

СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА в 2016–2017 гг.**Б.Г. Пустовитенко¹, В.А. Свидлова², М.Н. Бондарь^{1,2}**¹ГАОУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», г. Симферополь, Республика Крым, Россия, bpustovitenko@mail.ru²Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, epicrimea@mail.ru

Аннотация. Обзор сейсмичности Крымско-Черноморского региона проведен по данным сейсмического мониторинга региональной сетью цифровых станций. Всего в 2016–2017 гг. сетью станций Крыма зарегистрировано 148 землетрясений в диапазоне энергетических классов $K_{II}=3.5–13.1$, большая часть из которых является представительной только на незначительной территории вблизи побережья. 2016 г. характеризовался повышенной сейсмической активностью в регионе. Суммарная выделенная сейсмическая энергия ~ в 16 раз больше среднегодового значения за последние 10 лет. Наибольшая активизация сейсмических процессов наблюдалась в районе Черноморской впадины, где отмечены три землетрясения с максимальным энергетическим классом $K_{II}=10.9–13.1$ ($M_w=4.1–5.1$). В центральной части региона вблизи Южного берега Крыма произошло ощутимое землетрясение с $M_w=3.6$ и наблюдаемой интенсивностью до 5 баллов в г. Алуште. В 2017 г. сейсмичность региона была на уровне фоновой, с локальной активизацией сеймотектонических структур в виде серии слабых толчков с $K_{II}=5.6–7.1$ в центре Керченского п-ова. Для пяти наиболее сильных землетрясений получены и представлены решения механизма очагов. Рассмотрено развитие сейсмического процесса в регионе по временному изменению суммарной выделенной энергии и графику Бенъоффа.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.03 EDN: PNZYRD

Для цитирования: 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: 10.35540/1818-6254.2022.25.03. EDN: PNZYRD

Регион и районы. В 2016–2017 гг. сейсмический мониторинг Крымско-Черноморского региона выполнялся Институтом сейсмологии и геодинамики Крымского федерального университета (ИСиГ КФУ) им. В.И. Вернадского. 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 порогу 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. 3.).

Сеть станций и карта K_{min} . В 2016 г. мониторинг сейсмических процессов в регионе осуществлялся семью стационарными цифровыми сейсмическими станциями Крыма: «Симферополь» (SIM), «Севастополь» (SEV), «Ялта» (YAL), «Алушта» (ALU), «Феодосия» (FEO), «Судак» (SUDU), «Керчь» (KERU). На четырех станциях: «Симферополь», «Ялта», «Судак», «Севастополь» в течение апреля–июня 2016 г. проведена замена прежней цифровой регистрирующей аппаратуры MSP и MI на ЦРСС «Байкал-8» [3]. В июле 2016 г. по техническим причинам была приостановлена регистрация на станции «Керчь».

В 2017 г. восстановлены наблюдения в п. Оленёвка на станции «Тарханкут», временно приостановленные в начале 2015 года. 1 июня регистратор «Байкал» перенесен со станции «Судак» на пункт «Тарханкут». Общие сведения о станциях сети и параметрах цифровой регистрирующей аппаратуры представлены в [3].

Как и прежде [4, 5], практически для всей территории Крымско-Черноморского региона обеспечена представительная регистрация землетрясений с $K_{II} \geq 9.0$ (рис.1). На территории Крыма и вблизи побережья без пропуска регистрируются сейсмические события с $K_{II} \geq 8.0$. По сравнению с 2015 г. [5], заметно увеличилась площадь в пределах изолинии $K_{min}=7$ за счет модернизации сети наблюдений, в том числе возобновления работы станции «Тарханкут».

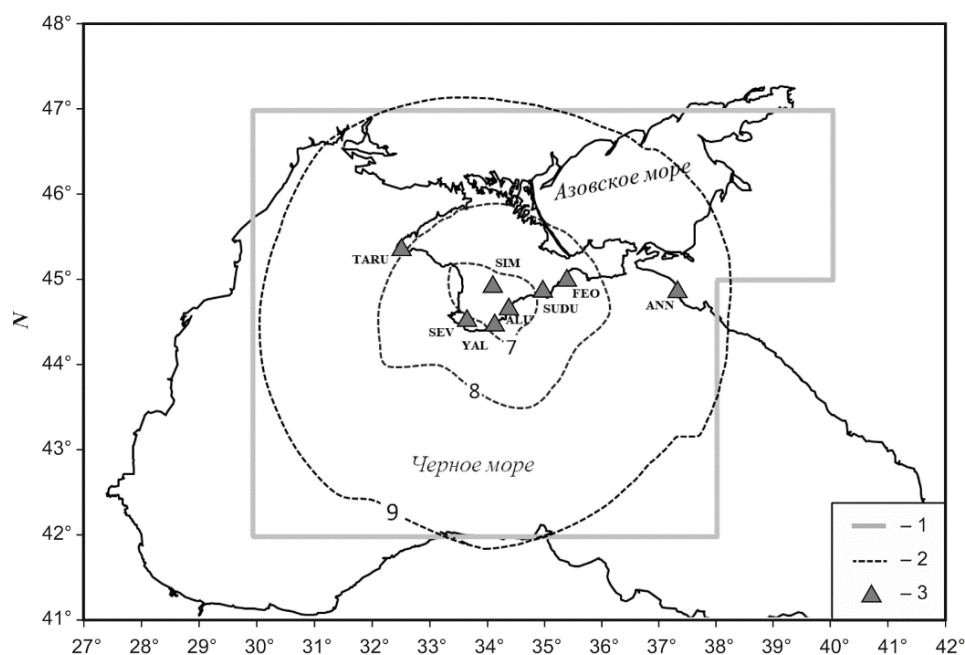


Рис. 1. Карта энергетической представительности K_{\min} землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2016–2017 гг.

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

Методика сводной обработки землетрясений региона описана в [6, 7] и в 2016–2017 гг. не претерпела изменений. При расчете гипоцентров сейсмических событий Керченско-Анапского и Северо-Западного районов, Черноморской впадины и Азовского моря использовались времена вступления первичных волн как на станциях Крыма, так и Северного Кавказа, Турции, Румынии, Молдовы и Украины из оперативного каталога EMSC [8].

Классификация землетрясений выполнена по энергетическим классам K_{Π} [9], а также по магнитудам: по локальным магнитудам ML_{WSG} [10], по коду M_c [11] и по моментным магнитудам M_w [12].

Каталог. В региональный каталог за 2016–2017 гг. [13] включены основные параметры 148 землетрясений. Для всех землетрясений определены энергетические классы K_{Π} , для 11 – M_c , для 19 – ML_{WSG} и для 21 – получены динамические параметры их очагов и моментные магнитуды M_w [12]. Диапазон энергетических классов составил $K_{\Pi}=3.5\text{--}13.1$, диапазон магнитуд – $M_c=2.5\text{--}5.1$, $M_w=2.1\text{--}5.1$, $ML_{WSG}=2.7\text{--}5.0$.

Ощутимым на территории Крыма было землетрясение 13 мая 2016 г. в 14^h05^m, которое макросейсмически проявилось на Южном берегу Крыма с интенсивностью от 3 до 4–5 баллов [14, 15]. Еще три ощутимые события 2017 г. наблюдались в Керченско-Анапском районе с максимальной интенсивностью одного из них до 3–4 баллов на побережье Северного Кавказа [14].

Сейсмичность региона. Общее число лоцированных в 2016 г. землетрясений $N_{\Sigma}=59$, ниже среднего $N_{cp}=79$ за десятилетний период наблюдений (2006–2015 гг.) [5], а в 2017 г. – $N_{\Sigma}=89$ (табл. 1).

Таблица 1. Распределение числа N_{Σ} землетрясений и суммарной сейсмической энергии ΣE по годам за 2006–2017 гг.

Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Среднее	2016	2017
K_{\max}	11	12	13	11	10	11	12	10	11	11	–	13	11
N_{Σ}	42	48	61	161	91	92	53	64	119	58	79	59	89
$\Sigma E, 10^9 \text{ Дж}$	215	683	5067	349	33	144	1288	53	191	149	817	13104	151

Сопоставление величины годовой суммарной энергии ΣE , высвободившейся в очагах этих землетрясений, с долговременным средним значением $\Sigma E_{cp}=8.17 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$ за тот же десятилетний период показывает, что в 2016 г. уровень суммарной сейсмической энергии $\Sigma E=131.04 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$ примерно в 16 раз превысил среднее долговременное значение (табл. 1; рис. 2, пунктир 2).

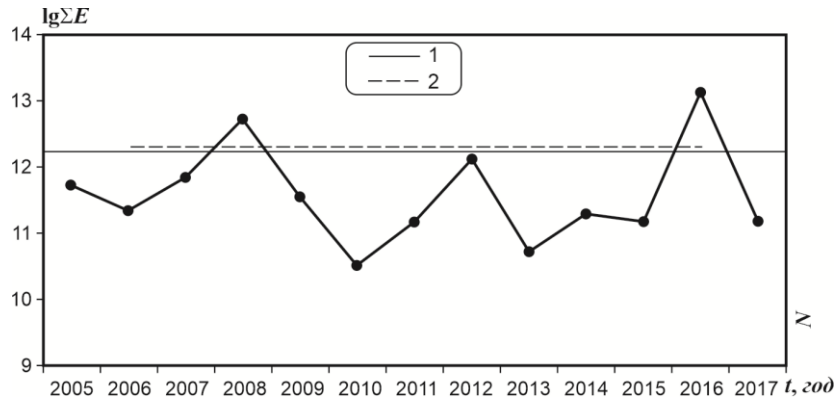


Рис. 2. График распределения логарифма энергии $lg\Sigma E$ по годам. 1, 2 – средние значения за период 2005–2017 г. и 2006–2015 г. соответственно

Среднее значение суммарной энергии $lg\Sigma E$ за 13 лет (включая 2017 г.) также почти на порядок ниже уровня 2016 г. (рис. 2, линия 1).

Ранее в работе [4, с. 41] на основе анализа аналогичного графика за 2005–2014 гг. было отмечено, что «можно ожидать активизацию сейсмичности в регионе в ближайшие два года», что и произошло в 2016 году.

В 2017 г. последовал резкий спад уровня годовой сейсмической энергии. $\Sigma E = 1.5106 \cdot 10^9$ Дж, что более чем в пять раз меньше среднего значения за десятилетний период.

Большая часть зарегистрированных землетрясений относится к акватории Черного моря (рис. 3) с наибольшей плотностью эпицентров с $K_{II} \geq 8$ вблизи побережья Северного Кавказа (район № 5). Очаги трех землетрясений уровня $K_{II} \sim 11$ и выше были расположены в 2016 г. только в пределах района Черноморской впадины (район № 9) и одного в 2017 г. – в Керченско-Анапском районе № 5.

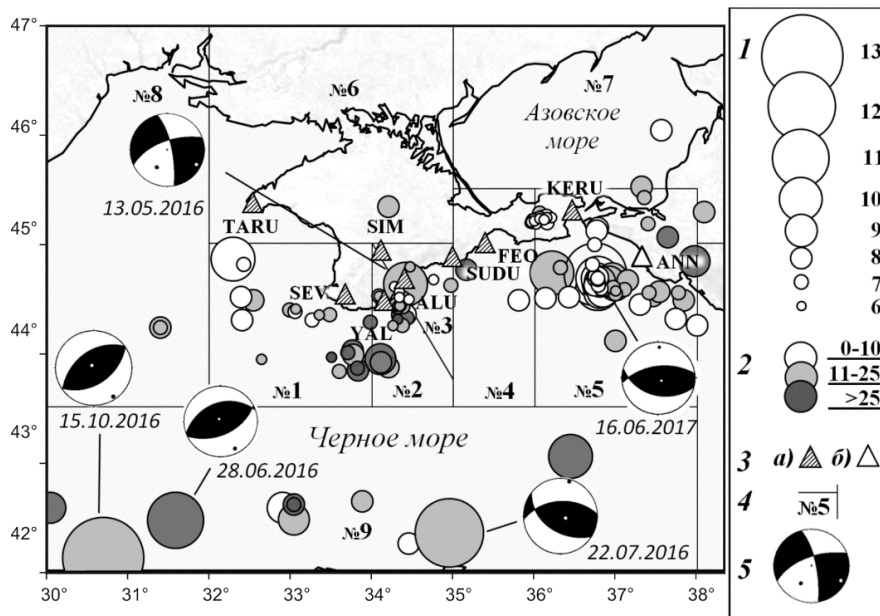


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2016–2017 гг.

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 нижней полусферы.

Глубины залегания очагов землетрясений всех районов находились в пределах $h=2-44$ км (рис. 4). За два года необычно большое число землетрясений (44.6 %) произошло в земной коре на малых глубинах $h=2-10$ км и 40.5 % – на средних глубинах $h=11-25$ км.

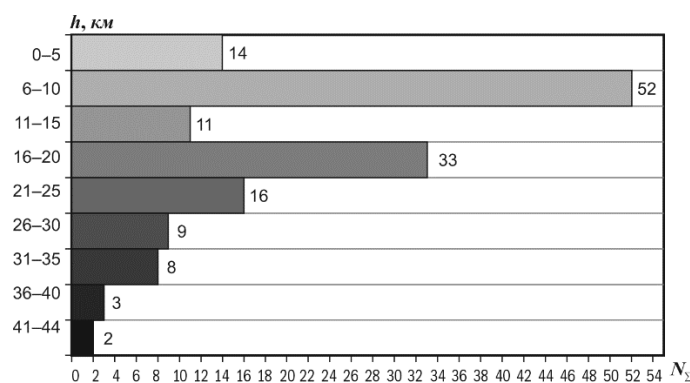


Рис. 4. Распределение числа землетрясений в 2016–2017 гг. по глубинам h , км

К зоне перехода кора-мантия, $h > 35$ км, можно отнести 3.4 % числа толчков, что не противоречит выводам о глубинах залегания очагов в регионе по результатам многолетних наблюдений [7]. Диапазон эпицентральных расстояний до станций Крыма составил от $\Delta_{\min} = 6$ км до $\Delta_{\max} = 496$ км.

Для наглядности на рис. 5 представлены гистограммы и графики распределения чисел N_{Σ} , логарифма суммарной выделенной энергии $\lg \Sigma E$ по районам для каждого года отдельно.

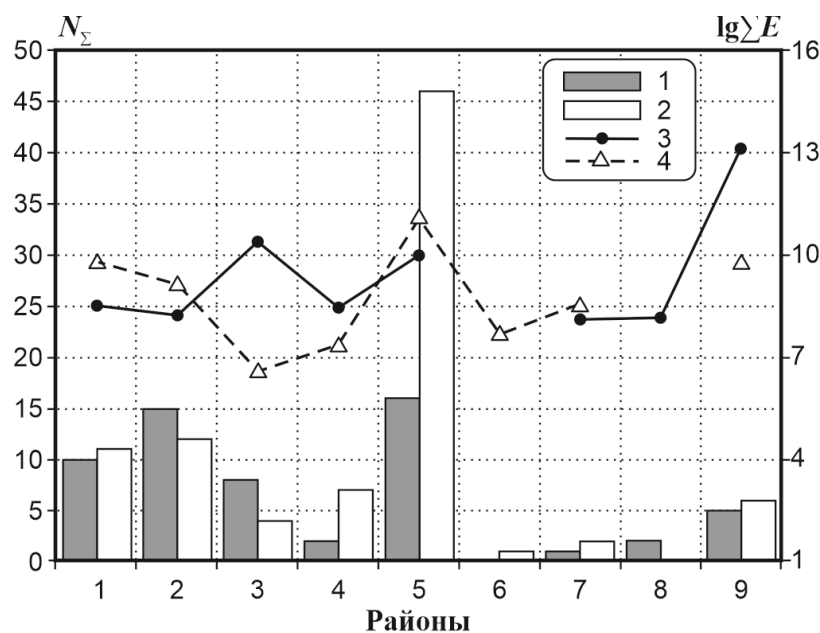


Рис. 5. Распределение по районам числа N_{Σ} землетрясений (1, 2) и логарифма суммарной энергии $\lg \Sigma E$ (3, 4) за 2016, 2017 гг. соответственно

Повышенный в 2016 г. уровень выделенной сейсмической энергии региона $\Sigma E = 131.04 \cdot 10^{11}$ Дж связан с резкой активизацией сейсмических процессов в **Черноморской впадине** (район № 9), где реализовались три наиболее сильные землетрясения года: 28 июня в 04 ч 23 мин с $K_{\Pi} = 10.9$, $M_w = 4.1$; 22 июля в 21^h40^m с $K_{\Pi} = 11.6$, $M_w = 4.3$ и 15 октября в 08^h18^m с $K_{\Pi} = 13.1$, $M_w = 5.1$ [13]. Последний самый сильный толчок 15 октября зарегистрирован многими станциями мировой сети на расстояниях от $\Delta = 109$ км (KDZE, Турция), до $\Delta = 151.1^\circ$ (RPZ, Новая Зеландия) [8]. Все три землетрясения произошли в обстановке горизонтальных сил сжатия со взбросовой подвижкой в очагах [12, 16]. Стереогаммы механизма очагов приведены на рис. 3.

В 2016 г. второе место по количеству суммарной выделенной энергии занял **Алуштинский район** (№ 3). Здесь 13 мая в 14^h05^m27.8^s зарегистрирован толчок с $K_{\Pi} = 10.4$, $M_w = 3.6$, который ощущался в 14 населенных пунктах ЮБК на расстояниях 5–21 км от инструментального эпицентра с интенсивностью от 2–3 до 4–5 баллов [14, 15]. Наибольшие сотрясения $I = 4–5$ баллов отмечены в г. Алуште с $I_{\max} = 5$ баллов в центральной части города [15]. Инструментальный эпицентр был расположен в 5 км южнее г. Алушты. Проявление макросейсмического эффекта землетрясения 13 мая 2016 г. на территории ЮБК отражено на карте–схеме по работе [15] (рис. 6).

Тип подвижки в очаге землетрясения 13 мая – чистый сдвиг [12, 16]. Обе нодальные плоскости имели близдиагональное простираие с близвертикальным погружением (см. стереогамму на рис. 3). Землетрясение сопровождалось пятью слабыми повторными толчками с $K_{\Pi} = 3.5–5.1$, первый из которых произошел через 3^h16^m.

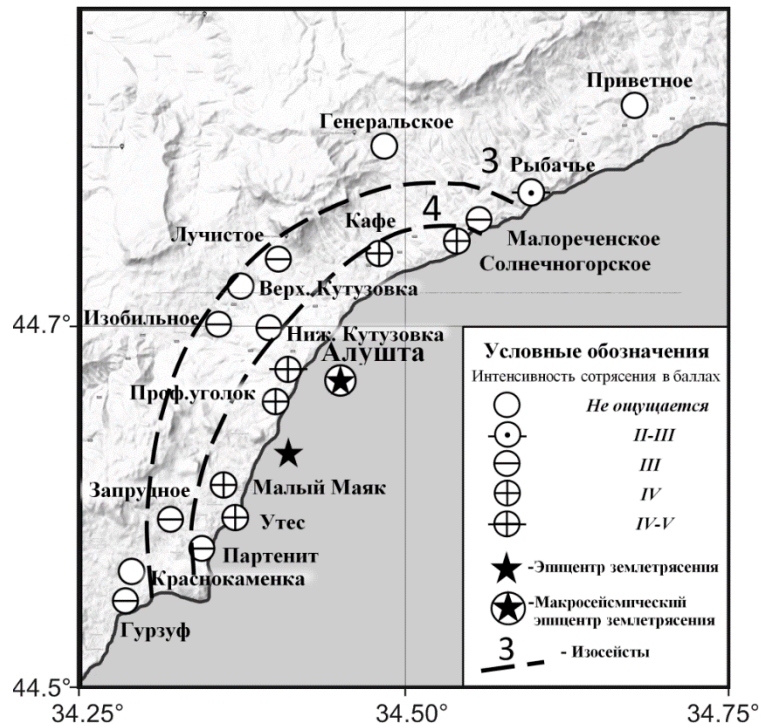


Рис. 6. Карта-схема распределения интенсивности сотрясений при землетрясении 13 мая по работе [15]

Энергетическая ступень между основным толчком и наиболее сильным афтершоком составила 5 порядков ($\Delta K_{II}=5.4$). Регистрация таких очень слабых непредставительных толчков оказалась возможной только ближайшими станциями «Алушта» и «Ялта».

В следующем, 2017 г., в Алуштинском районе (№ 3) отмечены четыре очень слабые землетрясения с $K_{II}=5.4-6.5$.

В целом 2017 г. характеризуется умеренной сейсмической активностью. Наиболее активным был **Керченско-Анапский район** (№ 5), где отмечено максимальное число землетрясений $N_{\Sigma}=46$ (рис. 5), в очагах которых выделилось 88.2 % всей годовой сейсмической энергии, $\Sigma E=136.41 \cdot 10^9$ Дж.

Самое сильное землетрясение года, 16 июня в $18^h17^m34.8^s$ с $K_{II}=11.0$, $M_w=4.1$, $ML_{WSG}=3.7$, $M_s=3.6$ и $h=9$ км, ощущалось с интенсивностью $I=3-4$ балла в четырех населенных пунктах: Анапа, Супсех, Новороссийск, Крымск [14]. В очаге землетрясения произошел взброс по обеим нодальным плоскостям, ориентированным близширотно (см. диаграмму на рис. 3). Землетрясение возникло под действием горизонтальных сжимающих напряжений меридионального направления [16].

Основной толчок 16 июня с $K_{II}=11.0$ сопровождался афтершоковой последовательностью более двух месяцев. Максимальные афтершоки реализовались 8 августа в течение полутора часов: в $04^h08^m50.5^s$ с $K_{II}=9.9$, $h=8$ км; $05^h32^m20.3^s$ с $K_{II}=10.2$, $h=5$ км; в $05^h32^m47.9^s$ с $K_{II}=9.6$, $h=5$ км. Первые два толчка из триплета вызвали сотрясения в Анапе интенсивностью $I=2$ балла [14].

Необычная локальная сейсмичность в виде слабых группирующихся сейсмических событий проявилась на суше в центре Керченского п-ова (рис. 7). Для 18 толчков с $K_{II}=5.6-7.1$ определены координаты гипоцентров в пределах: $\varphi=45,18^{\circ}-45,28^{\circ}$, $\lambda=35,94^{\circ}-36,20^{\circ}$, $h=1-14$ км. Отметим, что слабые землетрясения такого энергетического уровня не являются представительными для региона (рис. 1) и были зарегистрированы на пределе регистрационных возможностей только отдельными сейсмостанциями. Некоторые особенности этих событий и их волновых форм подробно рассмотрены в работе [17].

Эпицентральная зона Керченских землетрясений была расположена на стыке крупных геоблоков земной коры – Скифской плиты и Керченско-Таманской складчатой области [18], представленной системой глубинных разломов диагональной ориентации: северо-западной (С-3) и северо-восточной (С-В) (рис. 7). Очаги землетрясений 2017 г. приурочены к верхней части земной коры зоны пересечения разломов С-В и С-3 простираения: Правдинского (ПР) и Белобродского (Б)

с Горностаевским (ГС), Кизил-Ташским (КТ), Самарлинским (СМ) и Красногорским (КГ), характеризующимися праводвиговыми деформациями (рис. 7). Наиболее контрастно неотектонические движения отмечены вдоль блоков, разделяющих КГ, СМ и КТ разломы [19]. Эта система разломов является сейсмоактивной на современном этапе, с ней связаны как сильнейшие древние землетрясения, так и инструментально зарегистрированные [18]. В связи с низкой чувствительностью ближайших к данным структурам сейсмических станций («Керчь», «Феодосия») и аномально большим затуханием сейсмических волн на Керченском полуострове вполне вероятны «потери» слабых землетрясений с $K_{II} \leq 7$, происходящих в этом районе. В целом же материковая часть Крыма, включая ее восточную часть, относится к слабоактивным территориям с большим периодом накопления и сброса упругих тектонических напряжений [7].

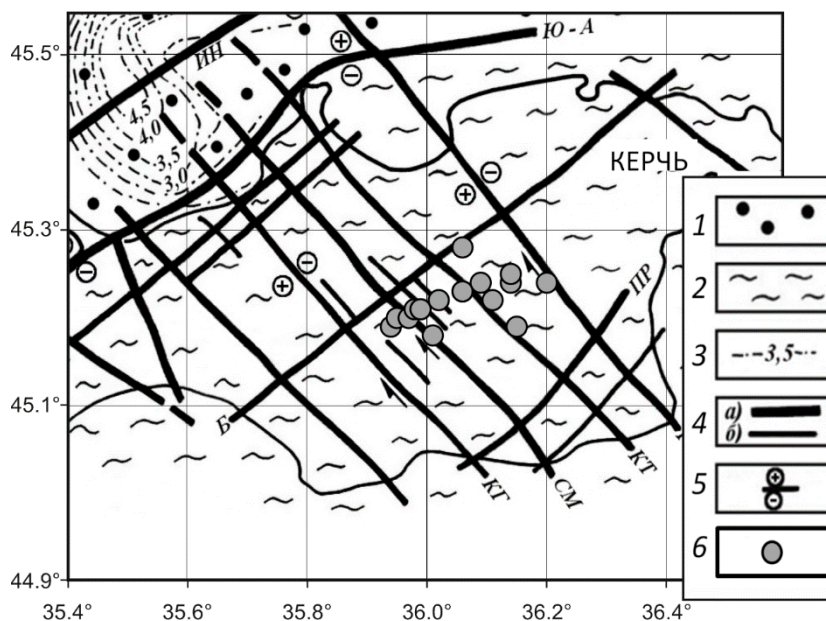


Рис. 7. Сеймотектоническая схема Керченского полуострова по [19]

1 – байкальский консолидированный фундамент в пределах Скифской плиты; 2 – карельский кристаллический фундамент Керченско-Таманской складчатой области; 3 – изодинамы T_{α} ; 4 – разрывные структуры: а) глубинные разломы в байкальском тектоническом комплексе, б) разломы в альпийском комплексе пород с признаками неотектонической активности; 5 – знаки перемещения крыльев разломов; 6 – эпицентры землетрясений 2017 г. Разломы: ИИ – Индольский, Ю-А – Южно-Азовский, ГС – Горностаевский, КТ – Кизил-Ташский, СМ – Самарлинский, КГ – Красногорский, ПР – Правдинский, Б – Белобродский.

Можно предположить, что резкая активизация в 2017 г. сеймотектонических процессов в данном слабоактивном районе является откликом геофизической среды на воздействия техногенного характера, связанные со строительством Крымского (Керченского) моста. Кроме того, в 2017 г. вдоль Керченского полуострова началось интенсивное строительство автодорожной магистрали «Таврида» Федерального значения с установкой буронабивных свай (динамическим погружением) на дорожных развязках и мостовых путепроводов вдоль трассы. Длительные техногенные нагрузки могли послужить триггером ускоренного сброса накопленных в сеймотектонических структурах напряжений и спровоцировать возбужденную сейсмичность в виде серии слабых землетрясений.

На остальные районы региона пришлось 0.26 % суммарной двухлетней энергии ($\Sigma E = 13254.99 \cdot 10^9$ Дж).

На максимальном уровне $K_{II} \sim 8$ четыре года наблюдалась сейсмическая активность Севастопольского района (№ 1), а 12 ноября 2017 г. в $12^{\text{h}}58^{\text{m}}29.2^{\text{s}}$ отмечен более сильный толчок с $K_{II} = 9.8$.

После повышенной в 2014 г. сейсмичности Ялтинского района (№ 2) с $K_{\text{max}} = 11.2$ [4] здесь в течение двух с половиной лет продолжалось относительное затишье с регистрацией только слабых землетрясений с $K_{II} \leq 8$ [13]. Лишь 5 июля 2017 г. в $20^{\text{h}}12^{\text{m}}41.4^{\text{s}}$ произошло одно землетрясение с $K_{II} = 9.0$ в переходной зоне кора-мантия на глубине 41 км у подножья континентального

склона. Также ослабление активности произошло в **Судакско-Феодосийском (№ 4)** и **Азово-Кубанском (№ 7)** районах до уровня $K_{II} \sim 8$.

В **Северо-Западном районе (№ 8)** в 2016 г. зарегистрирован дуплет толчков небольшой энергии, $K_{max}=8.1$ [13], чему предшествовал шестилетний период затишья. В этом районе в 2017 г. землетрясения не зарегистрированы.

Полное сейсмическое затишье два года наблюдалось в слабоактивном районе **Степной Крым (№ 6)**. В 2017 г. здесь отмечено одно землетрясение с $K_{II}=7.7$.

В целом по сравнению с 2014–2015 гг. [4, 5] общее число представительных для всего региона землетрясений (с $K_{II} \geq 9$) в 2016 г. уменьшилось в 1.7 раза, но при этом выделенная сейсмическая энергия почти на два порядка превысила годовую энергию предыдущего периода. В 2017 г. число представительных землетрясений было максимальным за четырехлетний период, а суммарная сейсмическая энергия снизилась до уровня 2015 года.

Развитие сейсмического процесса в регионе рассмотрим в виде временного хода высвобождения суммарной сейсмической энергии, пропорциональной снятой упругой деформации – графика Беньоффа [20, 21]. График построен за последние 17 лет (2001–2017 гг.) с осреднением энергии $\Sigma E^{2/3}$ (Дж) по периодам 1 год (рис. 8).

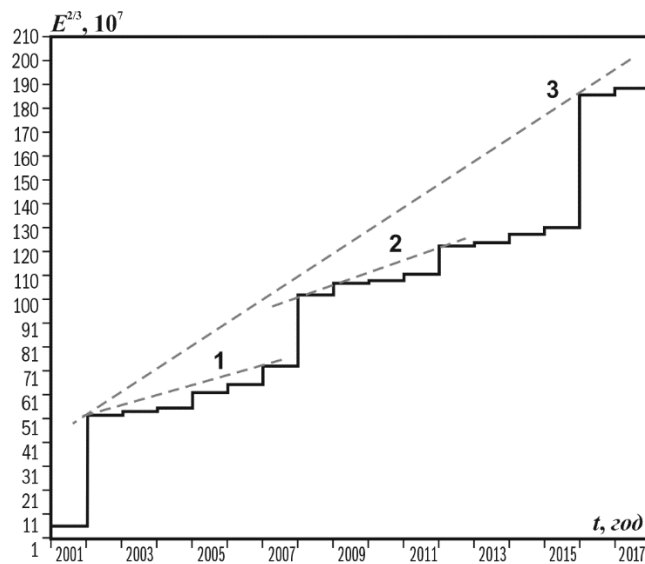


Рис. 8. Временной ход высвобождения упругих деформаций в регионе за последние 17 лет (2001–2017 гг.)

Наглядно видна неравномерность, скачкообразность снятия напряжений в регионе. При средней скорости деформации среды $V=8.92 \cdot 10^7$ Дж/год за весь рассмотренный период, отмечено два относительно «спокойных» этапа снятия деформаций: 2002–2007 гг. при скорости $V_1=3.43 \cdot 10^7$ Дж/год (рис. 8, линия 1) и 2009–2012 гг. с $V_2=4.11 \cdot 10^7$ Дж/год (рис. 8, линия 2). Еще меньшая скорость $V=1.92 \cdot 10^7$ Дж/год отмечена за период 2012–2015 гг. Каждый из этих этапов заканчивался повышенным сбросом накопленных деформаций, наибольший из которых произошел в 2016 г. в районе Черноморской впадины.

Пунктирная линия 3 на графике (рис. 8) демонстрирует тенденцию к возрастанию дефицита высвобожденных деформаций после сильных землетрясений 2002, 2008 и 2016 гг.

Анализируя аналогичный график в 2014 г. [4, с. 45] было высказано предположение: «... накопленная во всем регионе Крыма энергия не полностью была высвобождена после наиболее сильного землетрясения 10.12.2012 г. с $K_{II}=12.1$... в Керченско-Анапском районе и сейсмическая обстановка в регионе сохраняется потенциально опасной на ближайшее время. Это следует также из графика временного изменения суммарной выделенной энергии ΣE в регионе за период 2005–2014 г.». Можно полагать, что данное предположение реализовано повышенной сейсмической активностью региона в рассматриваемом 2016 году.

В заключение отметим, что в целом сейсмическая активность региона в 2016 г. характеризуется как необычно высокая по сравнению с предшествующим 14-летним периодом, с перемещением максимального энергетического проявления из восточной части региона в юго-западную часть впадины Черного моря. В 2017 г. последовала фоновая сейсмичность региона с локальной активизацией сеймотектонических структур в центре Керченского п-ова.

Л и т е р а т у р а

1. Кондорская Н.В. Землетрясения в СССР в 1985 году. – 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. Калинин И.В., Бойко В.А. Сейсмические станции Крыма в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
4. Пустовитенко Б.Г., Свидлова В.А., Бондарь М.Н. Крымско-Черноморский регион // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 38–48.
5. Свидлова В.А., Бондарь М.Н. Сейсмичность Крымско-Черноморского региона в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 43–49. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.03
6. Кульчицкий В.Е. Программа расчета координат гипоцентров землетрясений (ГИРО-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.П., Швырло Н.И. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2014. – 264 с.
8. European Mediterranean Seismological Centre. (2022). [Site]. – URL: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/>
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Пустовитенко Б.Г., Эреджепов Э.Э., Бондарь М.Н. Очаговые параметры землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 242–252. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.22. EDN: DMTVLR
13. Козиненко Н.М., Свидлова В.А., Сыкчина З.Н. Каталог землетрясений Крымско-Черноморского региона в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
14. Козиненко Н.М., Скляр А.А. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Крымско-Черноморского региона в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
15. Князева В.С., Скляр А.А. Макросейсмические данные об Алуштинском землетрясении 13 мая 2016 г. // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География». 2016. Том 3(69). № 4. С. 156–162.
16. Пустовитенко Б.Г. Каталог механизмов очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2016–2017 гг. (N=5) // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
17. Калинин И.В., Свидлова В.А., Бондарь М.Н. Сейсмичность Крыма в 2017 году // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «География. Геология». – 2018. – Т. 4 (70), № 4. – С. 7–68.
18. Геология и геодинамика района Крымской АЭС / Отв. ред. Гавриленко Н.М., Чекунов А.В. – Киев: Наукова думка, 1992. – 188 с.
19. Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Борисенко Л.С., Пантелеева Т.А., Плахотный Л.Г., Новик Н.Н. Рой землетрясений 8–10 апреля 1987 г. в северо-западной части Керченского полуострова (Крым) и их возможная геолого-тектоническая интерпретация // Геофизический журнал. – 1988. – Т. 10, № 3. – С. 37–47.
20. Беньофф Г. Накопление и высвобождения деформаций по наблюдениям сильных землетрясений // Слабые землетрясения. – М: ИЛ, 1961. – С. 199–211.
21. Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. – М: Наука, 1975. – 179 с.

SEISMICITY of the CRIMEAN-BLACK SEA REGION in 2016–2017**B.G. Pustovitenko¹, V.A. Svidlova², M.N. Bondar^{1,2}**¹State Autonomous Institution "Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment, Technical Inspection of Construction Facilities", Simferopol, Russia, bpustovitenko@mail.ru²Institute of Seismology and Geodynamics of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol, Russia, epicrimea@mail.ru

Abstract. A review of the seismicity of the Crimean-Black Sea region was carried out according to seismic monitoring data by a regional network of digital stations. In total, in 2016–2017, the network of Crimean stations registered 148 earthquakes in the range of energy classes $K_{II}=3.5\text{--}13.1$, most of which are representative only in a small area near the coast of Crimea. 2016 was characterized by increased seismic activity in the region compared to previous years. The total released seismic energy is ~ 16 times the average annual value over the past 10 years. The greatest activation of seismic processes was observed in the area of the Black Sea depression. There were three earthquakes here: June 28, July 22, and October 15 with the maximum energy class, respectively, with $K_{II}=10.9, 11.6, \text{ and } 13.1$ ($M_w=4.1, 4.3, \text{ and } 5.1$) with uplift movement in the sources. In the central part of the region near the Southern coast of Crimea on May 13, there was a tangible earthquake with $M_w=3.6$ and an observed intensity of $I=4\text{--}5$ points in the city of Alushta. Focal mechanism – strike-slip. In 2017, the seismicity of the region was at the background level with local activation of seismotectonic structures in the form of a series of weak shocks with $K_{II}=5.6\text{--}7.1$ in the center of the Kerch Peninsula. The foci of the Kerch earthquakes are confined to the upper part of the earth's crust of the intersection zone of the N–W and N–E striking faults that are active at the present stage. The development of the seismic process in the region is considered according to the temporary change in the total released energy and the Benioff schedule.

Keywords: earthquake, seismicity, representativeness, hypocenter, energy class, magnitude, intensity, focal mechanism, Benioff's graph.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.03. **EDN:** PNZYRD

For citation: 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: 10.35540/1818-6254.2022.25.03. EDN: PNZYRD

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. Kaliniuk, I.V., & Boiko, V.A. (2022). [Seismic stations of Crimea in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
4. 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:10.35540/1818-6254.2020.23.03
5. Svidlova, V.A., & Bondar', M.N. (2021). [Crimean-Black Sea region]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 43–49. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.03
6. 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.).
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., & Shvyrlu, 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.).
8. European Mediterranean Seismological Centre. (2022). Retrieved from <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/>
9. 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.).

10. Krasilov, S.A., Kolomiets, M.V., & Akimov, A.P. (2006). [Organization of digital seismic data processing using the WSG google software package]. In *Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Materialy Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly, posviashchennoi 100-letiiu otkrytiia 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.).
11. 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' 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.).
12. Pustovitenko, B.G., Eredzhepov, E.E., & Bondar', M.N. (2022). [Focal parameters of the Crimean-Black Sea region earthquakes in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 242–252. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.22. EDN: DMTVLR
13. Kozinenko, N.M., Svidlova, V.A., & Sykchina, Z.N. (2022). [Catalog of earthquakes in the Crimean-Black Sea region in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
14. Kozinenko, N.M., & Skliar, A.A. (2022). [Macroseismic effect of tangible earthquakes in settlements of the Crimean-Black Sea region in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
15. Kniazeva, V.S., & Skliar, A.A. (2016). [Macroseismic data on the Alushta earthquake on May 13, 2016] *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Geografiia. Geologiiia* [Scientific notes of the Crimean Federal University. V.I. Vernadsky. Geography. Geology], 3(69), 4, 156–162. (In Russ.).
16. Pustovitenko, B.G. (2022). [Catalog of earthquake focal mechanisms in the Crimean-Black Sea region for 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html> (In Russ.).
17. Kaliniuk, I.V., Svidlova, V.A., & Bondar', M.N. (2018). [Seismicity of Crimea in 2017]. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiia. Geologiiia* [Scientific notes of the Crimean Federal University. V.I. Vernadsky. Geography. Geology], 4(70), 4, 7–68. (In Russ.).
18. Gavrilenko, N.M., & Chekunov, A.V. (Ed.) (1992). *Geologiiia i geodinamika raiona Krymskoi AES* [Geology and geodynamics of the Crimean NPP area]. Kiev, Ukraine: Naukova Dumka Publ., 188 p. (In Russ.).
19. Pustovitenko, B.G., Kul'chitskii, V.E., Borisenko, L.S., Panteleeva, T.A., Plakhotnyi, L.G., & Novik, N.N. (1988). [A swarm of earthquakes on April 8–10, 1987 in the northwestern part of the Kerch Peninsula (Crimea) and their possible geological and tectonic interpretation] *Geofizicheskii zhurnal* [Geophysical journal], 10(3), 37–47. (In Russ.).
20. Ben'off, G. (1961). *Nakoplenie i vysvobozhdeniia deformatsii po nabludeniiam sil'nykh zemletriasenii. Slabye zemletriaseniia* [Accumulation and release of deformations from observations of strong earthquakes. Weak earthquakes]. Moscow, Russia: IL Publ., 199–211. (In Russ.).
21. Kostrov, B.V. (1975). *Mekhanika ochaga tektonicheskogo zemletriaseniia* [Mechanics of a tectonic earthquake source]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 179 p. (In Russ.).