

УДК 550.348

СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА в 2021 году

Б.Г. Пустовитенко², М.Н. Бондарь^{1,2}, В.А. Свидлова¹

¹Институт сейсмологии и геодинамики Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Россия, epicrimea@mail.ru

²ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», г. Симферополь, Россия, bpustovitenko@mail.ru

Аннотация. Обзор сейсмичности Крымско-Черноморского региона за 2021 г. представлен по результатам сейсмического мониторинга десятью региональными цифровыми станциями, включая новый пункт сейсмических наблюдений «Опук», открытый в мае 2021 г. на Керченском полуострове. Рассматриваемый период характеризуется слабой сейсмической активностью в регионе. Всего зарегистрировано 96 землетрясений в диапазоне энергетических классов $K_{\Pi}=4.6\text{--}10.2$, большая часть из которых с $K_{\Pi}\leq 8$ не является представительной для всей контролируемой территории. Годовая суммарная выделенная сейсмическая энергия $\Sigma E=48.619\cdot 10^9$ Дж меньше в ~32 раза среднегодового значения энергии за предыдущий 10-летний период. Три землетрясения относятся к ощущимым. Два из них, 13 марта и 17 сентября, произошли в Керченско-Анапском районе, с максимальной интенсивностью $I_{\max}=3\text{--}4$ балла и $I_{\max}=2\text{--}3$ балла соответственно, а третья, 11 января, – в Ялтинском с $I_{\max}=2\text{--}3$ балла на побережье Южного берега Крыма. Для землетрясения 2 июня с $K_{\Pi}=10.2$ из Севастопольского района получено и описано решение механизма очага в рамках двойного диполя.

Ключевые слова: сейсмичность, сейсмическая сеть, энергетический класс, энергетическая представительность, интенсивность, механизм очага, график Беньоффа, закон повторяемости.

Для цитирования: Пустовитенко Б.Г., Бондарь М.Н., Свидлова В.А. Сейсмичность Крымско-Черноморского региона в 2021 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 44–51. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.03> EDN: BADULA

Введение. В 2021 г. инструментальные сейсмические наблюдения в Крыму осуществлялись Институтом сейсмологии и геодинамики Крымского федерального университета (ИСГ КФУ) им. В.И. Вернадского совместно с Государственным автономным учреждением «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства» (ГАУ «КРЦ»). Сводная обработка полученной информации проводилась в ИСГ КФУ. Границы и размеры Крымско-Черноморского региона соответствуют принятым в 1985 г. [1]. По сейсмотектоническим условиям, уровню сейсмической активности и представительности регистрации землетрясений весь контролируемый сейсмоактивный регион условно разделен на девять районов [2]: 1 – Севастопольский, 2 – Ялтинский, 3 – Алуштинский, 4 – Судакско-Феодосийский, 5 – Керченско-Анапский, 6 – Степной Крым, 7 – Азово-Кубанский, 8 – Северо-Западный, 9 – Черноморская впадина (рис. 1). В статье дается анализ пространственно-временных и энергетических свойств и особенностей сейсмичности за 2021 г. в пределах границ региона и в отдельных его районах.

Сеть сейсмических станций. Сейсмические наблюдения в регионе осуществлялись на шести стационарных станциях Крыма: «Симферополь» (SIM), «Севастополь» (SEV), «Ялта» (YAL), «Алушта» (ALU), «Феодосия» (FEO), «Судак» (SUDU) – и четырех станциях ГАУ «КРЦ», работающих в автономном режиме: «Тарханкут» (TARU), «Донузлав» (DNZ2), «Керчь» (KERU), «Опук» (OPUK). Новый пункт регистрации «Опук» (OPUK) был открыт 19 мая 2021 г. в с. Марьевка Ленинского района на юге Керченского п-ова. Размещение станций сети Крыма показано на (рис. 1). Общие сведения о пунктах и параметрах цифровой регистрирующей аппаратуры сейсмических станций региона представлены в [3].

Карта энергетической представительности K_{\min} на территории региона в 2021 г. не претерпела существенных изменений по сравнению с таковой за 2020 год [4]. Как и прежде, землетрясения с $K_{\Pi}=9.0$ являются представительными для всей территории региона. Изолиния с $K_{\min}=8$ покрывает все центральные сейсмоактивные зоны региона вплоть до Таманского п-ова. Область регистрации слабых землетрясений с $K_{\min}=6$ охватывает пока только небольшой участок вблизи станций «Севастополь», «Ялта», «Симферополь», «Судак». Вместе с тем на качественном уровне можно отметить, что дополнительно открытая на Керченском п-ове станция «Опук» может внести вклад в расширение границ $K_{\min}\leq 7$ в восточной части региона. Так, за полгода своего существования

станция «Опук» уже зарегистрировала десять землетрясений в диапазоне $K_{\Pi}=6.3-10.2$, произошедших на эпицентрических расстояниях от 43 км до 268 км, из них четыре – непредставительных ($K_{\min}\leq 8$) с дальностью регистрации 117 км [5]. Для количественных расчетов и пересмотра границ областей энергетической представительности K_{\min} с учетом новой станции «Опук» имеющейся статистики пока недостаточно.

Методика обработки сейсмологических данных региона не изменилась и подробно описана в [6, 7]. Параметры гипоцентров землетрясений и время в очаге определялись с помощью программы GIPO, содержащей уточненный годограф волн землетрясений Крымско-Черноморского региона [8]. Дополнительно привлекалась сейсмическая информация о волновых формах ФИЦ ЕГС РАН [9], EMSC [10]. Для энергетической классификации сейсмических событий использовалась адаптированная под цифровые записи региональная шкала K_{Π} [11], с дифференциацией по станциям, расстояниям и введением поправок на районы Крыма [7].

Каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2021 г. [12] содержит основные параметры 96 землетрясений в диапазоне энергетических классов $K_{\Pi}=4.6-10.2$. Для пяти событий дополнительно определена магнитуда по коду Mc [13], для 25 – ML_{WSG} и для 12 получены моментные магнитуды Mw [14]. Диапазон магнитуд составил: $Mc=2.4-3.2$, $Mw=2.0-3.7$, $ML_{WSG}=1.9-3.5$.

Три землетрясения в 2021 г. были ощущимы. Два из них произошли в Керченско-Анапском районе [9, 15] и одно – в Ялтинском [15]. Сейсмические колебания от этих событий не очень высокого энергетического уровня ($K_{\Pi}=8.8-9.5$) макросейсмически проявились только в ближайших к очагам населенных пунктах Северного Кавказа и Южного берега Крыма с интенсивностью $I_{\max}=2-3$ балла по шкале MSK-64 [16].

Для землетрясения 2 июня 2021 г. с $K_{\Pi}=10.2$ получено решение механизма очага, параметры которого приведены в [14, 17].

Карта эпицентров очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2021 г. приведена на рис. 1. Практически все очаги зарегистрированных землетрясений приурочены к акватории Чёрного моря и расположены на расстояниях от $\Delta_{\min}=3$ км до $\Delta_{\max}=400$ км от сейсмических станций Крыма. Максимальная концентрация очагов землетрясений сосредоточена в пределах зоны континентального склона на глубинах $h=5-45$ км.

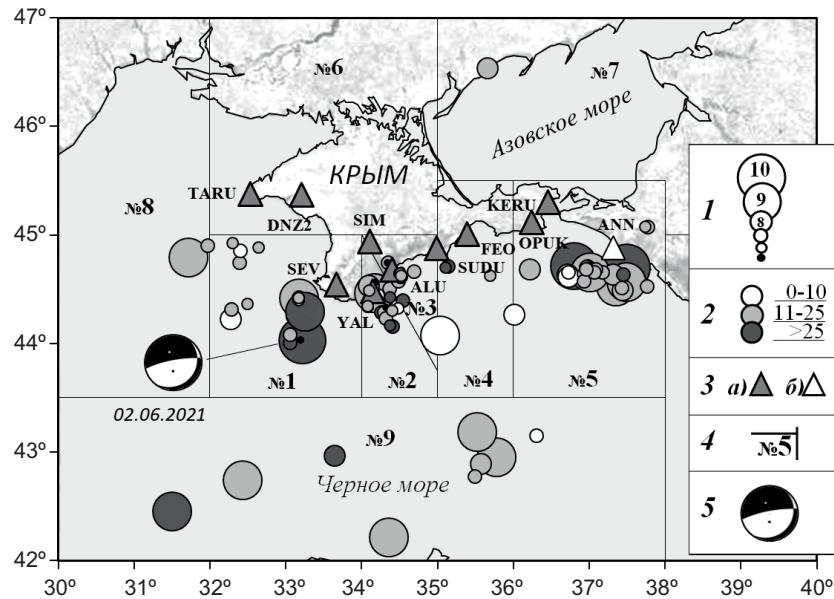


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2021 г.

1 – энергетический класс K_{Π} ; 2 – глубина гипоцентра h , 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 – диаграмма механизма очага по работе [14] (в проекции для нижней полусфера).

Сейсмичность региона. Региональный уровень сейсмичности в 2021 г. рассмотрим в сравнении с общей динамикой сейсмических процессов в регионе за последние 10 лет (рис. 2), представленной временными функциями годовой суммарной сейсмической энергии $\Sigma E=f(t)$ и количеством зарегистрированных землетрясений N .

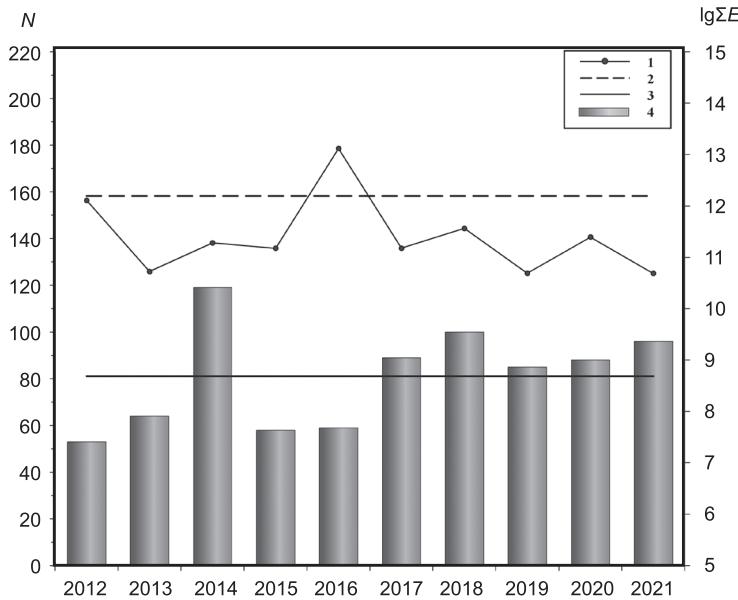


Рис. 2. Распределение во времени суммарной выделенной энергии ΣE (1) и числа землетрясений N (4) в Крымско-Черноморском регионе за период 2012–2021 гг. Средние значения: ΣE – (2), N – (3)

Видно, что число локализованных в 2021 г. землетрясений $N_\Sigma=96$ выше среднегодового значения $N_{cp}=81$ за десятилетний период наблюдений (рис. 2). При этом суммарная сейсмическая энергия $\Sigma E=48.619 \cdot 10^9$ Дж уменьшилась в 32 раза по сравнению со среднегодовым значением за тот же период – $\Sigma E_{cp}=1562 \cdot 10^9$ Дж и в 5 раз – в сравнении с таковой в предыдущем году [4]. Можно также отметить общую тенденцию снижения уровня ΣE в регионе за последние пять лет после 2016 г. (рис. 2).

Закон повторяемости землетрясений, представленный графиком $\lg N(K_\Pi)$ по данным за последние четыре года, включая 2021 г. (рис. 3), заметно изменился по сравнению с предыдущим периодом (2015–2019 гг.) [18].

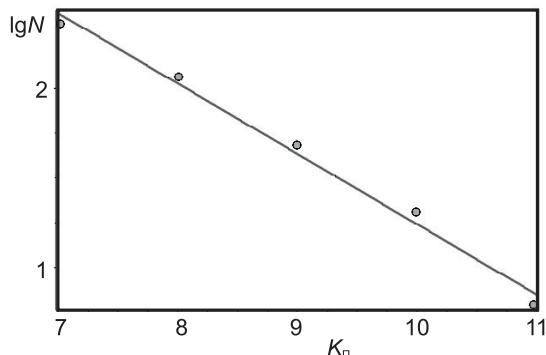


Рис. 3. График повторяемости землетрясений в регионе за период 2018–2021 гг.

Кумулятивное распределение числа землетрясений по энергетическому уровню землетрясений представлено в виде уравнений ортогональной регрессии за период 2018–2021 гг. (1) и 2015–2019 гг. (2):

$$\lg N_\Sigma = -(0.39 \pm 0.02) \cdot K_\Pi + (5.17 \pm 0.16), \rho = 0.99, \quad (1)$$

$$\lg N_\Sigma = -(0.45 \pm 0.01) \cdot K_\Pi + (5.11 \pm 0.32), \rho = 0.99, \quad (2)$$

где ρ – коэффициент корреляции.

Уменьшение углового коэффициента графика повторяемости землетрясений, возможно, связано с увеличением напряжений в глубинной среде региона периода вследствие дилатантного упрочнения пород перед разрушением, как это следует из теории ЛНТ [19].

Распределение количества землетрясений и высвободившейся в очагах сейсмической энергии в 2021 г. было пространственно неравномерным, как по глубине, так и по отдельным районам региона (табл. 1, рис. 4). Гипоцентры зарегистрированных землетрясений были расположены в широком диапазоне глубин от $h=5$ км до $h=45$ км (рис. 4 а). Большая их часть (27) расположена в земной коре на глубине $h=21$ – 25 км (рис. 4 б), где выделилось 12.7% годовой энергии в 2021 г. (рис. 4 в). В зоне перехода кора-мантия, $h>35$ км, произошло четыре землетрясения, два из которых с энергетическим классом $K_\Pi=10.2$ (рис. 4 а, б) внесли максимальный вклад в сумму годовой энергии (66.3%) (рис. 4 в).

Наибольшее количество землетрясений N_Σ с $K_\Pi>7$, а также высвободившейся в очагах сейсмической энергии ΣE приходится на Керченско-Анапский (№ 5) район (табл. 1).

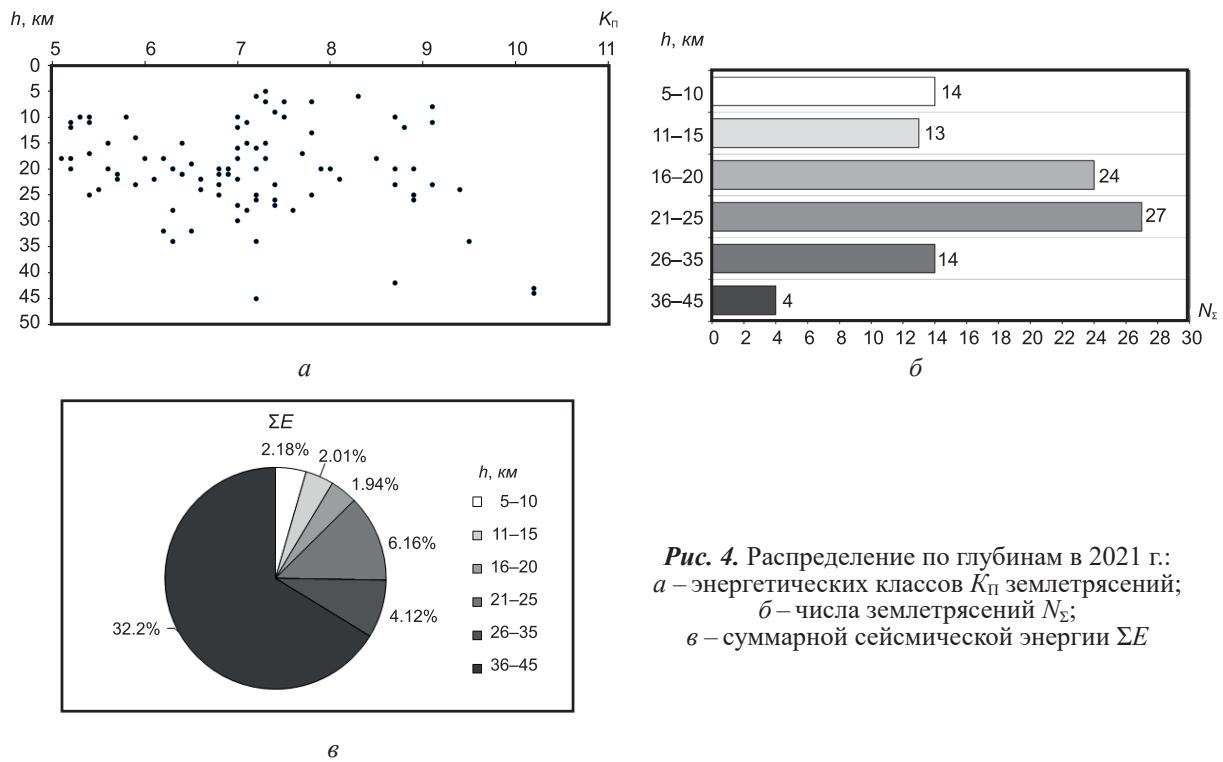


Рис. 4. Распределение по глубинам в 2021 г.:
а – энергетических классов K_{Π} землетрясений;
б – числа землетрясений N_{Σ} ;
в – суммарной сейсмической энергии ΣE

Таблица 1. Распределение числа землетрясений N по энергетическим классам K_{Π} и суммарной сейсмической энергии ΣE по районам в 2021 г.

Район		Энергетический класс K_{Π}							ΣN	ΣE , 10^9Дж
№	Наименование	4	5	6	7	8	9	10		
1	Севастопольский	–	1	5	8	1	2	1	18	17.290106
2	Ялтинский	–	4	7	6	1	2	–	20	1.268785
3	Алуштинский	–	7	4	5	–	–	–	16	0.077889
4	Судакско-Феодосийский	–	–	2	1	–	1	–	4	1.274510
5	Керченско-Анапский	–	–	1	14	6	3	2	26	22.27169
6	Степной Крым	–	–	–	–	–	–	–	–	–
7	Азово-Кубанский	–	–	–	–	1	–	–	1	0.079433
8	Северо-Западный	–	–	–	1	–	1	–	2	2.521886
9	Черноморская впадина	–	–	–	2	2	5	–	9	3.834760
	Всего	–	12	19	37	11	14	3	96	48.619060

В **Севастопольском районе (№ 1)** в течение 2021 г. зарегистрировано 18 событий с классами $K_{\Pi}=5.2-10.2$. По уровню выделившейся энергии этот район занимает второе место в регионе (табл. 1). Для наиболее сильного землетрясения 2 июня в 18^h16^m с $K_{\Pi}=10.2$ получено решение фокального механизма [14]. Землетрясение возникло в районе резкого изгиба изобат континентального склона, зоны сопряжения Южнобережной и Синопско-Одесской крупных сейсмотектонических структур [20] под действием близгоризонтальных сил растяжения. В очаге произошел крутой сброс по нодальной плоскости $NP1$ юго-западного простириания и сбросо-сдвиг с преобладанием сбросовой составляющей по $NP2$ северо-восточного простириания (см. рис. 1).

В **Ялтинском районе (№ 2)** наблюдалась умеренная сейсмическая активность, на два порядка выше уровня 2020 г. Здесь зафиксировано 20 землетрясений с $K_{\Pi}=5.2-8.8$. Ощутимое землетрясение с $K_{\Pi}=8.8$ произошло 11 января в 20^h32^m в четырех километрах северо-восточнее сейсмостанции «Ялта» на глубине $h=11$ км. Из-за близости к населенным пунктам побережья оно ощущалось в г. Ялта с интенсивностью $I=2.5-3$ балла, в пгт Массандра, Ливадия – $I=2-3$ балла [15].

Из **Алуштинского района (№ 3)** зарегистрировано 16 слабых непредставительных землетрясений с $K_{\Pi}=4.6-7.4$, расположенных в земной коре береговой и прибрежной части Южного берега Крыма (ЮБК).

Слабая сейсмичность **Судакско-Феодосийского района (№ 4)** несколько активизировалась к концу года, с реализацией 24 ноября в $10^{13}39^m$ наиболее сильного землетрясения с $K_{\Pi}=9.1$. Всего в этом районе локализовано четыре толчка с $K_{\Pi}=6.0-9.1$.

Керченско-Анапский район (№ 5) в 2021 г., как и в предыдущем, является наиболее активным в регионе. Крымской сейсмической сетью зарегистрировано 26 землетрясений с $K_{\Pi}=6.3-10.2$. В очагах землетрясений района высвободилось 45.8% от общей годовой сейсмической энергии. Два землетрясения вызвали сотрясения в населенных пунктах Кавказского побережья Чёрного моря [9, 15]. Первое произошло 13 марта в $22^{h}15^m$ с $K_{\Pi}=9.1$, $h=11$ км и максимальной интенсивностью $I=3-4$ балла, второе – 17 сентября в $16^{h}50^m$ с $K_{\Pi}=9.5$, $h=34$ км и $I=2.5$ балла по шкале MSK-64 [16].

В **Степном Крыму (район № 6)** наблюдалось полное сейсмическое затишье. **Азово-Кубанский район (№ 7)** по-прежнему оставался спокойным, здесь отмечено только одно фоновое землетрясение с $K_{\Pi}=7.9$.

Сейсмичность удаленных, обширных по площади краевых районов региона, **Северо-Западного (№ 8)** и **Черноморской впадины (№ 9)**, проявилась в шести представительных землетрясениях с $K_{\Pi} \sim 9$ и пяти относительно слабых событиях с $K_{\Pi} \leq 8$, зарегистрированных с предельной дальностью регистрационных возможностей региональной сети (табл. 1).

Проследим динамику накопления и высвобождения деформаций в регионе по временному ходу высвобождения суммарной энергии E землетрясений – графикам Беньоффа [21, 22]. Графики построены с осреднением энергии $E^{2/3}$ по периодам в один год (рис. 5).

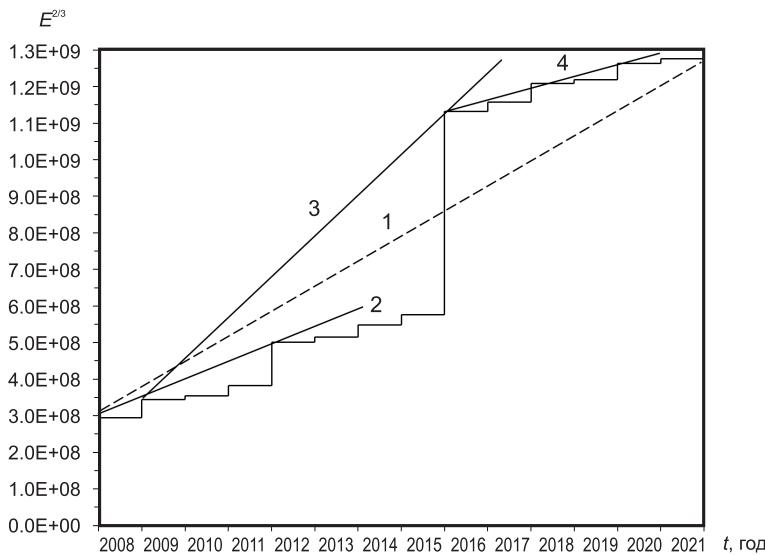


Рис. 5. Временной ход высвобождения упругих деформаций в регионе за последние 14 лет.
Линии 1, 2, 3, 4 – отдельные этапы снятия напряжений

С учетом данных за 2021 г. деформация среды за последние 14 лет в регионе протекала при средней скорости $V_1=7.45 \cdot 10^7$ Дж/год (прямая 1 на рис. 5). За этот период можно выделить три этапа снятия деформаций: относительно «спокойный» 2008–2012 гг. при скорости $V_2=4.1 \cdot 10^7$ Дж/год (прямая 2), «высокоскоростной» 2009–2016 гг. (прямая 3) с $V_3=1.7 \cdot 10^8$ Дж/год и вновь «спокойный» 2017–2021 гг. (прямая 4, $V_4=2.41 \cdot 10^7$ Дж/год).

Экстраполируя прямую линию 4 вперед по времени, можно предположить, что накопленная деформация среды в регионе не полностью высвобождена в последние 5 лет (2017–2021 гг.) и сейсмическая обстановка в регионе сохраняется потенциально опасной на ближайшие 2–4 года. Отмеченное выше уменьшение углового коэффициента графика повторяемости землетрясений в последние годы (уравнение 1) и монотонный спад суммарной выделенной сейсмической энергии (рис. 2) дополняют это предположение.

Заключение. По энергетическому уровню сейсмичность Крымско-Черноморского региона в 2021 г. оценивается как относительно слабая по сравнению с многолетним годовым уровнем. Отмечен продолжающийся в течение 5 лет спад выделенной сейсмической энергии, уменьшение углового коэффициента графика повторяемости и скорости высвобождения деформаций в глубинной среде. Три землетрясения с $K_{\Pi}=8.8-9.1$, произошедшие в непосредственной близости к побережью Крыма и Кавказа, ощущались населением с интенсивностью от 2 до 3 баллов. Открытие в 2021 г. новой сейсмической станции «Опук» увеличивает дальность регистрации слабых сейсмических толчков в восточной части региона и способствует улучшению точности локации их гипоцентров.

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие: И.В. Калинюк, В.А. Бойко, Н.М. Козиненко, В.А. Свидлова, З.Н. Сыччина, Б.Г. Пустовитенко, М.Н. Бондарь, С.Г. Пойгина.

Электронное приложение App02_Crimea_2021 (<http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>): 1 – Сейсмические станции Крыма в 2021 г.; 2 – Каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2021 г.; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2021 г.; 4 – Макросейсмический эффект землетрясений в населенных пунктах Крымско-Черноморского региона в 2021 г.; 5 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощущимых землетрясений Крыма в 2021 г.

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. Калинюк И.В., Бойко В.А. Сейсмические станции Крыма в 2021 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>
4. Свидлова В.А., Бондарь М.Н. Сейсмичность Крымско-Черноморского региона в 2020 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 44–51. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.03> EDN: CWXQWP
5. 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. – 2022. – Т. 8(74), № 4. – С. 7–79.
6. Кульчицкий В.Е. Программа расчета координат гипоцентров землетрясений (GIPO-08) // Сейсмологический бюллетень Украины за 2008 год. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2010. – С. 28–33.
7. 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., Швырло Н.И. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2014. – 264 с.
8. Кульчицкий В.Е. Новые годографы сейсмических волн Крымско-Черноморского региона // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. – 2018. – Т. 4, № 4. – С. 164–173.
9. Сейсмологический бюллетень (сеть телесейсмических станций), 2021. (2025) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2021
10. European Mediterranean Seismological Centre. (2025). [Site]. – URL: <http://www.emscsem.org/Earthquake/earthquake.php>
11. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е. Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. – 1974. – Т. 2. – С. 113–125.
12. Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыччина З.Н. Каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2021 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>
13. 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.
14. Пустовитенко Б.Г., Эреджепов Э.Э., Бондарь М.Н. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2021 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – С. 228–237. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.21> EDN: RJCUEN
15. Бондарь М.Н. Макросейсмический эффект землетрясений в населенных пунктах Крымско-Черноморского региона в 2021 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>
16. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
17. Пустовитенко Б.Г., Бондарь М.Н. Каталог механизмов очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2021 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2025. – Вып. 28 (2021). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html>
18. Пустовитенко Б.Г., Свидлова В.А., Бондарь М.Н. Сейсмичность Крымско-Черноморского региона в 2018–2019 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.06.03> EDN: MPZWQA
19. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. – М: Наука, 1988. – 313 с.
20. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Борисенко Л.С., Поречнова Е.И. Общее сейсмическое районирование территории Крыма (ОСР-98) // Геофизический журнал. – 1999. – № 6. – С. 3–15.
21. Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. – М.: Наука, 1975. – 179 с.
22. Беньофф Г. Накопление и высвобождение деформаций по наблюдениям сильных землетрясений // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 199–211.

SEISMICITY of the CRIMEAN-BLACK SEA REGION in 2021***B.G. Pustovitenko², M.N. Bondar^{1,2}, V.A. Svidlova¹***

¹*Institute of Seismology and Geodynamics of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol, Russia, epicrimea@mail.ru*

²*SAU "Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment, Technical Inspection of Construction Facilities", Simferopol, Russia, bpustovitenko@mail.ru*

Abstract. A review of seismicity in the Crimean-Black Sea region for 2021 is presented based on the results of seismic monitoring by ten regional digital stations, including the new «Opuk» seismic station, opened in 2021 on the Kerch Peninsula. The period under consideration is characterized by weak seismic activity in the region. A total of 96 earthquakes were recorded in the range of energy classes $K_p=4.6-10.2$, most of which with $K_p\leq 8$ are not representative for the entire controlled territory. The annual total released seismic energy $\Sigma E=48.619\cdot 10^9 J$ is ~ 32 times less than the average annual energy value for the previous 10-year period. Three earthquakes are considered significant, two of them occurred on March 13 and September 17 in the Kerch-Anapa region, with maximum intensity $I_{max}=3-4$ and $I_{max}=2-3$ respectively, and the third on January 11 – in Yalta with $I_{max}=2-3$ on the coast of the South Coast. For the June 2 earthquake with $K_p=10.2$ from the Sevastopol region, a solution to the focal mechanism within the framework of a double dipole was obtained and described.

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

For citation: Pustovitenko, B.G., Bondar M. N., & Svidlova, V.A. (2025). [Seismicity of the Crimean-Black Sea region in 2021]. *Zemletriasenia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 44–51. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.03> EDN: BADULA

References

1. Kondorskaia, N.V. (1988). *Zemletriasenia 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). *Zemletriasenia Krymsko-Chernomorskogo regiona* [Earthquakes in the Crimean-Black Sea region]. Kiev, Ukraine: Naukova Dumka Publ., 192 p. (In Russ.).
3. Kaliniuk, I.V., & Boiko, V.A. (2025). [Seismic stations of Crimea in 2021]. *Zemletriasenia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html> (In Russ.).
4. Svidlova, V.A., & Bondar', M.N. (2023). [Crimean-Black Sea region in 2020]. *Zemletriasenia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 44–51. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.03> EDN: CWXQWP
5. Svidlova, V.A., Bondar', M.N., & Boiko, V.A. (2022). [Seismicity in Crimea in 2021]. *Uchenye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. Geografija. Geologija* [Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology], 8(74), 4, 7–79. (In Russ.).
6. Kul'chitskii, V.E. (2010). [Program for calculating the coordinates of earthquake hypocenters (GIPO-08)]. In *Seismologicheskii biulleten' Ukrayiny za 2008 god* [Seismological Bulletin of Ukraine for 2008] (pp. 28–33). Sevastopol, Ukraine: NPC «EKOSI-Gidrofizika» Publ. (In Russ.).
7. 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-Chernomorskem regione* [Monitoring of seismic processes in the Crimean-Black Sea region]. Sevastopol, Russia: NPC «EKOSI-Gidrofizika» Publ., 264 p. (In Russ.).
8. Kul'chitskii, V.E. (2018). [New hodographs of seismic waves in the Crimean-Black Sea region]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Geografija. Geologija* [Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology], 4(70), 4, 164–173. (In Russ.).
9. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2021. (2025). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2021
10. European Mediterranean Seismological Centre. (2025). Retrieved from <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/earthquake.php>
11. Pustovitenko, B.G., & Kul'chitskii, V.E. (1974). [On the energy assessment of earthquakes in the Crimean-Black Sea region]. *Magnituda i energeticheskaiia klassifikatsiia zemletriasenii, T. 2.* [Magnitude and energy classification of earthquakes, Vol. 2.] (pp. 113–12). Moscow, Russia: IFZ AN SSSR Publ. (In Russ.).
12. Kozinenko, N.M., Svidlova, V.A., & Sykchina, Z.N. (2025). [Catalog of earthquakes in the Crimean-Black Sea region in 2021]. *Zemletriasenia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html> (In Russ.).
13. 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 biulleten' Zapadnoi territorial'noi zony ESSN SSSR (Krym-Karpaty za 1978–1979)* [Seismological Bulletin of the Western Terri-

- torial Zone of the ESSN USSR (Crimea–Carpathians for 1978–1979)] (pp. 126–138). Kiev, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (In Russ.).
14. Pustovitenko, B.G., Eredzhepov, E.E., & Bondar', M.N. (2025). [Spectral and focal parameters of earthquakes in the Crimean-Black Sea region in 2021]. *Zemletriasenii Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021), 228–237. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2025.28.21> EDN: RJCUEN
 15. Bondar', M.N. (2025). [Macroseismic effect of earthquakes in the settlements of the region in 2021]. *Zemletriasenii Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html> (In Russ.).
 16. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
 17. Pustovitenko, B.G., & Bondar', M.N. (2025). [Catalog of earthquake focal mechanisms in the Crimean-Black Sea region for 2021]. *Zemletriasenii Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 28(2021). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-28.html> (In Russ.).
 18. Pustovitenko, B.G., Svidlova, V.A., & Bondar', M.N. (2023). [Seismicity of the Crimean-Black Sea region in 2018–2019]. *Zemletriasenii Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 48–55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.03> EDN: MPZWQA
 19. Sobolev, G.A. (1988). *Osnovy prognoza zemletriasenii* [Earthquake Forecasting Basics]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 313 p. (In Russ.).
 20. Pustovitenko, B.G., Kul'chitskii, V.E., Borisenko, L.S., & Porechnova, E.I. (1999). [General seismic zoning of the territory of Crimea (GSZ-98)]. *Geofizicheskii zhurnal* [Geophysical journal], 6, 3–15. (In Russ.).
 21. Kostrov, B.V. (1975). *Mehanika ochaga tektonicheskogo zemletriasenija* [Tectonic earthquake source mechanics]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 179 p. (In Russ.).
 22. Ben'off, G. (1961). [Accumulation and Release of Strain According to the Observations of Strong Earthquakes]. In *Slabye zemletriasenii* [Weak earthquakes] (pp. 199–211). Moscow, Russia: IL Publ. (In Russ.).