясений в качестве основных решений и 14 землетрясений в качестве альтернативных решений (код центра ОБГСР). В печатном варианте каталога Крымско-Черноморского региона опубликованы параметры 55 землетрясений с $M \geq 1.3$ [12] (ред.).

В целом пространственное положение эпицентров землетрясений в 2023 г. является обычным для региона с умеренной сейсмичностью.

Наибольшее количество сейсмических событий (28) произошло у юго-западного побережья Крымского полуострова, в Чёрном море Севастопольского района. Здесь же 22 июня на расстоянии ~ 62 км к югу от станции «Севастополь» зарегистрировано самое сильное землетрясение региона с последующей афтершоковой активностью. Основной толчок с $M=4.6$ ($K_{II}=12.5$) произошел в 02^h42^m. Очаг располагался на глубине $h \approx 39$ км. По данным центра CFUSG, землетрясение ощущалось с максимальной интенсивностью сотрясений $I_{\max}=4$ балла в Севастополе, в Симферополе – 3 балла, в Евпатории – 2–3 балла [10, 12, 13]. По данным центра ОБГСР, землетрясение ощущалось в 17 населенных пунктах Крыма, наиболее сильно – в Балаклаве (4 балла) [10, 12]. До 30 июня было зарегистрировано семь слабых афтершоков с $K_{II}=5.7$ –7.6.

Второе ощутимое землетрясение с $M=3.8$ ($K_{II}=11.1$) произошло 27 февраля в 13^h02^m в Чёрном море Алуштинского района на глубине $h \approx 28$ км. Ближайшие к очагу сейсмические станции «Алушта» и «Ялта» расположены на удалении ~ 21 и 27 км. Землетрясение макросейсмически проявилось в нескольких населенных пунктах южного берега Крыма с интенсивностью сотрясений до 3 баллов в Ялте и Гурзуфе и 2–3 балла в Алуште, пгт Малый Маяк и Массандре. Оценка интенсивности выполнена в соответствии с [13]. Полное описание макросейсмических данных приведено в [14].

Несмотря на то, что основная часть землетрясений (95%) – непредставительного класса $K_{II} \leq 9$ ($M \leq 2.7$), количество выделившейся суммарной энергии в 2023 г. выросло в 3 раза, в сравнении с таковой в 2022 г. и более чем на порядок за предыдущие три года. Это обусловлено наличием двух ощутимых землетрясений в регионе, суммарная энергия которых составила 99% от годовой.

На рис. 1.6 показана гистограмма суммарной сейсмической энергии, выделившейся в Крымско-Черноморском регионе в 2019–2023 гг. по данным [1, 10]. Уровень сейсмичности региона в 2023 г. согласно шкале «СОУС’09» [15] оценен как «высокий» за 62-летний период наблюдений (с 1962 по 2023 г.) [16].

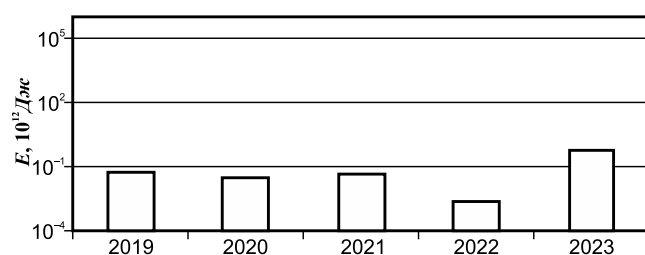


Рис. 1.6. Распределение сейсмической энергии, выделившейся в Крымско-Черноморском регионе в 2019–2023 гг.

Литература

1. Калинюк И.В., Свидлова В.А., Бондарь М.Н., Козиненко Н.М., Сыкчина З.Н., Панков Ф.Н., Бойко В.А. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Крымско-Черноморский регион // Землетрясения России в 2022 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – С. 19–22. – EDN: GTNZUJ
2. Регистратор сигналов Байкал-8 // R-sensors [сайт]. – URL: <http://r-sensors.ru/ru/products/micro/baykal-8-v-3-rus/> (дата обращения 17.08.2024).
3. Требования к сейсмическим сетям и станциям, интегрируемым в федеральную сеть сейсмических наблюдений [Электронный ресурс] // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – [Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017]. – URL: http://www.gsras.ru/new/struct/files/Requirements_for_seismic_stations.pdf, свободный.
4. Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise // U.S. Department of Interior, Geological Survey. Open-File Report 93-322. – 1993. – 95 p.
5. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е. Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. 2. – М., 1974. – С. 113–125.
6. European Mediterranean Seismological Centre [Site]. – URL: <http://www.emscsem.org/Earthquake/earthquake.php> (дата обращения 20.11.2024).
7. 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. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 77–83. – EDN: TRPMHL
8. Акимов А.П., Красилов С.А. Программный комплекс WSG «Система обработки сейсмических данных» / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664678 от 16.11.2020. – EDN: IJOVUE
9. Кульчицкий В.Е. Программа расчета координат гипоцентров землетрясений (ГИРО-08) // Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 год. – Севастополь: НПП «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2010. – С. 28–33.
10. 2023-ER_App01_Crimean-Black-Sea-region.xlsx [Электронный ресурс]: Список приложений для ежегодника «Землетрясения России в 2023 году» // Землетрясения России [сайт]. – [Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2025]. Систем. требования: MS Excel, Open Office. – URL: http://www.gsras.ru/zr/app_23.html, свободный.
11. 2023-ER_App02_Northern-Caucasus.xlsx [Электронный ресурс]: Список приложений для ежегодника «Землетрясения России в 2023 году» // Землетрясения России [сайт]. – [Обнинск:

ФИЦ ЕГС РАН, 2025]. Систем. требования: MS Excel, Open Office. – URL: http://www.gsras.ru/zr/app_23.html, свободный.

12. Бондарь М.Н. (отв. сост.); Козиненко Н.М., Свидлова В.А. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Крымско-Черноморский регион // Землетрясения России в 2023 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2025. – С. 154–155.

13. Ершов И.А., Шебалин Н.В. Проблема конструкции шкалы интенсивности землетрясений с позиций сейсмологов. Прогноз сейсмических воздействий // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 25. – М.: Наука, 1984. – С. 78–96.

14. Колесникова Е.Я., Останин А.М., Бондарь М.Н., Бушмакина Г.Н. Результаты макросейсмического обследования последствий Крымского землетрясения 27 февраля 2023 года // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. – 2023. – Т. 9, № 4. – С. 157–170. – EDN: OMULQK

15. Saltykov V.A. A statistical estimate of seismicity level: The method and results of application to Kamchatka // Journal of Volcanology and Seismology. – 2011. – V. 5, N 2. – P. 123–128. – DOI: 10.1134/S0742046311020060. – EDN: OHTIXN

16. Салтыков В.А., Коновалова А.А., Пойгина С.Г. Качественный анализ сейсмичности. Оценка уровня сейсмичности регионов России // Землетрясения России в 2023 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2025. – С. 97–108.