

УДК 550.348.

СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА в 2018–2019 гг.

Б.Г. Пустовитенко¹, В.А. Свидлова², М.Н. Бондарь^{1,2}

¹ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», Симферополь, Республика Крым, Россия, bpustovitenko@mail.ru

²Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, Россия, epicrimea@mail.ru

Аннотация. Обзор сейсмичности Крымско-Черноморского региона за 2018–2019 гг. проведен по результатам сейсмического мониторинга девятью региональными цифровыми станциями, одна из которых («Донузлав») открыта в 2018 г. в западной части Крыма, другая («Керчь») восстановлена после 3-летнего перерыва в работе. С учетом новых пунктов наблюдений расширились границы энергетической представительности K_{\min} землетрясений. Всего в 2018–2019 гг. сеть станций Крыма зарегистрировано 185 землетрясений в диапазоне энергетических классов $K_{\Gamma}=3.8\div 11.0$, большая часть из которых с $K_{\Gamma}\leq 7$ является представительной только на незначительной территории вблизи побережья. Рассматриваемый период характеризуется умеренной сейсмической активностью в регионе, которая по уровню ниже среднего долговременного значения. Наибольшая активизация сейсмических процессов наблюдалась в 2018 г. в Керченско-Анапском и Азово-Кубанском районах. Всего за 2018–2019 гг. в регионе отмечено шесть ощутимых толчков, два из них – на территории Крыма: 6 апреля 2018 г. с $K_{\Gamma}=9.9$, $MSH=3.3$, интенсивностью $I=2$ балла и 13 сентября 2018 г. с $K_{\Gamma}=10.5$, $MSH=3.5$, $I=3$ балла. Четыре других ощутимых толчка с интенсивностью от 2 до 4 баллов локализованы на побережье Кавказа. Для семи наиболее сильных землетрясений получены решения механизма очагов.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмичность, представительность, гипоцентр, энергетический класс, магнитуда, интенсивность, механизм очага, график повторяемости.

Для цитирования: Пустовитенко Б.Г., Свидлова В.А., Бондарь М.Н. Сейсмичность Крымско-Черноморского региона в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.03> EDN: MPZWQA

Введение. В 2018–2019 гг. сейсмический мониторинг Крымско-Черноморского региона выполнялся Институтом сейсмологии и геодинамики Крымского федерального университета (ИСиГ КФУ) им. В.И. Вернадского совместно с ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства» (ГАУ КРЦ). Сводная обработка материалов наблюдения проводилась в ИСиГ КФУ. Вид и размеры региона сохранены в рамках границ, принятых в 1983 г. [1, с. 4–5] (рис. 1). Регион условно разделен на девять районов [2], которые существенно отличаются по сеймотектоническим условиям, уровню сейсмической активности и порогом чувствительности сети: 1 – Севастопольский, 2 – Ялтинский, 3 – Алуштинский, 4 – Судакско-Феодосийский, 5 – Керченско-Анапский, 6 – Степной Крым, 7 – Азово-Кубанский, 8 – Северо-Западный, 9 – Черноморская впадина (см. рис. 4). В статье представлены анализ сейсмичности в регионе за 2018–2019 гг. и изменения в системе сейсмических наблюдений за этот период.

Сеть станций и карта K_{\min} . Сейсмические наблюдения в регионе осуществлялись на шести стационарных станциях Крыма: «Симферополь» (SIM), «Севастополь» (SEV), «Ялта» (YAL), «Алушта» (ALU), «Феодосия» (FEO), «Судак» (SUDU) и трех цифровых станциях с дистанционной связью – «Тарханкут» (TARU), «Донузлав» (DNZ2), «Керчь» (KERU), принадлежащих ГАУ КРЦ. Новый пункт наблюдений «Донузлав» (DNZ2) был открыт на Тарханкутском полуострове в пос. Веселовка 26.07.2018 года. Инженерно-геологические характеристики места установки станции описаны в работе [3]. Наблюдения в пункте «Керчь», после прекращения регистрации 31.07.2016 г., восстановлены 22.05.2019 года. Техническое обслуживание станций ГАУ КРЦ проводится совместно с ИСиГ КФУ. Расположение сейсмических станций показано на рис. 1. Общие сведения о станциях сети и параметрах цифровой регистрирующей аппаратуры представлены в [4].

С учетом открывшейся в 2018 г. станции «Донузлав», по материалам сводных бюллетеней за 2018–2019 гг. построена уточненная карта энергетической представительности K_{\min} на территории региона (рис. 1). Можно отметить, что представительная регистрация землетрясений с $K_{\Gamma}=9.0$ (по региональной классификации [5]) обеспечивается по-прежнему практически для всего региона. Изолиния $K_{\min}=8$ покрывает всю территорию Крыма, исключая восточный край Керченского п-ова, а также значительную часть акватории Чёрного моря. По сравнению с [6],

в целом заметно повышение чувствительности сети – увеличились площади в пределах всех изолиний: $K_{\min}=9$ в северном, $K_{\min}=8$ в западном и $K_{\min}=7$ в южном направлениях. Регистрация без пропусков слабых землетрясений с $K_{\min}=6$ обеспечена на небольшом участке вблизи станций «Севастополь», «Ялта», «Симферополь» и «Судак».

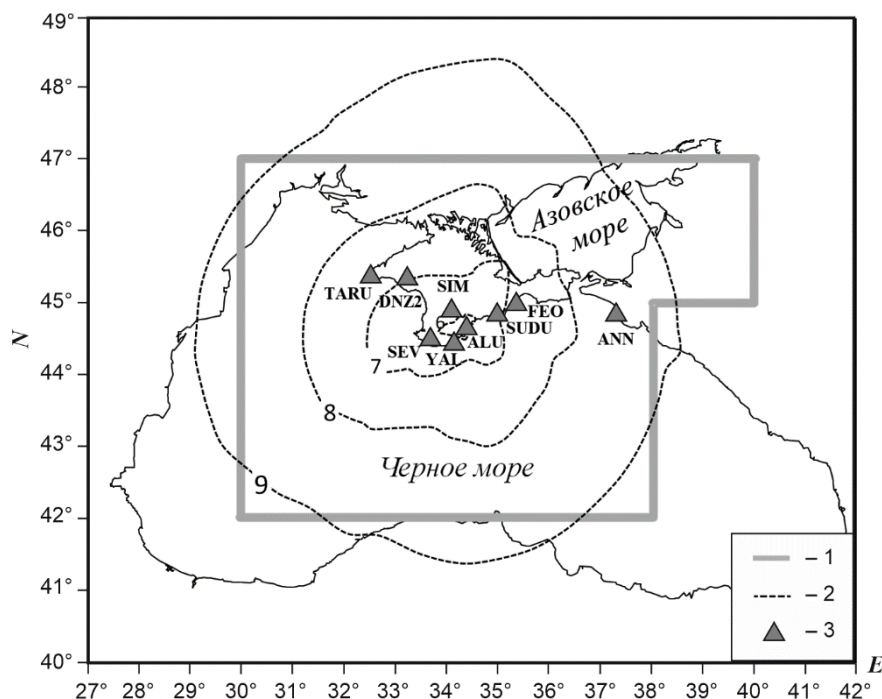


Рис. 1. Карта энергетической представительности K_{\min} землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2018–2019 гг.

1 – контур территории региона в рамках принятых границ регионализации [1, с. 4–5]; 2 – изолиния K_{\min} ; 3 – сейсмическая станция.

Методика сводной обработки землетрясений региона описана в [7, 8]. С 2018 г. расчеты основных кинематических параметров выполняются в программе GIP0 последней версии, содержащей уточненный годограф волн землетрясений Крымско-Черноморского региона [9]. Как и прежде, при расчетах гипоцентров использованы сведения из бюллетеней станции «Анапа». Дополнительно привлекались времена вступлений объемных волн, взятых из электронного оперативного каталога EMSC [10].

Классификация землетрясений по энергетическому уровню выполнена по энергетическим классам K_{Π} [5], а также по магнитудам: по локальным магнитудам ML_{WSG} [11], по коду M_c [12] и по моментным магнитудам M_w [13].

В **региональный каталог** за 2018–2019 гг. [14] включены основные параметры 185 землетрясений. Для всех землетрясений определены энергетические классы K_{Π} , для девяти – M_c , для 20 – ML_{WSG} и для 24 получены динамические параметры их очагов и моментные магнитуды M_w [13]. Диапазон энергетических классов составил $K_{\Pi}=3.8–11.0$, диапазон магнитуд – $M_c=2.5–3.7$, $M_w=2.5–4.0$, $ML_{WSG}=1.9–4.2$.

Ощутимыми на территории Крыма были два землетрясения: 13 сентября 2018 г. в $05^{\text{h}}45^{\text{m}}23.0^{\text{s}}$ с $K_{\Pi}=10.5$, $MSH=3.5$ и 6 апреля 2019 г. в $08^{\text{h}}01^{\text{m}}11.3^{\text{s}}$ с $K_{\Pi}=9.9$ и $MSH=3.3$. Интенсивность сотрясений по шкале MSK64 [15] – $I=3$ балла и $I=2$ балла соответственно. Также в 2018 г. три ощутимые события с максимальной интенсивностью $I=4–5$ баллов наблюдались в Керченско-Анапском районе и одно – Азово-Кубанском с интенсивностью $I=3–4$ балла [16, 17]. Для семи наиболее сильных землетрясений получены решения механизма очагов, параметры которых приведены в [13, 18].

Сейсмичность региона. Общее число локализованных в 2018 г. землетрясений – $N_{\Sigma}=100$, а в 2019 г. – $N_{\Sigma}=85$. Величина годовой суммарной энергии ΣE , высвободившейся в очагах этих землетрясений, в 2018 г. составила $\Sigma E=3.64 \cdot 10^{11}$ Дж, а в 2019 г. примерно в 7 раз меньше – $\Sigma E=4.88 \cdot 10^{10}$ Дж.

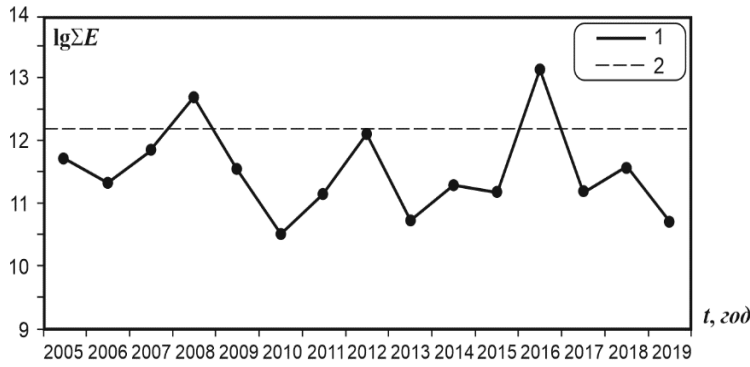


Рис. 2. График распределения логарифма сейсмической энергии $\lg\Sigma E$ по годам за период 2005–2019 гг.

1 – $\lg\Sigma E$; 2 – $\lg\Sigma E_{cp}$.

Из графика временного хода $\lg\Sigma E=f(t)$ видно, что сейсмическая активность в регионе в течение последних трех лет была заметно ниже среднего долговременного уровня $\Sigma E_{cp}=1.49 \cdot 10^{12}$ Дж за период 2005–2019 г. (рис. 2).

Закон повторяемости землетрясений $N(K)$ в пределах площади Крымско-Черноморского региона рассмотрен только за более длительный период наблюдений T , включая 2018 и 2019 гг.: 2009–2019 и 2015–2019 гг., поскольку надежность оценки его параметров зависит от представительной статистики землетрясений в широком диапазоне энергий, что за два года наблюдений в слабоактивном регионе не всегда обеспечивается. Использовано кумулятивное распределение N_{Σ} по энергетическим классам землетрясений K_{II} , начиная от представительного K_i и выше. График повторяемости для периода 2015–2019 гг. дан на рис. 3. Уравнения аппроксимации $\lg(N_{\Sigma}/T)=f(K_{II})$ для периодов 2015–2019 (1) и 2009–2019 гг. (2) получены методом ортогональной регрессии с высоким коэффициентом корреляции ρ :

$$2015\text{--}2019 \text{ гг.: } \lg(N_{\Sigma}/T) = -(0.45 \pm 0.01) \cdot K_{II} + (5.11 \pm 0.32), \rho = 0.99 \quad (1)$$

$$2009\text{--}2019 \text{ гг.: } \lg(N_{\Sigma}/T) = -(0.52 \pm 0.03) \cdot K_{II} + (5.76 \pm 0.34), \rho = 0.99 \quad (2)$$

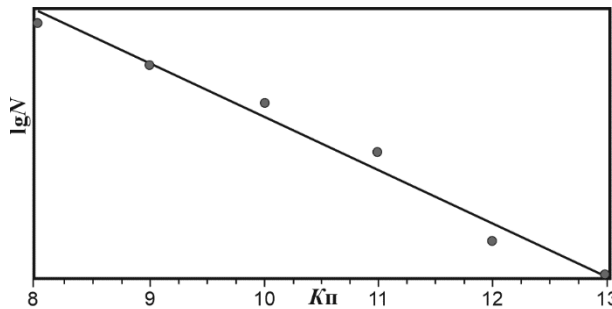


Рис. 3. График повторяемости землетрясений региона за период 2015–2019 гг.

Преобладающее число эпицентров землетрясений 2018–2019 гг. традиционно сосредоточено в пределах морской акватории (рис. 4). Диапазон эпицентральных расстояний до станций Крыма составил от $\Delta_{min}=5$ км до $\Delta_{max}=464$ км.

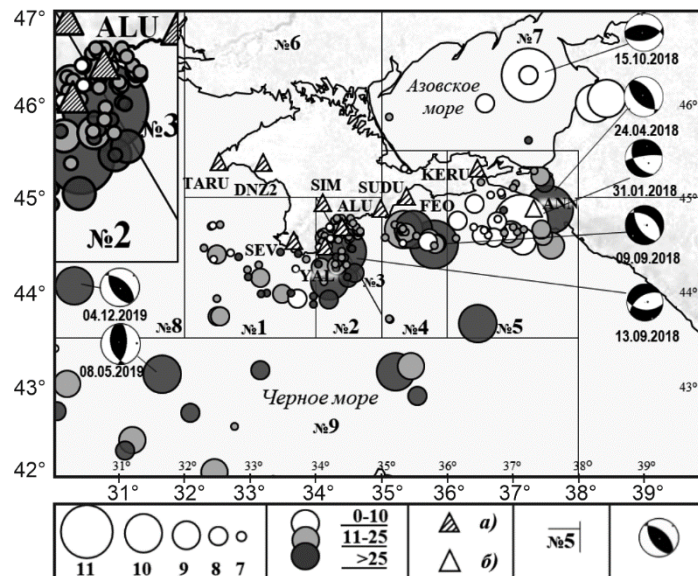


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2018–2019 гг.

1 – энергетический класс K_{II} ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – сейсмическая станция: а) Крым; б) Северный Кавказ; 4 – граница района: № 1 – Севастопольский; № 2 – Ялтинский; № 3 – Алуштинский; № 4 – Судакско-Феодосийский; № 5 – Керченско-Анапский; № 6 – Степной Крым; № 7 – Азово-Кубанский; № 8 – Северо-Западный; № 9 – Черноморская впадина; 5 – стереограмма механизма очага в проекции для нижней полусферы.

Очаги землетрясений уровня $K_{П}\sim 11$ были расположены в четырех районах региона. Наибольшая плотность всех эпицентров просматривается (рис. 4.) вдоль Крымского и Северо-Кавказского побережья Черного моря в трех районах: Ялтинском, Судакско-Феодосийском и Керченско-Анапском.

Глубины залегания очагов землетрясений всех районов находились в пределах $h=0\text{--}46$ км (рис. 5).

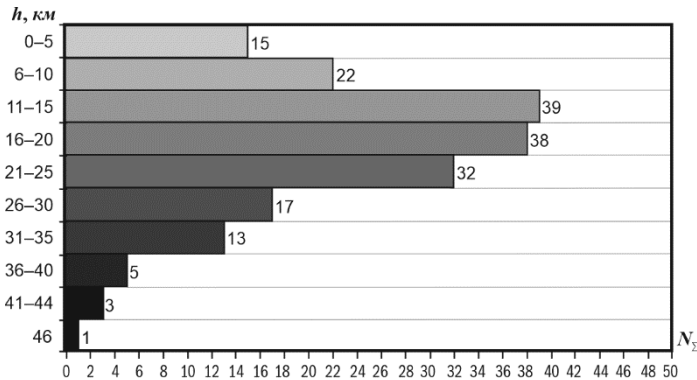


Рис. 5. Распределение числа землетрясений в 2018–2019 гг. по глубинам h , км

Преобладающее число землетрясений, 58.9 %, произошло в земной коре на средних глубинах $h=11\text{--}25$ км.

К зоне перехода кора-мантия с $h>35$ км можно отнести 4.9 % числа толчков, что подтверждает выводы о глубинах залегания очагов в регионе по результатам многолетних наблюдений [8].

Для наглядности на рис. 6 представлены гистограммы и графики распределения чисел N_{Σ} , логарифма суммарной выделенной энергии ΣE по районам для каждого года отдельно.

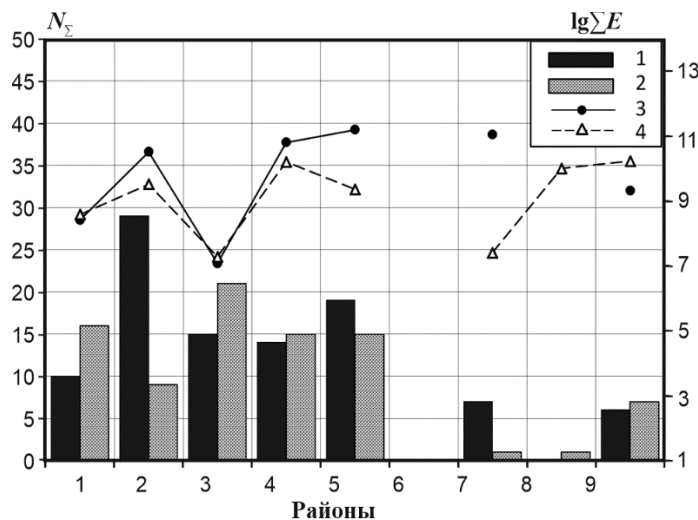


Рис. 6. Распределение по районам числа N_{Σ} землетрясений (1, 2) и логарифма суммарной энергии $\lg \Sigma E$ (3, 4) за 2018 и 2019 гг. соответственно

По уровню сейсмичности доминируют **Керченско-Анапский** район (№5) и пограничный с ним **Азово-Кубанский** (№ 7). Необычная сейсмическая активизация проявилась в **Судакско-Феодосийском** районе (№ 4), где зарегистрирован толчок максимального энергетического уровня $K_{max}\sim 11$.

В **Керченско-Анапском** районе в 2018–2019 гг. Крымская сеть зарегистрировала 34 землетрясения с $K_{П}=6.2\text{--}$

11.0. Суммарная сейсмическая энергия, выделенная в этом районе, $\Sigma E=156.78\cdot 10^9$ Дж, составляет 38 % от общей энергии региона. Очаги большинства землетрясений расположены в земной коре акватории Черного моря на глубинах в пределах от $h=0$ км до $h=33$ км.

Поверхностное землетрясение ($h=0$ км) 20 января 2018 г. в 16^h28^m, несмотря на невысокий класс $K_{П}=8.7$, ощущалось в Анапе (44 км) и Новороссийске (53 км) с интенсивностью $I=3\text{--}4$ балла [16].

Самое сильное событие с $K_{П}=11.0$ реализовалось 31 января 2018 г. в 04^h28^m на глубине $h=10$ км. Этот толчок вызвал сотрясения интенсивностью $I=3\text{--}4$ балла в трех населенных пунктах: Анапа (23 км), ст. Анапская (27 км), с. Супсех (22 км) и интенсивностью $I=2\text{--}3$ балла – в Новороссийске (51 км) [16]. Тип подвижки в очаге этого землетрясения – сбросо-сдвиг с преобладанием сдвиговой компоненты [18].

Третье ощутимое землетрясение с $K_{П}=10.7$ со взбросовой подвижкой в очаге (см. рис. 4) произошло 24 апреля 2018 г. в 20^h47^m42.0^s на глубине $h=33$ км. Землетрясение ощущалось в семи населенных пунктах: Натухаевская (5 км), Супсех (16 км), Алексеевка (17 км), Анапа (18 км), Гостагаевская (19 км), Новороссийск (22 км), Крымск (35 км) с интенсивностью $I=4\text{--}5$ баллов [16, 17].

В **Азово-Кубанском** районе (№ 7) зарегистрировано семь землетрясений в 2018 г. энергетических классов $K_{II}=6.5-11.0$ и одно в 2019 г. с $K_{II}=7.4$. Суммарная сейсмическая энергия, выделенная в этом районе, $\Sigma E=111.54 \cdot 10^9$ Дж, составляет 27 % от общей энергии региона. Сейсмическая активность района в 2018 г. значительно превышает средние показатели за 10 лет (2010–2019 гг.): $N_{cp}=3.7$, $\Sigma E_{cp}=12.28 \cdot 10^9$ Дж.

Самое сильное землетрясение с $K_{II}=11.0$, $M_w=4.2$ реализовалось 15 октября 2018 г. в 10^h42^m под действием горизонтальных сил сжатия со взбросовой подвижкой близширотного простирания [18]. Его очаг находился в верхних слоях земной коры ($h=6$ км) центральной части Азовского моря. Через пять минут девять секунд последовал первый афтершок с $K_{II}=7.8$. Второй афтершок с $K_{II}=7.7$ зарегистрирован 17 октября.

На восточном побережье Азовского моря 20 февраля в 07^h00^m произошло сейсмическое событие, которое согласно Северо-Кавказскому каталогу [16] ощущалось в г. Приморско-Ахтарске (7 км) с интенсивностью $I=3-4$ балла. В Крымском каталоге [14] оно представлено как двойной толчок энергетических классов $K_{II}=9.8$ и $K_{II}=9.7$ с разницей во времени семь секунд, но с отличающимися координатами гипоцентров.

Сейсмическая активность **Судацко-Феодосийского** района (№ 4) в 2018–2019 гг. максимальная за 20-летний период и значительно выше среднего уровня за 10 лет (2010–2019 гг.): $N_{cp}=5.9$, $\Sigma E_{cp}=9.07 \cdot 10^9$ Дж.

Количество высвободившейся энергии в очагах 29 землетрясений с $K_{II}=4.7-10.8$ – на третьем месте относительно энергии других районов, $\Sigma E=79.37 \cdot 10^9$ Дж. Обычно этот район характеризуется редкими землетрясениями более низких энергий.

Самый сильный толчок 9 сентября 2018 г. в 07^h47^m с $K_{II}=10.8$ произошел в зоне перехода кора-мантия на глубине $h=35$ км со сбросовой подвижкой в очаге [18]. Его эпицентр был расположен в море на расстоянии $\Delta=68$ км от ближайшей станции «Феодосия». Основным толчком предварялся одним слабым форшоком с $K_{II}=6.9$. Спустя одну минуту 48 секунд произошел первый афтершок с $K_{II}=7.9$. Второй афтершок с $K_{II}=7.8$ зарегистрирован 21 октября.

С 12 по 15 января 2019 г. зарегистрирована последовательность из девяти землетрясений. Главный толчок с $K_{II}=9.9$ зафиксирован 12 января в 23^h21^m (глубокой ночью по местному времени), координаты гипоцентра: $\varphi=44.66^\circ N$, $\lambda=35.34^\circ E$, $h=25$ км. Эпицентральное расстояние до ближайшей станции «Судак» – $\Delta=37$ км. Сведений об ощутимости нет.

Восточнее очаговой зоны январской последовательности 6 апреля в 08^h01^m реализовалось землетрясение такого же энергетического уровня, $K_{II}=9.9$ и $MSH=3.3$, с близкими координатами гипоцентра: $\varphi=44.66^\circ N$, $\lambda=35.49^\circ E$, $h=35$ км. Оно же и единственное ощутимое событие в этом районе с эпицентром на расстоянии $\Delta=40$ км от ближайшей станции «Феодосия». Этот толчок слабо ощущался жителями Феодосии, в основном на верхних этажах домов. Интенсивность сотрясений – $I=2$ балла.

В **Ялтинском** районе (№ 2) после повышенной в 2014 г. сейсмичности [19] и последующего ее спада, вновь в 2018 г. отмечено превышение средних показателей за 10 лет (2010–2019 гг.): $N_{cp}=19.8$, $\Sigma E_{cp}=24.49 \cdot 10^9$ Дж.

Значимым событием явилось ощутимое на Южном берегу Крыма землетрясение с интенсивностью $I_{max}=3-4$ балла [17], возникшее 13 сентября 2018 г. в 05^h45^m на глубине $h=29$ км с $K_{II}=10.5$, $MSH=3.5$. Повторно проанализировав имеющиеся данные, мы пришли к выводу, что I_{max} не превышала 3 баллов. Тип подвижки в очаге землетрясения – сброс [18], что характерно для землетрясений центральной зоны региона [20]. Это – одиночный толчок юго-восточнее Ялты ($\Delta=21$ км), где отмечена высокая плотность эпицентров вблизи очаговой зоны этого землетрясения в широком азимутальном секторе (рис. 4, врезка а).

В **Северо-Западном** районе (№ 8) вслед за двухлетним затишьем в 2019 г. зарегистрирован один толчок 4 декабря в 09^h43^m с $K_{II}=10.0$, $MSH=3.7$, $h=43$ км. Тип подвижки в очаге этого землетрясения – взброс.

В **Черноморской впадине** (район № 9) после резкого всплеска сейсмической активности в 2016 г. с $K_{max}=13.1$ [6] в течение двух лет наблюдалось снижение ее уровня. В 2018 г. было зарегистрировано шесть сейсмических событий с $K_{II}=7.3-9.1$, имеющих глубины $h=5-35$ км. В 2019 г. сейсмичность района усилилась и 8 мая в 19^h51^m на глубине 46 км произошло наиболее сильное землетрясение года с $K_{II}=10.0$, $MSH=3.6$ со взбросовым типом подвижки под действием горизонтальных сжимающих напряжений.

Ниже среднего долговременного уровня была сейсмичность *Севастопольского* (№ 1) и *Алуштинского* (№ 3) районов. В течение двух лет в этих районах произошли только фоновые землетрясения с $K_{II}=4.4–8.2$ и с $K_{II}=3.8–6.8$ соответственно.

Полное сейсмическое затишье два года наблюдалось в слабоактивном районе *Степной Крым* (№ 6).

Заключение. Сейсмичность Крымско-Черноморского региона в течение 2018–2019 гг. в целом была заметно ниже среднего долговременного уровня. Однако в отдельных районах проявилась сейсмическая активизация, которая характеризуется наличием ощутимых землетрясений и землетрясений энергетического уровня $K_{II}\sim 11$. На территории Крыма макросейсмический эффект наблюдался при двух землетрясениях: 6 апреля 2019 г. с $I=2$ балла с очагом вблизи Феодосии и 13 сентября 2018 г. вблизи Ялты. Максимальная интенсивность сотрясений не превышала $I_{\max}=3$ балла. Полученные в 2018–2019 гг. типы механизмов очагов семи землетрясений, произошедших в различных частях региона и на разных структурных этапах литосферы, подтверждают ранее сделанный вывод [20] о гетерогенном характере напряженно-деформированного состояния среды и характера сейсмогенеза в Крымско-Черноморском регионе.

Л и т е р а т у р а

1. Землетрясения в СССР в 1985 году / Отв. ред. Н.В. Кондорская. – М.: Наука, 1988. – 349 с.
2. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Горячун А.В. Землетрясения Крымско-Черноморского региона. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.
3. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Сухорученко С.К., Клянчин А.И. Организация и первые результаты сейсмических наблюдений в северо-западной части территории Крыма // Ученые записки Крымского Федерального Университета им. В.И. Вернадского. Серия «География. Геология». – 2020. – Т. 6 (72), № 4. – С. 141–165.
4. Калинин И.В., Бойко В.А. (отв. сост.). Сейсмические станции Крыма в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>
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 Б.Г., Свидлова В.А., Бондарь М.Н. Сейсмичность Крымско-Черноморского региона в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 46–55. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.03>. EDN: PNZYRD
7. Кульчицкий В.Е. Программа расчета координат гипоцентров землетрясений (ГИПО-08) // Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 год. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2010. – С. 28–33.
8. Пустовитенко Б.Г., Лущик А.В., Боборыкина А.В., Кульчицкий В.Е., Можжерина А.В., Насонкин В.А., Панков Ф.Н., Поречнова Е.Н., Пустовитенко А.А., Тихоненков Э.П., Швырло Н.И. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2014. – 264 с.
9. Кульчицкий В.Е. Новые годографы сейсмических волн Крымско-Черноморского региона // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География. Геология». – 2018. – Т. 4 (70), № 4. – С. 164–173.
10. European Mediterranean Seismological Centre. (2023). [Site]. – URL: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake>
11. 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.
12. Пустовитенко Б.Г., Раутиан Т.Г., Свидлова В.А. Определение магнитуд и энергетических классов землетрясений по наблюдениям в Крымском регионе // Сейсмологический бюллетень 11. Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым – Карпаты за 1978–1979) – Киев: Наукова думка, 1983. – С. 126–138.
13. Пустовитенко Б.Г., Эреджепов Э.Э., Бондарь М.Н. Очаговые параметры землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 246–256 DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.21> EDN: JIZXYC

14. Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыкчина З.Н. (отв. сост.), Бекмамбетова Л.Ю. Каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>
15. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
16. Габсатарова И.П., Мехрюшев Д.Ю., Королецьки Л.Н., Адилев А.З., Магомедов Х.Д., Саяпина А.А., Багаева С.С., Янков А.Ю., Иванова Л.Е. Северный Кавказ // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 17–24.
17. Клянчин А.И. Макросейсмические проявления двух ощутимых землетрясений 24 апреля 2018 г. и 13 сентября 2018 г. // Ученые записки Крымского Федерального Университета им. В.И. Вернадского. Серия «География. Геология». – 2019. – Т. 5 (71), № 4. – С. 95–105.
18. Пустовитенко Б.Г. (отв. сост.), Бондарь М.Н. Каталог механизмов очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>
19. Пустовитенко Б.Г., Свидлова В.А., Бондарь М.Н. Крымско-Черноморский регион // Землетрясения Северной Евразии. – 2020. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 38–48. DOI: <https://doi.org/10.3554/1818-6254.2020.23.03>
20. Вольфман Ю.М., Пустовитенко Б.Г., Колесникова Е.Я., Останин А.М. Обстановки сейсмогенеза Крымско-Черноморского региона (по данным решений механизмов очагов землетрясений) // Ученые записки Крымского Федерального Университета им. В.И. Вернадского. Серия «География. Геология». – 2018. – Т. 2 (68), № 4. – С. 206–250.

SEISMICITY of the CRIMEAN-BLACK SEA REGION in 2018–2019

B.G. Pustovitenko¹, V.A. Svidlova², M.N. Bondar¹

¹State Autonomous Institution "Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment, Technical Inspection of Construction Facilities", Simferopol, Russia, bpustovitenko@mail.ru

²Institute of Seismology and Geodynamics of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol, Russia, epicrimea@mail.ru

Abstract. The review of the Crimean-Black Sea region seismicity is made on the basis of seismic monitoring data from a regional network of 9 digital stations. The catalog includes information on 185 events with energy classes $K_{\Pi}=3.8-11.0$. Maps of earthquake energy representativeness and epicenters of earthquakes are presented. A detailed description of the seismic situation in various districts of the region is given. The years 2018 and 2019 are characterized by moderate seismic activity in the region, which below than the long-term average one. The greatest activation of seismic processes was observed in 2018 in the Kerch-Anapa and Azov-Kuban districts. In the Kerch-Anapa district, three tangible earthquakes occurred. Their maximum observed intensity of $I=4-5$ is noted in seven settlements on the coast of the Caucasus. The released seismic energy in the Azov-Kuban district in 2018 significantly exceeded the 10-year (2010–2019) average value. The earthquake of the maximum class $K_{\Pi}=11.0$, $M_w=4.2$ was realized on October 15, 2018. Its source was in the central part of the Sea of Azov, at a depth $h=6$ km. On February 20, 2018 at 07^h00^m a seismic event occurred on the eastern coast of the Sea of Azov. People felt it in the city of Primorsko-Akhtarsk with intensity of $I=3-4$. On the territory of the Crimean peninsula, two shocks were felt with the intensity of $I=2$ and $I=3$ in Sudak-Feodosiya and Yalta areas respectively. Solutions of focal mechanisms were obtained for the 7 strongest earthquakes from different districts of the region.

Keywords: earthquake, seismicity, representativeness, hypocenter, energy class, magnitude, intensity, focal mechanism.

For citation: Pustovitenko, B.G., Svidlova, V.A., & Bondar, M.N. (2023). [Seismicity of the Crimean-Black Sea region in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 10–38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.01> EDN: ZSVQJD

R e f e r e n c e s

1. Kondorskaia, N.V. (1988). *Zemletriaseniia v SSSR v 1985 godu* [Earthquakes in the USSR in 1985]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 349 p. (In Russ.).
2. Pustovitenko, B.G., Kul'chitskii, V.E., & Goriachun, A.V. (1989). *Zemletriaseniia Krymsko-Chernomorskogo regiona* [Earthquakes in the Crimean-Black Sea region]. Kiev, Ukraine: Naukova Dumka Publ., 192 p. (In Russ.).
3. Pustovitenko, B.G., Kul'chickij, V.E., Suhoruchenko, S.K., & Klyanchin, A.I. (2020). [Organization and first results of seismic observations in the northwestern part of the territory of Crimea]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Geografiia. Geologiya* [Scientific notes of the Crimean Federal University. V.I. Vernadsky. Geography. Geology], 6(72), 4, 141–165. (In Russ.).

4. Kaliniuk, I.V., & Boiko, V.A. (2023). [Seismic stations of Crimea in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html> (In Russ.).
5. Pustovitenko, B.G., & Kul'chitskii, V.E. (1974). [On the energy assessment of earthquakes in the Crimean-Black Sea region]. In *Magnituda i energeticheskaiia klassifikatsiia zemletriasenii, T. 2.* [Magnitude and energy classification of earthquakes, Vol. 2.] (pp. 113–125). Moscow, Russia: IFZ AN SSSR Publ. (In Russ.).
6. Pustovitenko, B.G., Svidlova, V.A., & Bondar, M.N. (2022). [Seismicity of Crimean-Black Sea region in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 46–55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.03>. EDN: PNZYRD
7. Kul'chitskii, V.E. (2010). [Program for calculating the coordinates of earthquake hypocenters (GIPO-08)]. In *Seismologicheskii byulleten' Ukrainy za 2008 god* [Seismological Bulletin of Ukraine for 2008] (pp. 28–33). Sevastopol, Ukraine: NPC «EKOSI-Gidrofizika» Publ. (In Russ.).
8. Pustovitenko, B.G., Lushchik, A.V., Boborykina, A.V., Kul'chitskii, V.E., Mozhzherina, A.V., Nasonkin, V.A., Pankov, F.N., Porechnova, E.N., Pustovitenko, A.A., Tikhonenkov, E.P., & Shvyrlo, N.I. (2014). *Monitoring seismicheskikh protsessov v Krymsko-Chernomorskom regione* [Monitoring of seismic processes in the Crimean-Black Sea region]. Sevastopol, Russia: NPC «EKOSI-Gidrofizika» Publ., 264 p. (In Russ.).
9. Kul'chickij, V.E. (2018). [New hodographs of seismic waves in the Crimean-Black Sea region]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Geografiia. Geologiiia* [Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology], 4(70), 4, 164–173. (In Russ.).
10. European-Mediterranean Seismological Centre. (2023). Retrieved from <https://www.emsc-csem.org/Earthquake>
11. Krasilov, S.A., Kolomiets, M.V., & Akimov, A.P. (2006). [Organization of digital seismic data processing using the WSG google software package]. In *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Materialy Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly, posviashchennoi 100-letiiu ot-krytiia seismicheskikh stantsii «Pulkovo» i «Ekaterinburg»* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials of the International seismological school dedicated to the 100th anniversary of the opening of the «Pulkovo» and «Yekaterinburg» seismic stations] (pp. 77–83). Obninsk, Russia: GS RAN Publ. (In Russ.).
12. Pustovitenko, B.G., Rautian, T.G., & Svidlova, V.A. (1983). [Determination of the magnitudes and energy classes of earthquakes from observations in the Crimean region]. In *Seismologicheskii byulleten' 11. Zapadnoi territorial'noi zony ESSN SSSR (Krym-Karpaty za 1978–1979)* [Seismological Bulletin of the Western Territorial Zone of the ESSN USSR (Crimea–Carpathians for 1978–1979)] (pp. 126–138). Kiev, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (In Russ.).
13. Pustovitenko, B.G., Eredzhepov, E.E., & Bondar', M.N. (2023). [Focal parameters of earthquakes in the Crimean-Black Sea region in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 246–256. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.21> EDN: JIZXYC
14. Kozinenko, N.M., Svidlova, V.A., & Sykchina, Z.N. (2023). [Catalog of earthquakes in the Crimean-Black Sea region in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html> (In Russ.).
15. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 seismic intensity scale]. Moscow: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
16. Gabsatarova, I.P., Mekhrushev, D.Yu., Koroletski, L.N., Adilov, A.Z., Magomedov, Kh.D., Saiapina, A.A., Bagaeva, S.S., Yankov, A.Yu., & Ivanova, L.E. (2020). [North Caucasus]. In *Zemletriaseniia Rossi v 2018 godu* [Earthquakes in Russia in 2018.] (pp. 17–24). Obninsk: GS RAN Publ. (In Russ.).
17. Klyanchin, A.I. (2019). [Macroseismic manifestations of two perceptible earthquakes on April 24, 2018 and September 13, 2018]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Geografiia. Geologiiia* [Scientific notes of the Crimean Federal University. V.I. Vernadsky. Geography. Geology], 5(71), 4, 95–105. (In Russ.).
18. Pustovitenko, B.G., & Bondar', M.N. (2023). [Catalog of earthquake focal mechanisms in the Crimean-Black Sea region for 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html> (In Russ.).
19. Pustovitenko, B.G., Svidlova, V.A., & Bondar', M.N. (2020). [Crimean-Black Sea region]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 38–48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2020.23.03>
20. Vol'fman, Yu.M., Pustovitenko, B.G., Kolesnikova, E.Ya., & Ostanin, A.M. (2018). [Conditions of seismogenesis of the Crimean-Black Sea region (according to the decisions of earthquake focal mechanisms)]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Geografiia. Geologiiia* [Scientific notes of the Crimean Federal University. V.I. Vernadsky. Geography. Geology], 2(68), 4, 206–250. (In Russ.).