Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского.
География. Геология. Том 7 (73). №4 .2021 г. С. 164–175.

УДК 550.348.435

СКОРРЕКТИРОВАННЫЕ ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КРЫМА 2018–2019 гг.

Пустовитенко Б. Г.[1], Эреджепов Э. Э.[1,2]

[1]ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического обследования объектов строительства», Симферополь, Республика Крым, Россия
[2]Институт сейсмологии и геодинамики ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: bpustovitenko@mail.ru

Приведены результаты переопределения динамических параметров очагов (M_0, r_0, $\Delta\sigma$, ε, $\eta\sigma$, $\Delta\sigma_r$, $\bar{u}$, Eu и Mw) 7 землетрясений Крыма 2018–2019гг в диапазоне энергетических классов K_{Π} =6.0–11. Для наиболее сильных землетрясений 2018 г.:31 января, 24 апреля, 9 сентября, 13 сентября и 15 октября с K_{Π} =10.5–11 получены решения механизма очагов в рамках модели двойного диполя. В соответствии с полученными решениями определена направленность излучения из очагов на станции регистрации, которая учтена при расчете сейсмического момента M_0 и других динамических параметров.
Ключевые слова: механизм очага, направленность излучения, сейсмический момент, радиус дислокации, сброшенное и кажущееся напряжения, подвижка по разрыву, радиационное трение.

ВВЕДЕНИЕ

При расчете динамических параметров очагов землетрясений учитывается поправка за направленность излучения ($R_{\theta\varphi}$) из очага на станции регистрации. Эта поправка определяется на основе данных о решении механизма очага. В случае отсутствия таких решений используется одинаковое среднее значения $R_{\theta\varphi}$ по всем направлениям, что приводит к большим погрешностям, особенно в случае определений параметров по малому числу станций. Если для сильных землетрясений с $M\geq5.0$, сейсмические колебания от которых регистрируются станциями всего Мира и оперативно появляются необходимые представительные исходные данные для решения механизмов очагов, то для относительно слабых $M\leq$ 4.0 необходимых статистических оперативных данных обычно недостаточно и требуется время для их сбора и обработки. К настоящему времени удалось собрать и обобщить достаточно представительные исходные данные для восстановления механизмов очагов 5 наиболее сильных землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2018 год с моментной магнитудой Mw$\geq$3.7, оценить направленность сейсмического излучения на каждую используемую для анализа станцию регистрации. Это позволило с учетом рассчитанных индивидуальных функций направленности излучения откорректировать станционные и средние значения динамических параметров очагов, опубликованные ранее [1]. Кроме того, для двух землетрясений 2019 г. [2] проведена повторная интерпретация амплитудных спектров и, соответственно, также уточнены динамические параметры очагов. Анализу новых полученных данных посвящена настоящая работа.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Переопределение динамических параметров очагов землетрясений 2018–2019 гг. выполнено для наиболее сильных землетрясений 2018 г. и двух более слабых сейсмических событий 2019 г. (рис. 1, табл. 1). Использованы те же амплитудные спектры объемных волн, которые были рассчитаны в 2018–2019 гг. для восстановления спектральных и динамических параметров очагов [1, 2].

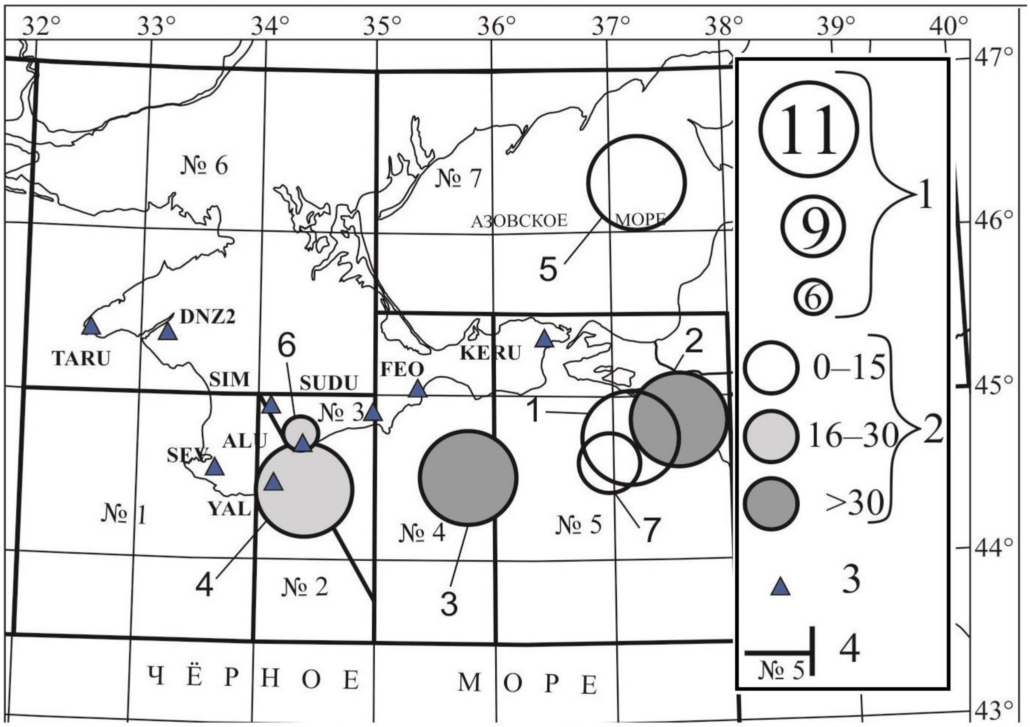

Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2018–2019 г., для которых уточнены динамические параметры очагов: *1* — энергетический класс K_{Π} [3]; *2* — глубина очага; *3* — сейсмическая станции; *4* — граница и номер районов. Цифры рядом с эпицентрами — номера землетрясений в соответствии с табл. 1.

Основой для решения механизмов очагов явились не только данные о знаках первых вступлений продольных волн на сейсмические станции, опубликованные в региональном [4] и международном каталогах [5], но и дополнительно собранные и обработанные сейсмограммы ближайших станций Турции, Кавказа, Украины. В результате существенно дополнены статистические данные из районов азимутальных «брешей» станционных определений знаков первых вступлений. Таким образом, удалось получить статистически значимый материал исходных данных для надежного решение механизма очагов. Углы выхода сейсмических волн определены для удаленных станций по годографу «ak135» [6], а для близких — по региональному годографу [7].

Таблица 1.
Основные параметры землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2018–2019 гг., для которых уточнены очаговые параметры

№	Дата, *г м д*	t_0, *ч мин с*	Эпицентр		*h*, *км*	Магнитуда		$K_П$	Район
			φ°, N	λ°, E		*Mw/n*, табл. 2	*ML wsg*		
1	*2*	*3*	4	5	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
1	2018 01.31	04 28 55.6	44.74	37.14	10	3.96/8	3.8	11.0	Керченско-Анапский (№ 5)
2	2018 04.24	20 47 42.0	44.86	37.56	33	3.95/7	3.9	10.7	Керченско-Анапский (№ 5)
3	2018 09.09	07 47 04.1	44.49	35.80	35	3.86/6	4.0	10.8	Судакско-Феодосийский (№ 4)
4	2018 09 13	05 45 23.0	44.42	34.41	29	3.72/4	3.5	10.5	Ялтинский (№ 2)
5	2018 10.15	10 42 07.6	46.30	37.24	6	4.13//8	4.0	11.0	Азово-Кубанский (№ 7)
6	2019 01.26	02 59 55.8	44.77	34.37	19	1.98/2		6.0	Алуштинский (№ 3)
7	2019 01.29	19 40 00.9	44.60	36.98	11	2.93/2	2.8	9.0	Керченско-Анапский (№ 5)

Примечание. Параметры землетрясений в графах 2–6, 8–10 даны по [4], значения *Mw/n* (графа 7) — из табл. 4, где *n* — число индивидуальных определений, участвовавших в осреднении.

2. МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ

Решение механизмов очагов выполнено на основе теории дислокации в рамках модели двойного диполя без момента [8] по стандартной методике [9] с использованием знаков первых вступлений объемных сейсмических волн на станции регистрации. В результате получены параметры двух возможных положений поверхности разрыва (нодальных плоскостей *NP*1 и *NP*2) и осей главных напряжений, действующих в очаге: растяжения T, промежуточного N и сжатия P (табл. 2, рис. 2).

Два из рассмотренных землетрясений (№1, №2) произошли в различных слоях литосферы в восточной части региона (Керченско-Анапская зона): **31 января** — в верхней части земной коры на глубине 10 *км*, а второе 24 апреля — вблизи границы кора-мантия на глубине 33 *км* и имели различный тип механизма очагов.

Таблица 2.

Параметры механизмов очагов землетрясений Крымско-Черноморского региона за 2018-гг.

Дата *м д*	t_0, *ч мин с*	*h*, *км*	*Mw*	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
				T		*N*		*P*		*NP*1			*NP*2		
				PL	*AZM*	*PL*	*AZM*	*PL*	*AZM*	*STK*	*DP*	*SLIP*	*STK*	*DP*	*SLIP*
01.31	04 28 55.6	10	4.0	23	15	31	270	50	135	261	75	-122	148	35	-28
04.24	20 47 42.0	33	4.0	81	319	9	139	0	229	131	46	78	328	46	102
09.09	07 47 04.1	35	3.9	9	228	9	319	78	93	146	54	-79	308	37	-105
09.13	05 45 23.0	29	3.7	0	166	19	256	71	76	94	48	-65	238	48	-116
10.15	10 42 07.6	6	4.1	80	264	11	84	0	354	274	46	105	74	46	71
*10.15	10 42 07.0	17	4.1	0	1	66	91	24	270	48	73	-162	313	73	-18

Примечание: * решение из [5]

Землетрясение 31 января возникло под действием близгоризонтальных сил растяжения, ориентированных в северо-восточном направлении. Тип подвижки в очаге — сбросо-сдвиг. Одна из нодальных плоскостей ориентирована диагонально (*STK*=148°) с пологим погружением к юго-западу, а другая — близширотно (*STK*=261°) с крутым падением (*DP*=75°) к северу. Обе нодальные плоскости ориентированы диагонально.

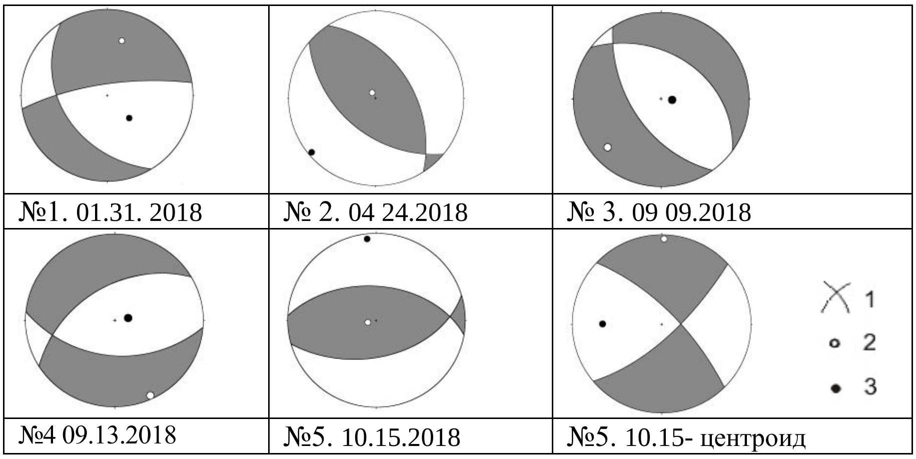

Рис. 2. Стереограммы механизмов очагов землетрясений № 1–5 (в проекции нижней полусферы). *1* — положение нодальных плоскостей; *2, 3* — оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно.

Второе землетрясение **24 апреля** произошло в обстановке горизонтального сжатия. Обе нодальные плоскости наклонные (*DP*=46°) и ориентированы диагонально. Тип подвижки в очаге — взброс, что характерно для этой зоны Крымско-Черноморского региона [10].

При **землетрясении 9 сентября (№3)** с эпицентром в Судакско-Феодосийской зоне возникла сбросовая подвижка под действием растягивающих напряжений диагонального направления. Обе нодальные плоскости наклонные и ориентированы близдиагонально (рис. 2, табл. 2). Тип подвижки и параметры механизма очага подобны таковым для ощутимого землетрясения, произошедшего в этой зоне 16 августа 1990 г. [11].

Землетрясение 13 сентября (№4) произошло в земной коре района континентального склона (зона Южнобережного глубинного разлома) под действием горизонтальных сил растяжения близмеридионального направления (AZM=166°). Тип подвижки в очаге — сброс, как при разрушительном землетрясении 11.09.1927 г. и ощутимом 02.03.2014 г. [12, 13,], приуроченных к зоне Южнобережного разлома.

В очаге **землетрясения 15 октября 2018 г. (№5)** с эпицентром в Азовском море произошел взброс активного крыла разрыва под действием горизонтальных сил сжатия (PL=0°) меридионального направления (AZM =354°). Близширотное простирание нодальных плоскостей возможно связано с разрывом вдоль широтного Погранично-Ейского линеамента [14]. Механизм очага для района Азовского моря нами получен впервые.

Для землетрясения 15.10.2018 г. имеется также решение по тензору центроида момента [5], которое отличается от полученного в данной работе в рамках двойного диполя без момента (табл. 2) как по типу подвижки, так и по ориентации нодальных плоскостей разрыва. Отметим, что механизм очага в рамках диполя определяется по знакам первых вступлений объемных волн на сейсмические станции и относится к началу вспарывания разрыва, а центроид – к главной фазе развития процесса в очаговой зоне и для решения механизма используется вся сейсмограмма. Сравнивая эти два решения, можно предположить, что первое движение в очаге началось со взброса, а в конце процесса разрушения среды произошло перераспределение напряжений, которое спровоцировало сбросовую подвижку. Используя данные о координатах центроида [5] и гипоцентра землетрясения (табл. 1) можно также предположить, что процесс вспарывания в очаговой зоне развивался от начального гипоцентра сверху вниз (с глубины h=6*км* на глубину h=17*км*) в северо-западном направлении в азимуте 300°.

3. КОРРЕКТИРОВКА ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЧАГА

Для корректировки динамических параметров очага в рамках дислокационной модели Бруна [15] использованы спектры, рассчитанные ранее [1, 2]. Методика и формулы расчета также не изменились по сравнению с [2]. Отличие заключается только в том, что при вычислении скалярного сейсмического момента M_0 в формулу (1) введена реальная поправка за направленность излучения $R_{\theta\varphi}$, определенная по данным о решении механизмов очагов по табл. 2.

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

где Ω_0 – максимальное значение спектральной плотности при $\omega \to 0$; V – скорость распространения объемной волны; ρ – плотность пород в окрестности очага, $R_{\theta\varphi}$ –

направленность излучения из очага на станцию регистрации; $G(\Delta, h)$ — поправка за геометрическое расхождение; $C(\omega)$ – частотная характеристика среды под станцией, $Sm(f)$ – поправка за неупругое затухание в мантии.

Расчет значений $R_{\theta\varphi}$ выполнен по углам θ и φ, где θ — угол между направлением очаг-станция регистрации и вектором подвижки, а φ — угол между тем же направлением и нормалью к плоскости разрыва в очаге. Результаты расчетов $R_{\theta\varphi}$ представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Значения станционных поправок $R_{\theta\varphi}$ по данным о механизмах очагов

Дата	Волна	ALU	DNZ2	SEV	SIM	SUDU	TARU	YAL
31.01.2018	P	0.1			0.15	0.12		0.1
	S	0.61			0.59	0.6		0.54
24.04.2018	P			0.1	0.2	0.15		
	S	0.6		0.5	0.45		0.5	
09.09.2018	P		0.25		0.2			0.35
	S		0.45		0.6			0.41
13.09.2018	P					0.34		0.31
	S				0.49			0.37
15.10.2018	P	0.23			0.47			0.3
	S	0.67	0.4		0.57	0.45		0.5

С учетом поправок $R_{\theta\varphi}$ из табл. 3 для землетрясений №1–5 проведен пересчет сейсмических моментов M_0 для каждой станции регистрации. Поскольку от значения сейсмического момента существенно зависят остальные динамические параметры: $\Delta\sigma$, ε, $\eta\sigma$, $\Delta\sigma_r$, $\bar{u}$, Eu и Mw, то проведена полная корректировка всех станционных и средних значений параметров (***S***) и стандартных отклонений (δS). Осреднение выполнено по индивидуальным станционным определениям с учетом логнормального закона распределения величин с соответствующим стандартным отклонением [16]. Средние значения радиационного трения $\Delta\sigma_r$ вычислялись по среднегеометрическим для данного очага напряжениям $\Delta\sigma$ и $\eta\bar{\sigma}$, поскольку станционные значения получились знакопеременными. Среднее значение моментной магнитуды Mw определено как среднее арифметическое с соответствующей погрешностью.

Кроме этого, проведена повторная интерпретация спектров двух землетрясений 2019 г. (№6 и 7 по табл. 1), уточнены исходные спектральные параметры: спектральная плотность Ω_0 и угловая частота f_0 и, соответственно, пересчитаны динамические параметры.

В итоговой таблице 4 для каждой станции регистрации указаны эпицентральное расстояние Δ, *км*, тип использованной волны (*P, S*) и составляющая записи, где (N+E) означает полный вектор колебаний по горизонтальным составляющим N+S и E–W, а спектральная плотность обозначена как $\sum\Omega_0$.

Таблица 4.

Откорректированные динамические параметры очагов землетрясений Крыма за 2018–2019 гг.

Станция	Волна	Составляющая	Δ, *км*	$\Omega_0 \cdot 10^{-6}$, *м·с*	$\sum\Omega_0 \cdot 10^{-6}$, *м·с*	f_0, *Гц*	$M_0 \cdot 10^{13}$, *Н·м*	r_0, *км*	$\Delta\sigma \cdot 10^5$, *Па*	$\varepsilon \cdot 10^{-6}$	$\bar{u} \cdot 10^{-2}$, *м*	$\eta\sigma \cdot 10^5$ *Па*	$\Delta\sigma_r \cdot 10^5$, *Па*	$Eu \cdot 10^8$, *Дж*	*Mw*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
№1. 31 января 2018 г., t_0=0.4 *ч* 28 *мин* 55.6 *с*; φ=44.74°, λ=37.13°; *h*=10 *км*; $K_П$=11.0															
ALU	S	N+E	215		1.25	1.42	118	0.94	8.13	20.4	1.4	6.77	-3.71	120	3.98
ALU	P	Z	215	0.035		2.6	104	0.9	6.32	21.5	1.37	7.7	-4.54	109	3.95
SIM	P	Z	239	0.12		2.7	198	0.86	13.5	45.0	2.82	4.04	2.71	445	4.13
SIM	S	N+E	239		1.3	1.45	102	0.92	5.66	18.9	1.27	7.8	-4.97	96.6	3.94
SUDU	P	Z	169	0.1		2.7	146	0.86	9.98	33.3	2.09	5.46	-0.47	243	4.05
SUDU	S	N+E	169		1.2	1.6	89.4	0.84	6.65	22.2	1.35	8.93	-5.61	99	3.9
YAL	P	Z	237	0.04		3	131	0.78	12.2	48.0	2.3	12.2	0.05	266	4.01
YAL	S	N	237		0.35	1.8	44.1	0.74	4.67	15.6	0.84	18.1	-15.8	34.3	3.7
S							**108**	**0.85**	**7.88**	**26**	**1.57**	**8.1**	**-4.2**	**137**	**3.96**
δ*S*							0.07	0.01	0.06	0.06	0.06	0.07		0.12	0.06
№2. 24 апреля 2018 г., t_0=20 *ч* 47 *мин* 42.0 *с*; φ=44.86°, λ=37.56°; *h*=33 *км*; $K_П$=10.7															
ALU	S	N+E	250		1.22	2.1	120	0.67	17.1	57.0	2.8	11.2	-2.64	341	3.99
SEV	P	Z	308	0.02		3.2	120	0.77	11.6	38.7	2.16	11.2	-5.35	232	3.99
SEV	S	N+E	308		0.15	2.15	34.4	0.66	5.28	17.6	0.84	38.9	-36.3	30.3	3.63
SIM	P	Z	271	0.11		2.9	183	0.85	13.1	43.8	2.7	7.32	-0.75	401	4.11
SIM	S	N	271		0.6	1.95	84.6	0.73	9.69	32.3	1.71	15.8	-11.0	137	3.89
SUDU	P	Z	202	0.12		3.0	200	0.82	15.9	52.9	3.15	6.71	1.22	528	4.14
TARU	S	N+E	398		0.3	2.0	89	0.71	11.0	36.6	1.89	15.1	-9.57	163	3.9
S							**105**	**0.74**	**11.3**	**37.6**	**2**	**12.8**	**-7.2**	**197**	**3.95**
δ*S*							0.1	0.02	0.06	0.06	0.07	0.1		0.16	0.10
№3. 9 сентября 2018 г., t_0=0.7 *ч* 47 *мин* 04.1 *с*; φ=44.49°, λ=35.80°; *h*=35 *км*; $K_П$=10.8															
SIM	P	Z	143	0.09		2.9	78.5	0.85	5.64	18.8	1.16	6.96	-4.14	73.7	3.87
SIM	S	N+E	143		2.5	1.55	139	0.91	7.97	26.6	1.76	3.94	0.05	184	4.03
DNZ2	P	Z	227	0.075		2.8	82.9	0.88	5.36	17.9	1.14	6.59	-3.91	74.1	3.88
DNZ2	S	N+E	227		0.53	1.6	62.1	0.88	3.93	13.1	0.85	8.79	-6.83	40.6	3.80
YAL	P	Z	131	0.13		3.0	59.8	0.82	4.76	15.9	0.95	9.13	-6.75	47.4	3.79
YAL	S	N+E	131		1.0	1.9	74.9	0.74	7.93	26.4	1.43	7.29	-3.32	99.1	3.85
S							**79.5**	**0.84**	**5.74**	**19.1**	**1.2**	**6.9**	**-4**	**75.9**	**3.86**
δ*S*							0.05	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05		0.1	0.06

Продолжение таблицы 4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
№4. 13 сентября 2018 г., t_0 =0.5 *ч* 45 *мин* 23.4 *с*; φ =44.42°, λ=34.41°; *h*=29 *км*; $K_П$=10.5															
SIM	S	N+E	63		1.95	1.6	50.5	0.88	3.19	10.6	0.69	6.66	-5.06	26.9	3.74
SUDU	P	Z	70	0.22		3.0	47.2	0.82	3.76	12.5	0.75	7.13	-5.25	29.5	3.72
YAL	P	Z	21	0.55		3.5	60.9	0.7	7.69	25.6	1.31	5.53	-1.68	78.1	3.79
YAL	S	N+E	21		1.85	2.2	32.8	0.64	5.39	18.0	0.84	10.3	-7.58	29.4	3.61
S							**46.7**	**0.75**	**4.72**	**15.7**	**0.87**	**7.21**	**-4.85**	**36.7**	**3.72**
δ*S*							0.06	0.03	0.09	0.09	0.06	0.06		0.11	0.05
№5. 15 октября 2018 г., t_0=10 *ч* 42 *мин* 07.6 *с*; φ=46.30°, λ=37.24°; *h*=6 *км*; $K_П$=11.0															
ALU	P	Z	285	0.12		1,96	136	1.14	4.02	13.4	1.11	5.86	-3.85	92	4.03
ALU	S	N+E	285		5.3	1,1	376	1.15	10.8	35.9	3.01	2.12	3.26	675	4.32
SIM	P	Z	285	0.3		1,95	167	1.15	4.84	16.1	1.35	4.79	-2.37	134	4.09
SIM	S	N+E	285		5.6	1,05	304	1.21	7.58	25.3	2.22	2.63	1.16	384	4.26
SUDU	P	Z	234	0.7		1,9	334	1.18	8.98	29.9	2.56	2.39	2.1	500	4.29
DNZ2	S	N+E	329		2.33	1,05	247	1.14	7.38	24.6	2.03	3.24	0.45	303	4.2
YAL	P	Z	314	0.09		1,9	86,2	1.18	2.32	7.72	0.66	9.26	-8.11	33.3	3.89
YAL	S	N+E	314		0.9	1,15	94.4	1.1	3.09	10.3	0.83	8.46	-6.91	48.7	3.92
S							**190**	**1.16**	**5.4**	**18.1**	**1.52**	**4.2**	**-1.5**	**173**	**4.13**
δ*S*							0.09	0.004	0.08	0.08	0.08	0.09		0.17	0.13
№6. 26 января 2019 г., t_0=0.2 *ч* 59 *мин* 55.8 *с*; φ=44.77°, λ=34.37°; *h*=19 *км*; $K_П$=6.0															
ALU	P(e)	Z	10	0.001		7.0	0.038	0.32	0.052	0.17	0.004	1.56	-1.56	0.0033	1.66
ALU	S	N+E	10		0.05	4.2	0.35	0.30	0.56	1.85	0.041	0.17	0.11	0.032	2.3
S							**0.12**	**0.31**	**0.17**	**0.56**	**0.01**	**0.51**	**-0.43**	**0.01**	**1.98**
δ*S*							0.48	0.01	0.52	0.52	0.51	0.48		0.49	0.32
№7. 29 января 2019 г., t_0=19 *ч* 40 *мин* 00.9 *с*; φ=44.60°, λ=36.98°; *h*=11 *км*; $K_П$=9.0															
SUDU	P	Z(e)	160	0.01		4.5	2.95	0.50	1.04	3.48	0.13	6.1	-5.6	0.51	2.91
SUDU	S	N+E	160		0.06	2.7	3.19	0.47	1.35	4.51	0.15	5.6	-4.9	0.72	2.94
S							**3.1**	**0.48**	**1.18**	**4**	**0.14**	**5.8**	**-5.2**	**0.61**	**2.93**
δ*S*							0.017	0.01	0.06	0.06	0.03	0.02		0.07	0.02

В целом можно отметить, что для наиболее сильных землетрясений (№№ 1–5), для которых получено решение механизма очага и, соответственно, внесена поправка за направленность излучения, получена наилучшая сходимость индивидуальных станционных значений всех динамических параметров.

Значения моментных магнитуд *Mw* определены с погрешностью не выше ± 0.1. Исключение составляет только *Mw* с погрешностью ± 0.32 для землетрясения 26 января (№6), определенное по одной станции «Алушта» с использованием относительно слабого сигнала продольной волны (в табл. 4 обозначено, как P(e)). Не исключена также и ошибка за счет отклонения реальной направленности излучения $R_{\theta\varphi}$, от принятой при расчетах средней $R_{\theta\varphi}$= 0.4, как для *P*, так и *S*-волн при неизвестном механизме очага данного землетрясения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для пяти наиболее сильных землетрясений 2018 г. с *К*п=10.5–11, произошедших в разных районах региона: 31 января и 24 апреля (Керченско-Анапский район), 9 сентября (Судакско-Феодосийский район), 13 сентября (Ялтинский район) и 15 октября (район Азовского моря) получены решения механизма очагов в рамках модели двойного диполя [8]. Тип подвижки в очаге землетрясения 31 января — сбросо-сдвиг, 9 сентября и 13 сентября — сброс, а в очагах землетрясений 24 апреля и 15 октября — взброс. Рассчитанные по параметрам механизмов очагов функции сейсмического излучения в направлении очаг – станции регистрации получились различными как для отдельных станций, так и разных типов волн. Соответственно, станционные поправки за направленность излучения оказались в несколько раз отличающиеся от среднего значения, ранее принятого без знания механизмов очагов [1]. С учетом новых полученных данных проведен перерасчет индивидуальных значений динамических параметров очагов за 2018 год, которые показали хорошую внутреннюю сходимость, как по отдельным станциям, так и по типам объемных волн. В результате скорректированные их средние значения ***S*** получились с малым стандартным отклонением δS, показателем степени рассеяния индивидуальных оценок. Эти откорректированные значения динамических параметров очагов землетрясений можно отнести к категории надежных и совместно с полученными новыми данными о механизмах очагов использовать в решении научных и прикладных задач сейсмологии и геодинамики.

Список литературы

1. Пустовитенко Б. Г., Эреджепов Э. Э. Бондарь М. Н, Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений Крыма 2018 года //Ученые записки Крымского Федерального Университета им В. И. Вернадского География. Геология. Том 5(71), №4, 2019. С. 77–96.
2. Пустовитенко Б. Г., Эреджепов Э. Э., Бондарь М. Н. Спектральные и динамические параметры очагов землетрясений Крыма 2019 года // Ученые записки Крымского Федерального Университета им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2020, Том 6 (72), № 4. С. 67–85.
3. Пустовитенко Б. Г., Кульчицкий В. Е. Об энергетической оценке землетрясений Крымско-Черноморского региона // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. М.: ИФЗ АН СССР, 1974. Том 2. С. 113–125.
4. Калинюк И. В..Свидлова В. С., Бондарь М. Н. Сейсмичность Крыма в 2018 г. //Ученые записки Крымского Федерального Университета им В. И. Вернадского География. Геология. Том 5(71), №4, 2019. С. 7–75.
5. International Seismological Centre (2021), On-line Bulletin [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://doi.org/10.31905/D808B830 (дата обращения: 7.10.2021).
6. Kennet B.L.N. Seismological Tables: ak135. Research School of earth Sciences Australian national University. Australia, Canberra, ACT0200, 2005. 80 p.
7. 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.
8. Введенская А. В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокации. М.: Наука, 1969. 260 с.
9. Балакина Л. А., Введенская А. В., Голубева Н. В., Мишарина Л. А., Широкова Е. И. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений Москва: Наука, 1972. 198 с.
10. Вольфман Ю. М. Пустовитенко Б. Г., Колесникова Е. Я., Останин А. М. Обстановки сейсмогенеза Крымско-Черноморского региона (по данным решений механизмов очагов землетрясений) //

Ученые записки Крымского Федерального Университета им В. И. Вернадского. География. Геология. Том 2(68), №4, 2018. С. 206–250
11. Пустовитенко Б. Г. Механизм очагов ощутимых землетрясений Крымско-Черноморского региона последних 20 лет // Сейсмологический бюллетень Украины за 2000 год, Изд. ИГ НАНУ, КЭС, 2002. С.59–64.
12. Пустовитенко Б. Г. Динамические параметры очагов разрушительных крымских землетрясений 1927 г. // Сейсмологический бюллетень Украины за 2001 год. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2003. С. 124–130.
13. Пустовитенко Б. Г., Эреджепов Э. Э. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крымско-Черноморского региона // Землетрясения Северной Евразии в 2014. Вып.23(2014 г.). Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. С.250–262.
14. Евдощук М. І., Галко Т. М., Седлерова О. В., Волкова О. В., Якубенко Г. М.. Перспективи нефтегазоносності украіінского сектора Азовского моря за комплексною оцінкой даних аэрокосмічнх досліджень // Нафтогазова галузь Украііни. 2013, №1. С. 3–8.
15. Brune I. V. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes // J.Geophys. Res. 1970. V. 75, № 26, pp. 4997–5009.
16. Пустовитенко Б. Г., Пантелеева Т. А. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. Киев: Наукова думка, 1990. 251 с.

CORRECTED FOCAL PARAMETERS OF THE EARTHQUAKES OF THE CRIMEA 2018–2019

Pustovitenko, B. G[1]., Eredzhepov, E. E.[1,2]

[1]State Autonomous Institution of the Republic of Crimea «Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment, Technical Inspection of Construction Facilities», Simferopol, Republic of Crimea, Russia;

[2]Institute of seismology and geodynamics of the Federal State Autonomous educational institution "Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky", Simferopol, Republic of Crimea, Russia

E-mail: bpustovitenko@mail.ru

The results of redefinition of the dynamic parameters of the (M_0, r_0, $\Delta\sigma$, ε, $\eta\sigma$, $\Delta\sigma_r$, $\bar{u}$, Eu and Mw) of seven earthquakes of Crimea in 2018–2019 in the range of energy classes $K_П$ =6.0–11 (Mw=2– 4.1) are presented.
For the five strongest earthquakes of 2018 with Mw=3.7–4.1 that occurred in different regions of the region: January 31 and April 24 (Kerch-Anapa district), September 9 (Sudak-Feodosiysky district), September 13 (Yalta district) and on October 15 (the Azov Sea region), solutions of the mechanism of foci were obtained within the framework of the double dipole model. The type of movement in the earthquake center on January 31 is a reset-shift, on September 9 and September 13 — a reset, and in the earthquake centers on April 24 and October 15 — a surge. The seismic radiation functions calculated from the parameters of the foci mechanisms in the direction of the foci- recording station turned out to be different both for individual stations and for different types of waves. Accordingly, the station corrections for the radiation direction turned out to be several times different from the average value previously accepted without knowledge of the mechanisms of foci. Taking into account the new data, the recalculation of the individual values of the dynamic parameters of the foci for 2018 was carried out. A good internal convergence of the results was obtained, both for individual stations and for types of volume waves. The

adjusted average values of the dynamic parameters of the foci were obtained with a small standard deviation, an indicator of the degree of dispersion of individual estimates.

References

1. Pustovitenko B. G., Eredzhepov E. E., Bondar' M. N. Spektral'nye i dinamicheskie parametry ochagov zemletryasenij Kryma 2018 goda (Spectral and dynamic parameters of the centers of Crimea earthquakes in 2018). Uchenye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im. V.I .Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. V. 5 (71), no 4, 2019, pp. 77–96 (in Russian).
2. Pustovitenko B. G., Eredzhepov E. E., Bondar' M. N. Spektral'nye i dinamicheskie parametry ochagov zemletryasenij Kryma 2019 goda (Spectral and dynamic parameters of the centers of Crimea earthquakes in 2019). Uchenye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. V. 6 (72), no 4, 2020, pp. 67-85 (in Russian).
3. Pustovitenko B. G., Kul'chickij V. E. Ob ehnergeticheskoj ocenke zemletryasenij Krymsko-Chernomorskogo regiona (On the energy assessment of earthquakes in the Crimean-Black Sea region). Magnituda i ehnergeticheskaya klassifikaciya zemletryasenij. M.: IFZ AN SSSR. 1974. V. 2, pp. 113–125 (in Russian).
4. Kalinyuk I. V..Svidlova V. S., Bondar' M. N. Seysmichnost' Kryma v 2018 g. (Seismicity of Crimea in 2018). Uchenyye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2019. V. 5(71), no 4, pp. 7–75 (in Russian).
5. International Seismological Centre (2021), On-line Bulletin [Electronic resource]. URL: https://doi.org/10.31905/D808B830 (reference date: 7.10.2021).
6. Kennet B.L.N**.** Seismological Tables: ak135. Research School of earth Sciences Australian national University. Australia, Canberra, ACT0200, 2005. 80 p.
7. Kul'chickij V. E., Safonova G. P., Svidlova V. A. Godografy sejsmicheskih voln Krymsko-Chernomorskih zemletryasenij. Sejsmologicheskij byulleten' Zapadnoj territorial'noj zony ESSN SSSR (Krym-Karpaty) za 1983 g. (Hodographs of seismic waves of the Crimean-Black sea earthquakes. Seismological Bulletin of the Western Territorial Zone of the ESSN of the USSR (Crimea-Carpathians) for 1983).). Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka, 1986, pp. 94–103 (In Russian).
8. Vvedenskaya A. V. Issledovaniye napryazheniy i razryvov v ochagakh zemletryaseniy pri pomoshchi teorii dislokatsii (Study of stresses and ruptures in earthquake sources using the theory of dislocation). M.: Nauka, 1969, 260 p. (in Russian).
9. Balakina, L. A., Vvedenskaya, A. V., Golubeva, N. V., Misharina, L. A., Shirokova, E. I.. Pole uprugikh napriazhenii Zemli i mekhanizm ochagov zemletriasenii [Field of elastic stresses of the Earth and the mechanism of earthquake foci]. Moscow, Nauka, 1972, 198 p. (in Russian).
10. Vol'fman YU. M. Pustovitenko B. G., Kolesnikova Ye. YA., Ostanin A. M. Obstanovki seysmogeneza Krymsko-Chernomorskogo regiona (po dannym resheniy mekhanizmov ochagov zemletryaseniy) (Conditions of seismogenesis of the Crimean-Black Sea region (according to the solutions of earthquake focal mechanisms)). Uchenyye zapiski Krymskogo Federal'nogo Universiteta im V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2018, V. 2(68), no 4, pp. 206–250 (in Russian).
11. Pustovitenko B. G. Mekhanizm ochagov oshchutimykh zemletryaseniy Krymsko-Chernomorskogo regiona poslednikh 20 let (The mechanism of sources of tangible earthquakes in the Crimean-Black Sea region of the last 20 years) Seysmologicheskiy byulleten' Ukrainy za 2000 god. IG NANU, KES, 2002. pp. 59–64. (in Russian).
12. Pustovitenko B. G. Dinamicheskiye parametry ochagov razrushitel'nykh krymskikh zemletryaseniy 1927 g. (Dynamic parameters of the foci of the destructive Crimean earthquakes of 1927). Seysmologicheskiy byulleten' Ukrainy za 2001 god. Sevastopol': NPC «EKOSI-Gidrofizika», 2003, pp. 124–130 (in Russian).
13. Pustovitenko B. G., Eredzhepov E. E. Spektral'nyye i ochagovyye parametry zemletryaseniy Krymsko-Chernomorskogo regiona (Spectral and focal parameters of earthquakes in the Crimean-Black Sea region). Zemletryaseniya Severnoy Yevrazii v 2014 g. Obninsk: FITS YEGS RAN, 2020. Vyp.23, pp.250–262. (in Russian).

14. Evdoshchuk M. I., Halko T. M., Sedlerova O. V., Volkova O. V., Yakubenko H. M. Perspektyvy neftehazonosnosti ukraiinskoho sektora Azovskoho morya za kompleksnoyu otsinkoy danykh aérokosmichnkh doslidzhen′ (Prospects of oil and gas potential of the Ukrainian sector of the Sea of Azov for a comprehensive assessment of aerospace research data). Naftohazova haluz Ukraiiny, 2013, no 1, pp. 3–8 (in Ukrainian).
15. Brune I. V. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. J.Geophys. Res. 1970. V.75, no. 26, pp. 4997–5009 (in English).
16. Pustovitenko B. G., Panteleeva T. A. Spektral'nye i ochagovye parametry zemletryasenij Kryma (Spectral and focal parameters of Crimea earthquakes). Kiev: Naukova dumka, 1990, 251 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 12.11.2021 г.