

**РАЗДЕЛ 4.  
ГЕОФИЗИКА И СЕЙСМОЛОГИЯ**

**УДК 550.348.435**

**ОЧАГ ОЩУТИМОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КРЫМУ 5 ИЮЛЯ 1984 ГОДА С**

**$M_w = 4.3$ .**

***Пустовитенко Б. Г.***

*Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация  
E-mail: bpustovitenko@mail.ru*

Представлены результаты решения механизма, параметров разрывообразования и динамических параметров очага ощутимого землетрясения, которое произошло в земной коре Южнобережного глубинного разлома на расстоянии 13 км от пгт. Артек в Крыму 5 июля 1984 г. Тип подвижки в очаге – вбросо-сдвиг с преобладанием сдвиговой компоненты.

**Ключевые слова:** механизм очага, nodальная плоскость, направленность излучения, разрывы, очаговая зона, амплитудный спектр, сейсмический момент, радиус дислокации, сброшенное напряжение, энергия дислокации, моментная магнитуда.

**ВВЕДЕНИЕ**

В эпоху современной сейсмологии, когда запись сейсмических колебаний почвы осуществляется цифровым способом регистрации, восстановление очаговых параметров сильных и умеренных землетрясений проводится достаточно оперативно и публикуется в Международном центре [1]. Для сбора же первичных аналоговых записей местных землетрясений прошлых лет часто требуется большой период времени. Так, для ощутимого главного толчка серии землетрясений в Крыму в 1984 году [2, 3] своевременно не удалось получить решение механизма очага из-за ограниченной статистики о знаках первых вступлений продольных волн на сейсмические станции. К настоящему времени, благодаря международному обмену данными, удалось собрать достаточно представительный материал по волновым формам землетрясения 05.07.1984 на сейсмических станциях в широком азимутальном створе. Это позволило надежно восстановить параметры механизма его очага и откорректировать динамические параметры очага с учетом направленности очагового излучения. В данной статье ретроспективно с позиций новых знаний рассмотрены процессы в очаге и очаговой зоне сложной серии землетрясений в Крыму в 1984 г.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ

В 1984 году в центральной части Крымского сейсмоактивного региона в земной коре зоны Южнобережного глубинного разлома [4] произошла серия землетрясений, в диапазоне энергетических классов  $K_{II}=5-11.4$ , наиболее сильное из которых ощущалось 5 июля на Южном берегу Крыма [2]. Разрядка напряжений в очаговой зоне началась в июне 1984 г. и продолжалась до конца года. Всего региональной сетью станций было зарегистрировано более 200 подземных толчков, распределенных неравномерно в пространстве и во времени [2, 5]. По характеру выделения энергии серия землетрясений 1984 г. относится ко второму типу группируемости (по классификации Моги) [6], характерному для сложных последовательностей сейсмических событий центральной зоны Крымского региона [7].

Сейсмические колебания от главного землетрясения 5 июля 1984 г. в  $03^h 07^m$  с  $K_{II}=11.4$  были зарегистрированы всеми региональными сеймостанциями Крыма, а также многими удаленными – на расстояниях до 2750 км. Результаты определения основных параметров землетрясения, по данным различных центров обработки данных (агентств), мало отличаются друг от друга (Табл. 1). Наилучшая сходимость получена в оценках координат гипоцентров по данным региональной интерпретации в Крыму [3] и сводной обработки в Международном центре ISC [1]. Наибольшие расхождения отмечены в оценке глубины очага ( $h$ ): от  $h=10$  км до  $h=33$  км. При этом  $h=33$  км обычно означает, что очаг находился в пределах земной коры (без точной привязки к глубине).

Таблица 1.

Основные параметры ощутимого землетрясения 5 июля 1984 г.  
по данным Крыма и других сейсмологических агентств

Агентство	$t_0$ , ч мин с	Гипоцентр					Энергетический класс, магнитуда	Источник
		$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$\delta$ $\varphi^\circ,$ $\delta \lambda^\circ$	$h$ , км	$\delta h$ , км		
Крым	03 07 16.9	44.49	34.46	0.05	18	5	$K_{II}=11.4, M_c=4.0, m_b=4.2,$ $M_w=4.3^*$	[3]
MOS	03 07 15.4	44.56	34.43		33		$MS=3.7/2$	[1]
CSEM	03 07 18.0	44.43	34.30		10			[1]
NEIC	03 07 18.3	44.43	34.34		33		$m_b=4.2$	[1]
ISC	03 07 16.1	44.50	34.48	0.05	20	7	$MS=3.7, m_b=4.2$	[1]

\* – по данным настоящей статьи

При обработке в Крыму использованы первичные сейсмограммы и только времена вступлений прямых волн ( $P_g, S_g$ ), а также головных ( $P, S$ ), для которых имеется надежный экспериментальный региональный годограф [8]. Использование только близких к очагу станций позволяет более уверенно

ОЧАГ ОЩУТИМОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КРЫМУ 5 ИЮЛЯ 1984 ГОДА С  $M_w=4.3$

фиксировать глубину очага. В связи с этим для решения обратной задачи восстановления очаговых параметров по записям сейсмических колебаний за координаты гипоцентра землетрясения 5 июля 1984 г. приняты параметры, полученные в Крыму:  $\varphi=44.49$ ;  $\lambda=34.46$ ;  $h=18$  км [3].

Макросейсмический эффект от землетрясения 5 июля был отмечен в 23 населенных пунктах Крыма на расстояниях от инструментального эпицентра 13÷29 км [2]. Максимальная интенсивность  $I = 3-4$  балла по шкале MSK-64 [9] отмечена в пгт. Артек на расстоянии 13 км от инструментального эпицентра. Расчетная интенсивность в эпицентральной зоне составила  $I_0 = 4$  балла.

2. ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОСНОВНОГО ТОЛЧКА

Для решения механизма очага (Табл. 2) использованы знаки первых вступлений продольных волн на сейсмические станции, окружающие очаг в широком азимутальном створе. Определение двух возможных положений поверхности разрыва и осей главных напряжений, действующих в очаге, проведено по стандартной методике [10] в рамках дислокационной модели «двойной диполь». Углы выхода сейсмических волн определены для удаленных станций по годографу «ak135» [11], а для близких – по региональному годографу [8].

Таблица 2.

Параметры механизма очага землетрясения 5 июля 1984 г. с  $K_{II}=11.4$

Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
			$T$		$N$		$P$		$NP1$			$NP2$		
			$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$STK$	$DP$	$SLIP$	$STK$	$DP$	$SLIP$
05 07	03 07 18	18	44	19	43	225	13	122	64	71	136	172	49	26

В соответствии с табл.2 и рисунком 1а, землетрясение произошло под действием горизонтальных ( $PL_P=13^\circ$ ) напряжений сжатия, ориентированных диагонально ( $AZM_P=122^\circ$ ).

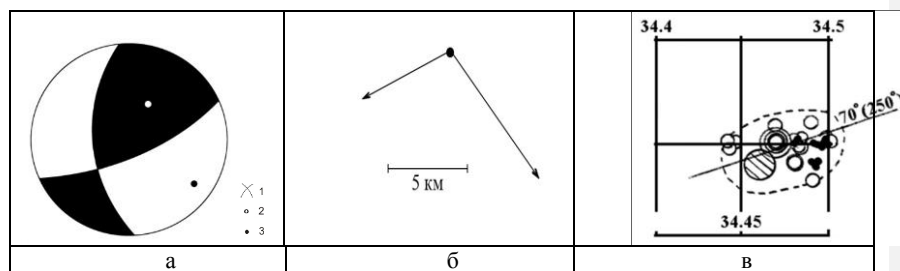


Рис. 1. Стереодиаграмма механизма очага (нижняя полусфера) землетрясения 5 июля 1984 г. в: а – по знакам первых вступлений  $P$ -волн; б – процесс разрывообразования, в – эпицентральная зона первых афтершоков. 1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; зачернена область волн сжатия.

Одна из нодальных плоскостей  $NP1$  крутопадающая ( $DP = 71^\circ$ ) имела северо-восточное простирание ( $STK=64^\circ$ ), а вторая  $NP2$  с более пологим наклоном ( $DP=49^\circ$ ) – близмеридиональное ( $STK=172^\circ$ ). Тип подвижки в очаге: взбросо-сдвиг с преобладанием сдвиговой составляющей подвижки над взбросовой (Рис. 1,а). **Исследование процессов разрывообразования** в очаговой зоне землетрясения 1984 г. проведено с применением методики [12, 13], в которой очаг землетрясения рассматривается как протяженный движущийся от гипоцентра источник излучения сейсмических волн. Главной характеристикой для выявления очаговой природы продольных волн, наблюдаемых за первым вступлением  $P_i$ , является запаздывание  $\tau$  времени пробега  $P_i$  максимальных колебаний  $P_{max}$  в определенных азимутах. Наименьшее запаздывание ( $\tau_{min}$ ) будет отмечено на станциях, расположенных в близком к направлению распространения разрыва азимуте, а наибольшее ( $\tau_{max}$ ) – в противоположном (источник «удаляется» от станции).

Азимутальная зависимость времен  $\tau$  запаздывания максимальных фаз  $P_{max}$  колебаний в продольной волне по отношению к  $P$ -волне построена по записям на станциях, окружающих бассейн Черного моря. Использовались как первичные сейсмограммы землетрясения, так и сейсмологические бюллетени, в том числе международные.

Азимутальный годограф  $\tau = f(Az^\circ)$  характеризует зависимость времени пробега очаговых волн  $P_i$  от длины разрыва, скорости его вспарывания, направления распространения разрыва по отношению к станциям регистрации.

Экспериментальный азимутальный годограф  $\tau = f(Az)$  землетрясения 1984 г. имел два максимума в азимутах  $320^\circ$  и  $69^\circ$  [14], что согласно использованной методике [12] свидетельствует о двунаправленном процессе разрывообразования в очаговой зоне землетрясения: на юго-восток в азимуте  $Az_1=140^\circ$  и на юго-запад в азимуте  $Az_2=249^\circ$  (Рис. 1, в),

Наибольшая длина разрыва  $L=11$  км получена в юго-восточном направлении ( $Az_1=140^\circ$ ), длина второго разрыва юго-западного простирания ( $Az_2=249^\circ$ ) – в 2 раза меньше (Табл. 3). Продолжительность процесса разрывообразования в очаговой зоне не превысила  $2$  с в обоих направлениях при средней скорости вспарывания около  $5$  км/с.

Таблица 3.

Параметры разрывообразования в очаговой зоне землетрясения 5 июля 1984 г. в  $03^h07^m18^s$ ,  $K_{\Pi}=11.4$

Дата			$Az_1^{\circ}$	$Az_2^{\circ}$	$L_1$ , км	$L_2$ , км	$C_1$ , км/с	$C_2$ , км/с	$T_1$ , с	$T_2$ , с
год	м	д								
1984	07	05	140	249	11	5	5.2	4.6	2	1.1

Сравнивая параметры механизма очага и процессов разрывообразования, можно отметить, что простирание одной из нодальных плоскостей  $NP1$  ( $STK=64^{\circ}$ ) соответствует направлению процесса разрывообразования в очаговой зоне (Рис. 1,б) в  $Az=249^{\circ}(69^{\circ})$  и ориентации большой оси эллипса афтершоков главного толчка ( $Az=70^{\circ}\pm 5^{\circ}$ ) (Рис. 1,в). В связи с этим плоскость подвижки можно принять как наиболее вероятную (главную).

По параметрам механизма очага рассчитаны функции направленности излучения продольных  $P$  и поперечных  $S$ -волн, поправки за направленность излучения  $R_{\theta\phi}$  для реальных станций регистрации: «Алушта» «Симферополь», «Севастополь» и «Ялта», записи которых использованы в данной работе для уточнения динамических параметров очага (Табл. 4), которые были ранее оценены без учета функции направленности [2, 16].

Таблица 4.

Значения  $R_{\theta\phi}$  для землетрясения 5 июля 1984 г. в  $03^h07^m18^s$ ,  $K_{\Pi}=11.4$

Станция	Алушта	Симферополь	Севастополь	Ялта	
Тип волны	$S$	$S$	$S$	$P$	$S$
$R_{\theta\phi}$	0.70	0.65	0.77	0.09	0.8

**Динамические параметры очага:**  $M_0$  – сейсмический момент,  $r_0$  – радиус круговой дислокации,  $\Delta\sigma$  – сброшенное напряжение,  $\eta\bar{\sigma}$  – кажущееся напряжение,  $\Delta\sigma_r$  – радиационное трение,  $\varepsilon$  – деформация сдвига,  $\bar{u}$  – средняя подвижка по разрыву,  $E_0$  – энергия образования дислокации в очаге,  $M_w$  – моментная магнитуда. Востановлены по характеристикам амплитудных спектров записей сейсмических волн с использованием теоретической дислокационной модели Брюна [17].

В модели Брюна спектр объемной волны описывается тремя основными характеристиками: спектральной плотностью  $\Omega_0(x, f)$ , при  $f \rightarrow 0$  ( $T \rightarrow \infty$ ), углом наклона  $\gamma$  и угловой частотой  $f_0$ :

Спектральная плотность  $\Omega_0(x, f)$  пропорциональна сейсмическому моменту  $M_0$ , а угловая частота  $f_0$  – размеру круговой дислокации с радиусом  $r_0$ .

Спектр записи землетрясения в точке наблюдения является суперпозицией параметров источника, характеристики регистрирующего прибора, среды на пути очаг-станция, направленности излучения. Для расчета по стационарным спектрам  $M_0$

и  $r_0$  использованы формулы [18]:

$$M_0 = \Omega_0 (4\pi\rho \cdot V^3) / R_{\text{эф}} \cdot G(\Delta, h) \cdot C(\omega) \cdot Sm(f) \quad (1),$$

где:  $\Omega_0$  – максимальное значение спектральной плотности при  $f \rightarrow 0$ ;  $V$  и  $\rho$  – скорость распространения сейсмической волны и плотность пород в окрестности очага;  $R_{\text{эф}}$  – направленность излучения из очага на станцию регистрации;  $G(\Delta, h)$  – поправка за геометрическое расхождение;  $C(\omega)$  – частотная характеристика земной коры под станцией,  $Sm(f)$  – поправка за неупругое затухание в мантии.

$$r_0 = 2.34 \frac{V}{2\pi f_0} \quad (2),$$

где:  $f_0$  – угловая частота,  $V$  – скорость сейсмической волны в окрестности очага.

Методика учета всех этих факторов при переходе от станционного спектра к спектру источника изложена в работах [16, 18].

По (1–2) рассчитаны значения сейсмического момента  $M_0$  и радиуса дислокации  $r_0$ , по ним, с использованием формул из работ [16, 20], определены все другие динамические параметры очага (Табл. 5).

Для переопределения очаговых параметров землетрясения 5 июля 1984 г. использованы амплитудные спектры аналоговых записей продольных и поперечных волн на сейсмических станциях Крыма: «Алушта» (ALU), «Симферополь» (SIM), «Севастополь» (SEV) и «Ялта» (YAL), взятые из [16] и вновь переинтерпретированные в рамках строгого соблюдения модели Брюна, особенно в части выделения угловой частоты.

В расчете скалярного сейсмического момента учтена поправка за направленность излучения  $R_{\text{эф}}$  в соответствии с таблицей 4. Результаты уточненных динамических параметров очага изученного землетрясения 5 июня 1984 г. приведены в таблице 5. Расчет среднего геометрического  $X$  и дисперсии  $S$  выполнен, как и прежде [16], исходя из логнормального закона распределения величин. Поскольку индивидуальные станционные значения  $\Delta\sigma_r$  имели знакопеременный характер, то их среднее значение по группе станций вычислено по среднегеометрическим для данного очага напряжениям  $\Delta\sigma$  и  $\eta\bar{\sigma}$  с использованием формулы [19]:

$$\sigma_r = \frac{1}{2} \Delta\sigma - \eta\bar{\sigma}.$$

Таблица 5.  
Уточненные динамические параметры очага землетрясения 05.07.1984:  
 $t_0=3$  ч 47 мин 16 с;  $\varphi = 44.49^\circ$ ,  $\lambda = 34.46^\circ$ ;  $h = 18$  км;  $K_{II}=11.4$

Станция	Волна, (составляющая)	$\Delta$ , км	$\Sigma\Omega_0 \cdot 10^{-6}$ , мс	$J_0$ , Гц	$M_0 \cdot 10^{13}$ , Н·м	$r_0$ , км	$\Delta\sigma_r \cdot 10^5$ , Па	$\varepsilon \cdot 10^{-6}$	$u \cdot 10^{-2}$ , м	$\eta\sigma \cdot 10^5$ , Па	$\Delta\sigma_r \cdot 10^5$ , Па	$E_u \cdot 10^6$ , эрг	$M_w^*$
ALU	S(N+E)	22	89	2.0	384	0.67	55.7	186	9.06	4.93	22.9	3.56	4.33
SEV	S(N)	62	30	1.05	407	1.28	8.56	28.5	2.65	4.65	-0.37	0.58	4.34
SIM	S(N)	58	60	1.28	442	1.05	16.8	56.1	4.27	4.28	4.13	1.24	4.37
YAL	P(Z)	24	2	2.5	456	0.93	24.7	82.3	5.58	4.15	8.2	1.88	4.38
YAL	S(E)	24	40	1.3	196	1.03	7.81	26.0	1.95	9.66	-5.76	0.26	4.13
X-среднее геометрическое					<b>362</b>	<b>0.97</b>	<b>17.3</b>	<b>57.6</b>	<b>4.07</b>	<b>5.23</b>	<b>3.28</b>	<b>1.05</b>	<b>4.31</b>
S- дисперсия					0.07	0.05	0.15	0.16	0.12	0.07		0.19	0.07

### 3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнивая полученные новые результаты (Табл. 5) и опубликованные в [16], можно отметить, что введение в расчеты поправок за направленность излучения  $R_{\theta\phi}$  существенно улучшило внутреннюю сходимость станционных определений сейсмических моментов  $M_0$  и, соответственно, других динамических параметров, вычисленных с использованием значений  $M_0$ . Наименьшие стандартные отклонения в новой интерпретации получены для радиусов круговой дислокации  $r_0$ . При этом средние значения  $r_0$  возросли в 2 раза, по сравнению с прежними определениями [2, 16], что привело к уменьшению расчетных значений сброшенных напряжений и деформаций сдвига в 5 раз и средней подвижки по разрыву в 3 раза, приблизив их значения к средним долговременным величинам для данного энергетического уровня. По сравнению с [2,16], в данной работе впервые дополнительно восстановлены значения кажущегося напряжения  $\eta\sigma$ , радиационного трения  $\Delta\sigma_r$ , энергии образования дислокации в очаге  $E_u$  и моментной магнитуды  $M_w$  (Табл. 4). Их средние определения также получены с малой дисперсией  $S < 0.2$ . Полученное положительное значение радиационного трения  $\Delta\sigma_r > 0$  может свидетельствовать [19] о гладком скольжении по разрыву, подготовленному предшествующими более слабыми форшоками в очаговой зоне.

Откорректированные основные динамические параметры очагов  $M_0$  и  $r_0$  полностью соответствуют средним долговременным зависимостям от энергии землетрясений [21]:

$$\lg M_0 = 0.645(\pm 0.027) \cdot K_{II} + 15.142(\pm 0.271), \rho = 0.99$$

$$\lg r_0 = 0.112(\pm 0.011) \cdot K_p - 1.293(\pm 0.107), \rho = 0.93,$$

где:  $\rho$  – коэффициент корреляции.

С учетом новых определений (Табл. 5) откорректирована база данных по очаговым параметрам для их дальнейшего использования как в научных фундаментальных исследованиях, так и прикладных задачах инженерной сейсмологии, в частности, при моделировании сильных сейсмических воздействий от землетрясений Крыма в соответствии с методикой [22].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ощутимое землетрясение, произошедшее 5 июля 1984 г. в земной коре Южнобережного разлома вблизи Южного берега Крыма, возникло под действием близгоризонтальных сил сжатия диагонального направления. В очаге произошла взбросо-сдвиговая подвижка с преобладанием сдвиговой составляющей над взбросовой. Сброшенное и кажущееся напряжения соответственно составили 17 и 5 бар ( $17.3 \cdot 10^5$  Па и  $5.2 \cdot 10^5$  Па). Скольжение по берегам разрыва было гладким, о чем свидетельствует положительное значение радиационного трения  $\Delta\sigma_r \sim 3 \cdot 10^5$  Па. Процесс разрушения среды в очаговой зоне продолжался не более 2 с и развивался в двух направлениях: юго-западном ( $Az_1 = 249^\circ$ ), и юго-восточном ( $Az_2 = 140^\circ$ ), со скоростями около 5 км/с. В очаге землетрясения с радиусом круговой дислокации  $r_0 \sim 1$  км произведена работа, эквивалентная сейсмическому моменту  $M_0 = 3.62 \cdot 10^{15}$  Н·м для смещения берегов разрыва  $u$  на 4 см. При этом энергия дислокации  $E_u$  составила  $10.5 \cdot 10^{15}$  эрг, а моментная магнитуда –  $M_w = 4.3$ . Общая деформация среды в очаговой зоне соответствовала  $\epsilon = 5.8 \cdot 10^{-5}$ .

Простирание одной из нодальных плоскостей  $NPI$  ( $STK = 64^\circ$ ) близко к направлению процесса разрывообразования в очаговой зоне в  $Az = 249^\circ (69^\circ)$  и ориентации большой оси эллипса афтершоков главного толчка ( $Az = 70^\circ \pm 5^\circ$ ). В связи с этим плоскость подвижки можно принять как наиболее вероятную (главную).

#### Список литературы

1. International Seismological Centre: On-line Bulletin 1984 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.isc.ac.uk>.
2. Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е., Пантелеева Т. А. Землетрясения Крыма в 1984 г. // Землетрясения в СССР в 1984 г. М.: Наука, 1987. С. 11–19.
3. Свидлова В. А., Сыжчина З. Н. Каталог и подробные данные о землетрясениях Крымско-Черноморского региона за 1984 г. // Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым Карпаты) за 1984 г. Киев: Наукова думка, 1987. С. 4–122.
4. Борисенко Л. С., Пустовитенко Б. Г., Вольфман Ю. М., Дублянский В. Н., Новик Н. Н. Некоторые методические аспекты сейсмического районирования областей новейшего горообразования и сопредельных территорий (на примере Крыма) // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. 1995. Вып. 2–3. С. 27–45.
5. Пустовитенко Б. Г., Лущик А. В., Боборыкина О. А., Кульчицкий В. Е., Можжерина А. В.,



## ОЧАГ ОЩУТИМОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КРЫМУ 5 ИЮЛЯ 1984 ГОДА С $M_w=4.3$

- Насонкин В. А., Панков Ф. Н., Поречнова Е. И., Пустовитенко А. А., Тихоненков Э. П., Швырло Н. И. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. 364 с.
- Mogi K. Source locations of elastic chocks in the fracturing process in rocks // Bull. Seismol. Soc. Japan. 1968. V. 46, № 5. P. 1103–1125.
  - Пустовитенко Б. Г. Некоторые свойства сложных последовательностей землетрясений Крыма // Геодинамика. 2011. № 2 (11). С. 257–262.
  - Кульчицкий В. Е., Сафонова Г. П., Свидлова В. А. Годографы сейсмических волн Крымско-Черноморских землетрясений // Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны ЕССН СССР (Крым – Карпаты) за 1983 г. Киев: Наукова думка, 1986. С. 94–103.
  - Шебалин Н. В. Об оценке сейсмической интенсивности // Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. М.: Наука, 1975. С. 87–109.
  - Балакина Л. А., Введенская А. В., Голубева Н. В., Мишарина Л. А., Широкова Е. И. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. М.: Наука, 1972. 198 с.
  - Kennet B. L. N. Seismological Tables: ak135 // Research School of earth Sciences Australian national University. Canberra: ACT0200, 2005. pp. 80.
  - Горбунова И. В., Бойчук А. Н., Доцев Н. И., Кальметьева З. А., Капитанова С. А., Кучай О. А., Михайлова Н. Н., Пустовитенко Б. Г., Симбирева И. Г., Товмасын А. К. Интерпретация очаговых волн на записях землетрясений. М.: Наука, 1992. 130 с.
  - Gorbunova I. V., Pustovitenko B. G. A new method of Study Complex Seismic Rupturing // Geophysics J. 1998. Vol. 17. P. 453–463.
  - Пустовитенко Б. Г., Капитанова С. А. К вопросу об изучении современной геодинамики Черного моря по очаговым параметрам землетрясений // Геодинамика Крымско-Черноморского региона. Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 1997. С. 112–115.
  - Pustovitenko B. G., Kapitanova S. A., Panteleeva T. A. Development of the earthquake focal zone on July 5, 1984 in the Crimea // General assembly ESC. 1989. Vol. XXI. P. 415–430.
  - Пустовитенко Б. Г., Пантелеева Т. А. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. Киев: Наукова думка, 1990. 251 с.
  - Brune J. N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquake // J. Geophys. Res. 1970. № 26. P. 4997–5009.
  - Аптекман Ж. Я., Белавина Ю. Ф., Захарова А. И., Зобин В. М., Коган С. Я., Корчагина О. А., Москвина А. Г., Поликарпова Л. А., Чепкунас Л. С. Спектры Р-волн в задаче определения динамических параметров очагов землетрясений. Переход от станционного спектра к очаговому и расчет динамических параметров очага // Вулканология и сейсмология. 1989. № 2. С. 66–79.
  - Костров Б. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 179 с.
  - Hanks T. C., Kanamori H. A moment magnitude scale // J. Geophys. Res. 1979. № 35. P. 2348–2350.
  - Пустовитенко Б. Г., Пустовитенко А. А., Капитанова С. А., Поречнова Е. И. Пространственные особенности очаговых параметров землетрясений Крыма // Сейсмичность Северной Евразии. Обнинск: ГС РАН, 2008. С. 238–242.
  - Пустовитенко Б. Г., Мерзей Е. А. К прогнозу ожидаемых сейсмических воздействий от сильных землетрясений Крыма // Доповіді Національної академії наук України. 2014. № 5. С. 102–109.

### THE SOURCE OF THE 5 JULY, 1984, PERCEPTIBLE EARTHQUAKE IN CRIMEA, WITH $M_w=4.3$ .

*Pustovitenko B. G.*

*Institute of seismology and geodynamics, V. I. Vernadsky CFU, Simferopol, Russian Federation  
E-mail: bpustovitenko@mail.ru*

The results of the solution of focal mechanism, rupturing parameters and dynamic source parameters of the 5 July 1984 perceptible earthquake in Crimea, which occurred in the earth's crust of the south coast deep fault at a distance of 13 km from the village of Artek

are presented. The type of shift in the source is an upthrust with a predominance of shear components. The stretch of one of the nodal planes ( $STK = 64^\circ$ ) corresponds to the direction of the process of faulting in the focal zone in  $Az = 249^\circ$  ( $69^\circ$ ) and the orientation of the major axis of the ellipse of the main shock aftershocks ( $Az = 70^\circ$ ). In this regard, this shift plane can be taken as the most probable. Taking into account the focal mechanism solution and direction of the seismic radiation at the registration station the amplitude spectra of seismic body waves and the source dynamic parameters have been reinterpreted. Introduction of corrections for radiation orientation  $R\theta\phi$  to the calculations has significantly improved the internal convergence of the station determination of seismic moments  $M_0$  and respectively, other dynamic parameters, calculated using the values of  $M_0$ . The smallest standard deviations for the new interpretation have been obtained for the circular dislocation radius  $r_0$ . Herewith the average values  $r_0$  increased 2 times as compared with the previous values, which led to a five-fold reduction in the calculated values of the released stress and shear strain and a three-fold reduction in average shift progress, bringing their values to the average long-term values for the given energy level. Adjusted basic dynamic source parameters  $M_0$  and  $r_0$  fully correspond to the average long-term dependencies on the earthquake energy. In addition to the previous values assessment of the values of the apparent stress, radiation friction  $\Delta\sigma_r$ , the energy of dislocation formation in the source  $E_u$  and moment magnitude  $M_w$  is given.

The obtained positive value of the radiation friction  $\Delta\sigma_r > 0$ , indicates a smooth slide along the main break, prepared by the previous weaker foreshocks in the focal zone.

**Keywords:** focal mechanism, nodal plane, radiation direction, breaks, focal zone, the amplitude spectrum, seismic moment, the radius of the dislocation, stress drop, the energy of the dislocation, the moment magnitude

#### Reference

1. International Seismological Centre: On-line Bulletin 1984 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.isc.ac.uk>. (in English).
2. Pustovitenko B. G., Kul'chitskij V. E., Panteleeva T. A. Zemletryaseniya Kryma v 1984 g. (Earthquakes of the Crimea in 1984) // Zemletryaseniya v SSSR v 1984 g. Moscow: Nauka (Publ.), 1987, pp. 11–19. (in Russian).
3. Svidlova V. A., Sykchina Z. N. Katalog i podrobnye dannye o zemletryasenyah Krymsko-Chernomorskogo regiona za 1984 g. (The catalog and detailed data on earthquakes of the Crimean and Black Sea region for 1984) // Seismologicheskij byulleten' Zapadnoj territorial'noj zony ESSN SSSR (Krym-Karpaty) za 1984 g. Kiev: Naukova dumka (Publ.), 1987, pp. 4–122. (in Russian).
4. Borisenko L. S., Pustovitenko B. G., Vol'fman YU. M., Dublyanskij V. N., Novik N. N. Nekotorye metodicheskie aspekty sejsmicheskogo rajonirovaniya oblastej novejshego goroobrazovaniya i sopredel'nyh territorij (na primere Kryma) (Some methodical aspects of seismic division into districts of areas of the latest mountain building and adjacent territories (on the example of Crimea)) // Sejsmichnost' i sejsmicheskoe rajonirovanie Severnoj Evrazii, 1995, Vyp. 2–3, pp. 27–45. (in Russian).
5. Pustovitenko B. G., Lushchik A. V., Boborykina O. A., Kul'chitskij V. E., Mozhzherina A. V., Nasonkin V. A., Pankov F. N., Porechnova E. I., Pustovitenko A. A., Tihonenkov E. P., Shvyrlo N. I. Monitoring sejsmicheskikh protsessov v Krymsko-Chernomorskom regione (Monitoring of seismic processes in the Crimean Black Sea region). Sevastopol': NPTS EKOSI-Gidrofizika (Publ.), 2014, 364 p. (in Russian).

6. Mogi K. Source locations of elastic chocks in the fracturing process in rocks // *Bull. Seismol. Soc. Japan*, 1968, V. 46, no 5, P. 1103–1125. (in English).
7. Pustovitenko B. G. Nekotorye svoystva slozhnyh posledovatel'nostej zemletryasenij Kryma (Some properties of complex sequences of earthquakes of Crimea) // *Geodinamika*, 2011, no 2 (11), pp. 257–262. (in Russian).
8. Kul'chitskij V. E., Safonova G. P., Svidlova V. A. Godografy sejsmicheskikh voln Krymsko-Chernomorskikh zemletryasenij (Year graphs of seismic waves of Crimean Black Sea earthquakes) // *Seismologicheskij byulleten' Zapadnoj territorial'noj zony ESSN SSSR (Krym-Karpaty) za 1983 g.* Kiev: Naukova dumka (Publ.), 1986, pp. 94–103. (in Russian).
9. Shebalin N. V. Ob otsenke sejsmicheskoy intensivnosti (On estimate of seismic intensity) // *Sejsmicheskaya shkala i metody izmereniya sejsmicheskoy intensivnosti*. Moscow: Nauka (Publ.), 1975, pp. 87–109. (in Russian).
10. Balakina L. A., Vvedenskaya A. V., Golubeva N. V., Misharina L. A., Shirokova E. I. Pole uprugih napryazhenij Zemli i mekhanizm ochagov zemletryasenij (Elastic stress field of the Earth and the mechanism of earthquake sources). Moscow: Nauka, 1972. 198 s. (in Russian).
11. Kennet B. L. N. Seismological Tables: ak135 // *Research School of earth Sciences Australian national University*. Canberra: ACT0200 (Publ.), 2005, pp. 80. (in English).
12. Gorbunova I. V., Bojchuk A. N., Dotsev N. I., Kal'met'eva Z. A., Kapitanova S. A., Kuchaj O. A., Mihajlova N. N., Pustovitenko B. G., Simbireva I. G., Tovmasyan A. K. Interpretatsiya ochagovykh voln na zapisyah zemletryasenij (Interpretation of focal waves of earthquake records). Moscow: Nauka (Publ.), 1992, 130 p. (in Russian).
13. Gorbunova I. V., Pustovitenko B. G. A new method of Study Complex Seismic Rupturing // *Geophysics J.*, 1998, Vol. 17, pp. 453–463. (in English).
14. Pustovitenko B. G., Kapitanova S. A. K voprosu ob izuchenii sovremennoj geodinamiki Chernogo morya po ochagovym parametram zemletryasenij (On the question of the study of modern geodynamics of the Black Sea by the focal parameters of earthquakes) // *Geodinamika Krymsko-Chernomorskogo regiona*. Simferopol': IG NANU, KES (Publ.), 1997, pp. 112–115. (in Russian).
15. Pustovitenko B. G., Kapitanova S. A., Panteleeva T. A. Development of the earthquake focal zone on July 5, 1984 in the Crimea // *General assembly ESC*, 1989, Vol. XXI, pp. 415–430. (in English).
16. Pustovitenko B. G., Panteleeva T. A. Spektral'nye i ochagovye parametry zemletryasenij Kryma (Spectral and focal parameters of earthquakes in Crimea). Kiev: Naukova dumka (Publ.), 1990. 251 p. (in Russian).
17. Brune J. N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquake // *J. Geophys. Res.*, 1970, no 26, pp. 4997–5009. (in English).
18. Aptekman ZH. YA., Belavina YU. F., Zaharova A. I., Zobin V. M., Kogan S. YA., Korchagina O. A., Moskvina A. G., Polikarpova L. A., Shepkunas L. S. Spektiry R-voln v zadache opredeleniya dinamicheskikh parametrov ochagov zemletryasenij. Perekhod ot stantsionnogo spektra k ochagovomu i raschet dinamicheskikh parametrov ochaga (Spectra of P-waves in the problem of determining the dynamic parameters of earthquake sources. The transition from the station range to the focal range and calculation of source dynamic parameters) // *Vulkanologiya i seismologiya*, 1989, no 2. pp. 66–79. (in Russian).
19. Kostrov B. *Mekhanika ochaga tektonicheskogo zemletryaseniya*. Moscow: Nauka (Publ.), 1975. 179 p. (in Russian).
20. Hanks T. C., Kanamori H. A moment magnitude scale // *J. Geophys. Res.*, 1979, no 35, pp. 2348–2350. (in English).
21. Pustovitenko B. G., Pustovitenko A. A., Kapitanova S. A., Porechnova E. I. Prostranstvennye osobennosti ochagovykh parametrov zemletryasenij Kryma (Spatial features of focal parameters of the Crimean earthquakes) // *Sejsmichnost' Severnoj Evrazii*. Obninsk: GS RAN (Publ.), 2008, pp. 238–242. (in Russian).
22. Pustovitenko B. G., Merzhej E. A. K prognozu ozhidaemykh sejsmicheskikh vozdeystvij ot sil'nykh zemletryasenij Kryma // *Dopovidi Natsional'noj Akademii Nauk Ukrainy*, 2014, no 5. pp. 102–109. (in Russian).