

**КРИЛЬОНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 23 апреля 2017 г. с  $M_w=5.1$ ,  $I_0^p=5$  баллов (о. Сахалин)****Е.П. Семёнова<sup>1</sup>, Д.А. Сафонов<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, *semenova@seismo.sakhalin.ru*<sup>2</sup>Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, *d.safonov@imgg.ru*

**Аннотация.** 23 апреля 2017 г. в 06<sup>h</sup>37<sup>m</sup> UTC в предгорьях Южно-Камышового хребта полуострова Крильонский было зарегистрировано землетрясение с магнитудой  $M_w=5.1$ . Оно явилось самым сильным на о. Сахалин в 2017 году. Определение параметров землетрясения было выполнено по данным региональной сети Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН с привлечением данных глобальной сети IRIS (GSN) и станций Университета Хоккайдо. Полученные параметры землетрясения по данным региональной сети согласуются с данными международных сейсмологических центров. Максимальная интенсивность сотрясений от землетрясения 23 апреля 2017 г. в населенных пунктах Южного Сахалина составила 4 балла по шкале MSK-64, на острове Хоккайдо – II балла по шкале JMA. Подвижка в очаге землетрясения реализовалась в условиях близгоризонтального субширотного сжатия. Тип сейсмодислокации – взбросовый. Привлечение данных сейсмических станций локальной сети Южного Сахалина позволило проанализировать сейсмический режим в эпицентральной зоне Крильонского землетрясения.

**Ключевые слова:** землетрясение, Сахалинский регион, параметры гипоцентра, механизм очага, макросейсмические проявления.

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.30 EDN: KWLVT

**Для цитирования:** Семёнова Е.П., Сафонов Д.А. Крильонское землетрясение 23 апреля 2017 г. с  $M_w=5.1$ ,  $I_0^p=5$  баллов (о. Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 327–337. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.30. EDN: KWLVT

**Введение.** 23 апреля 2017 г. в 06<sup>h</sup>37<sup>m</sup> UTC в восточной части Южно-Камышового хребта на полуострове Крильонский (о. Сахалин) было зарегистрировано землетрясение с магнитудой  $M_w=5.1$ . Это самое сильное событие на юге о. Сахалин в 2017 г. получило название Крильонское землетрясение. Максимальная интенсивность сотрясений в населенных пунктах Южного Сахалина составила 4 балла по шкале MSK-64, на острове Хоккайдо – II балла по шкале JMA. Авторы публикации [1] классифицировали произошедшее землетрясение как проявление сейсмичности зоны Центрально-Сахалинского разлома.

Интерес к событию 2017 г. вызывает факт, что в 25.11.2013 г. у противоположного западного побережья Крильонского полуострова произошло землетрясение с  $M_w=5.2$ . Результаты детального изучения были представлены в журнале «Землетрясения Северной Евразии» [2]. Крильонское землетрясение 2013 г. продолжило череду сильных землетрясений (Углегорское 04.08.2000 г. ( $M_w=7.0$ ) [3], Горнозаводское 17.08.2006 г. ( $M_w=5.7$ ) [4], Невельское 02.08.2007 г. ( $M_w=6.2$ ) [5]), эпицентры которых трассируют Западно-Сахалинскую разломную зону.

В настоящей статье представлены результаты наблюдений за сейсмическим процессом Крильонского землетрясения 2017 г., предложена интерпретация сейсмичности в районе Крильонского полуострова на основе имеющихся концепций геодинамического процесса в Сахалинском регионе.

**Инструментальные данные.** В табл. 1 приведены результаты определения параметров землетрясения 23 апреля 2017 г. по данным Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН (три верхние строки таблицы) и международных сейсмологических агентств.

**Таблица 1.** Основные параметры Крильонского землетрясения 23 апреля 2017 г. по данным различных сейсмологических агентств

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ- ник
			$\varphi^\circ$ , N	$\Delta\varphi$ км	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda$ , км	$h$ , км	$\delta h$ , км		
SKHL (YSS)	06 37 06.5	0.055	46.076	–	142.075	–	4.3	4.6	$MPSP=5.4$ , $MS=4.8$ , $K_C=11.8$ , $K_P=13.5$	[6]

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ- ник
			$\varphi^\circ$ , N	$\Delta\varphi$ км	$\lambda^\circ$ , E	$\delta\lambda$ , км	$h$ , км	$\delta h$ , км		
SKHL (ОСО СД)	06 37 06.37	0.80	45.995	0.017	142.054	0.092	5	3	$MPVA=5.3/25$ , $MLH=5.0/3$ , $K_C=11.9$	[7]
SKHL (ОПН)	06 37 06.4	0.01	46.070	0.781	142.114	1.139	6	1	$K_p=13.0$	[8]
GS RAS	06 37 07.5	0.88	46.147	–	142.126	–	19	–	$MPSP=5.3/70$ , $MS=4.7/34$	[9]
EMSC	06 37 09.5	–	46.19	–	142.23	–	18	–	$M_w=5.1$	[10]
NEIC	06 37 08.06	1.11	46.171	0.05	142.176	0.05	10	1.8	$m_b=5.2/565$	[11]
GCMТ	06 37 11.30	0.20	46.25	–	141.98	–	14.9	0.6	$M_w=5.1/134$ , $MS=5.2$	[12]
JMA	06 37 05.23	–	46.308	1.45	142.203	1.88	14.04	3.85	$M=5.3/40$ , $M_w=5.1/40$	[13]
ISC	06 37 08.58	0.45	46.086	–	142.218	–	14.9	2.66	$m_b=5.2$ , $MS=4.7$	[14]
GFZ	06 37 08.6	–	46.23	–	142.17	–	18	–	$M_w=5.1$	[15]

Примечание. SKHL (YSS) – региональный информационно-обрабатывающий центр «Южно-Сахалинск»; SKHL (ОСО СД) – отдел сводной обработки сейсмологических данных Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН; SKHL (ОПН) – отдел полевых наблюдений Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН; GS RAS – Сейсмологический бюллетень ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск, Россия; EMSC – European-Mediterranean Seismological Centre; NEIC – National Earthquake Information Center; Geological Survey, Denver, USA; GCMТ – Global CMT Project, Lamont Doherty Earth Observatory, Columbia University, Palisades, USA; JMA – Japan Meteorological Agency, Tokyo, Japan; ISC – International Seismological Centre, Thatcham, Berkshire, United Kingdom; GFZ – Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany.

Оперативное определение SKHL (YSS) параметров Крильонского землетрясения 2017 г. было выполнено в Региональном информационно-обрабатывающем центре «Южно-Сахалинск» с использованием ПО DIMAS [16] по данным всех региональных сейсмических станций, глобальной сети IRIS (GSN) и станций Университета Хоккайдо [17], использован принятый к практике обработки региональных землетрясений годограф Джеффриса, адаптированный к сахалинским землетрясениям. Второе решение SKHL (ОСОСД) получено в программном комплексе MGP по совокупности всех имеющихся данных [18]. И еще одно решение (SKHL ОПН) Сахалинского филиала является результатом обработки данных сейсмических станций локальной сети наблюдений за слабой сейсмичностью в южной части о. Сахалин [19].

На рис. 1 приведены варианты положения эпицентра землетрясения 23 апреля 2017 г. на карте Крильонского полуострова с указанием кода сейсмологического агентства. Полученные решения протянулись вдоль восточных склонов Южно-Камышового хребта.

Глубина очага Крильонского землетрясения по имеющимся данным из табл. 1 колеблется в диапазоне значений  $h=4–19$  км, что укладывается в пределы характерных глубин для коры континентального типа [20] этой части острова.

Энергетическая величина землетрясения по данным табл. 1 наилучшим образом характеризуется следующими оценками: магнитудой по группе поверхностных волн  $MS=4.7–4.8$ ,  $MLH=5.0$ , моментной магнитудой  $M_w=5.1$  и локальной магнитудой  $ML=5.0$ , которые для Крильонского землетрясения 2017 г. хорошо согласуются между собой.

По имеющимся инструментальным данным о параметрах землетрясения ( $MS=4.7$ ) из табл. 1 и уравнению макросейсмического поля [21]:

$$I_0 = b \cdot M - s \cdot \lg h + c, \quad (1)$$

где соответствующие значения в формуле (1) для Сахалина  $b=1.60 \pm 0.05$ ;  $s=4.3 \pm 0.6$ ;  $c=3.3 \pm 0.6$  [22], расчетная интенсивность сотрясений в эпицентре могла составлять  $I_0=5$  баллов для максимального значения глубины ( $h=19$  км) и  $I_0 \geq 7$  баллов для глубины ( $h=5$  км) по региональным данным. Достоверность приведенных выше расчетов хорошо согласуется с данными об интенсивности сотрясений при очаге землетрясения на глубине 19 км в ближайшей к эпицентру точке наблюдений – на мысе Крильон ( $I=4$  балла,  $\Delta=28$  км).

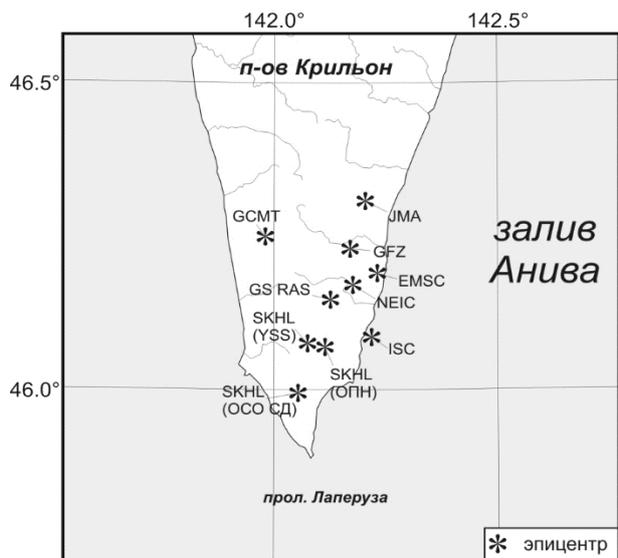


Рис 1. Варианты положения эпицентра землетрясения 23 апреля 2017 г. с  $M_w=5.1$  на карте полуострова КРИЛЬОНСКИЙ по данным из табл. 1

**Механизм очага.** Определение тензора сейсмического момента Крильонского землетрясения 23 апреля 2017 г. производилось методом инверсии волновых форм с помощью ISOLA [23, 24]. В качестве исходных данных использовались записи региональных широкополосных сейсмостанций СФ ФИЦ ЕГС РАН и сети F-net [25]. Полученное решение согласуется с вариантами агентств NIED [25], GCMT [12], GFZ [15], JMA [13] (табл. 2). Тип сейсмодислокации в очаге землетрясения 23 апреля 2017 г. – взбросовый. Нодальные плоскости ориентированы меридионально, одна из них ( $NP1$ ) под углом  $DP=50^\circ$  падает на восток, вторая ( $NP2$ ),  $DP=40^\circ$  – на запад. Подвижка в очаге землетрясения реализовалась в условиях близгоризонтального субширотного сжатия, что хорошо согласуется с выводами работ [26, 27] для юго-западной части о. Сахалин.

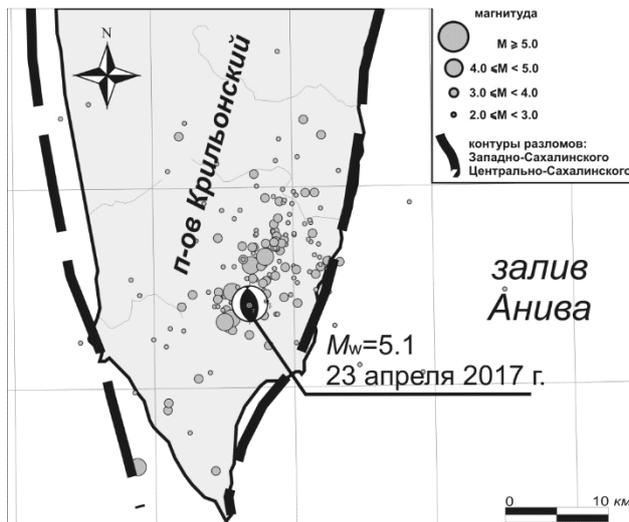
Таблица 2. Параметры механизма очага землетрясения 23 апреля 2017 г. по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН и других источников [20–22]

Агентство	Оси главных напряжений				Нодальные плоскости						Тип сейсмодислокации	Стереодиаграмма механизмов (нижняя полу-сфера)	Источ-ник
	T		P		NP1			NP2					
	PL	Az	PL	Az	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP			
ИМГиГ ВО РАН	81	198	4	82	344	50	79	181	41	103	взброс		
NIED	86	59	4	265	357	41	93	174	49	88	взброс		[25]
GCMT	76	125	11	272	352	34	77	188	57	99	взброс		[12]
GFZ	68	50	18	265	165	64	77	14	29	115	взброс		[15]
JMA	67	124	18	266	335	29	62	187	64	105	взброс		[13]

Примечание: ИМГиГ ДВО РАН – Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук; NIED – National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Ibaraki, Japan.

**Афтершоки.** В эпицентральной зоне Крильонского землетрясения 2017 г. локальной сетью станций полевых наблюдений [19] было зарегистрировано около 150 повторных толчков

с магнитудой  $M \geq 2.0$ . Афтершоки землетрясения 23 апреля 2017 г. отмечены на карте п-ва Крильонский. Пунктирная линия трассирует разломные структуры вдоль полуострова: западное побережье – Западно-Сахалинский разлом, восточное побережье – Центрально-Сахалинский разлом. Эпицентры афтершоков Крильонского землетрясения 2017 г. сгруппировались в север-северо-восточном направлении параллельно простиранию Центрально-Сахалинского разлома, разломной структуре, оконтуривающей п-ов Крильон с востока. С учетом основных характеристик Центрально-Сахалинского разлома – продольно-диагональное простирание с наклоном плоскости сместителя на запад под углами от 20–30 до 60–80° [28] – очаг Крильонского землетрясения 2017 г. и последующие за ним афтершоки попадают на основную плоскость разлома.



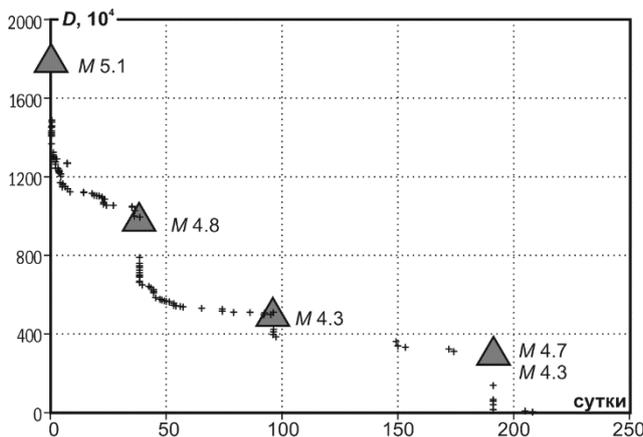
**Рис. 2.** Карта афтершоков Крильонского землетрясения 23 апреля 2017 г. по данным каталога землетрясений локальной сети полевых станций Южного Сахалина. Пунктирная линия трассирует контуры разломных структур вдоль полуострова Крильонский: западное побережье – Западно-Сахалинский разлом, восточное побережье – Центрально-Сахалинский разлом

Для оценки длины характерного размера очаговой зоны были использованы формулы Ю.В. Ризниченко [29], Уэллса и Копперсмита [30] и предложенная с позиции нового подхода к оценке размера очаговой зоны [31]. Наиболее правдоподобные значения, сопоставимые с размером афтершоковой зоны  $L[\text{км}] = 8.4\text{--}9$  км были полу-

чены из эмпирических формул (2) и (3), которые практически совпадают:

$$\text{Lg}L[\text{км}] = 0.43 M - 1.27 \quad [31], \quad (2)$$

$$\text{Lg}L[\text{км}] = 0.44 M - 1.29 \quad [29]. \quad (3)$$



**Рис. 3.** Диаграмма высвобождения условных упругих деформаций  $D$  в зависимости от времени (сутки) по данным каталога локальной сети Южного Сахалина. Треугольниками отмечены афтершоки с магнитудой  $M \geq 4.3$

Сейсмический процесс Крильонского землетрясения 2017 г. можно представить в виде каскада афтершоковых серий (рис. 3), каждая из которых соответствует возникновению очередного землетрясения с магнитудой  $M \geq 4.3$  (31 мая  $M=4.8$ , 28 июля  $M=4.3$  и 31 октября  $M=4.7$ ,  $M=4.3$ ). Первый афтершок произошел спустя 8 суток, второй через 38 дней, третий

и четвертый – на 95 день с разницей 8 минут. Диаграмма на рис. 3 отражает процесс высвобождения условных упругих деформаций  $D$  в зависимости от времени (сутки).

**Макросейсмические проявления.** Сотрясения силой до 4 баллов от землетрясения 23 апреля 2017 г. по шкале MSK–64 были зафиксированы в 14 населенных пунктах южного Сахалина. Данные макросейсмических наблюдений сведены в табл. 3 и дополнены информацией Японского метеорологического агентства об интенсивности сотрясений на о. Хоккайдо в баллах шкалы JMA (табл. 4). Эпицентральные расстояния  $\Delta$  (км) рассчитаны относительно решения, предложенного GS RAS.

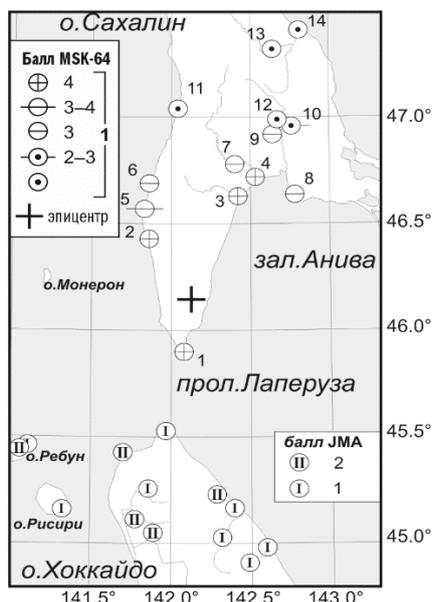
**Таблица 3.** Макросейсмические проявления Крильонского землетрясения 23 апреля 2017 г. с  $M_w=5.1$  на о. Сахалин по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН

№	Пункт	$\Delta$ , км	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E
<b>4 балла</b>				
1	м. Крильон	28	45.90	142.08
2	с. Шебунино	38	46.43	141.86
3	с. Таранай	58	46.63	142.42
4	г. Анива	71	46.72	142.53
<b>3–4 балла</b>				
5	с. Горнозаводск	52	46.57	141.83
<b>3 балла</b>				
6	г. Невельск	64	46.69	141.86
7	с. Огоньки	73	46.78	142.40
8	г. Корсаков	74	46.64	142.78
9	с. Троицкое	95	46.92	142.64
<b>2–3 балла</b>				
10	г. Южно-Сахалинск	103	46.96	142.76
<b>2 балла</b>				
11	г. Холмск	100	47.04	142.04
12	с. Дальнее	103	46.99	142.67
13	г. Углезаводск	135	47.32	142.64
14	с. Стародубское	150	47.41	142.81

**Таблица 4.** Макросейсмические проявления Крильонского землетрясения 23 апреля 2017 г. с  $M_w=5.1$  на о. Хоккайдо по данным ЖМА [13]

№	Пункт	$\Delta$ , км	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E
<b>I=II</b>				
1	Wakkanai City	89	45.41	141.67
2	Sarufutsu Village	107	45.19	142.27
3	Rebun Town	115	45.44	141.04
4	Toyotomi Town	119	45.10	141.78
5	Horonobe Town	127	45.02	141.85
<b>I=I</b>				
6	Hamatombetsu Town	116	45.12	142.36
7	Rishirifuji Town	131	45.19	141.14
8	Nakatombetsu Town	132	44.96	142.24
9	Soya Esashi Town	147	44.83	142.32

Примечание: интенсивность по шкале ЖМА [13]: I=II характеризуется как слабое: ощущается большинством лиц, вызывает слабое дрожание окон и решетчатых выдвижных дверей японского типа; I=I характеризуется как легкое землетрясение: слабо ощущается людьми, находящимися в состоянии покоя или особо чувствительными к землетрясению.



**Рис. 4.** Карта-схема интенсивности сотрясений в населенных пунктах о. Сахалин и о. Хоккайдо Крильонского землетрясения 23 апреля 2017 г. (нумерация соответствует табл. 3, 4)

На рис. 4 приведена карта-схема интенсивности сотрясений землетрясения 23 апреля 2017 г. в населенных пунктах о. Сахалин и о. Хоккайдо в соответствии с данными из табл. 3 и табл. 4.

В ситуации, когда серьезно различаются методики получения данных, не совсем корректно сравнивать макросейсмические данные, полученные по разным макросейсмическим шкалам. Поэтому на рис. 5 представлен график затухания интенсивности сотрясений только по данным макросейсмического обследования на о. Сахалин (табл. 3). При глубине  $h=19$  км гипоцентра Крильонского землетрясения коэффициент затухания  $\nu=4.3$  соответствует принятому для Сахалина значению  $\nu=4.3\pm 0.6$  [22] (рис. 5).

Современная сейсмичность и тектоническая позиция очаговой зоны Крильонского землетрясения 23 апреля 2017 г. После возникновения катастрофического Невельского землетрясения с магнитудой  $M=7.2$  на Северном Сахалине в его эпицентральной зоне были организованы детальные сейсмологические наблюдения сетью короткопериодных сейсмостанций. Дальнейшая установка полевых сейсмических станций локальной сети производилась на юге острова. Эффективное использование полученных данных нашло свое отражение в многочисленных работах, посвященных сильным землетрясениям Южного Сахалина, произошедшим с 2000 г. вдоль основных тектонических структур острова: Западно-Сахалинской и Центрально-Сахалинской разломных зон (Тынь-Поронайской), а также опережающих их участков [32].

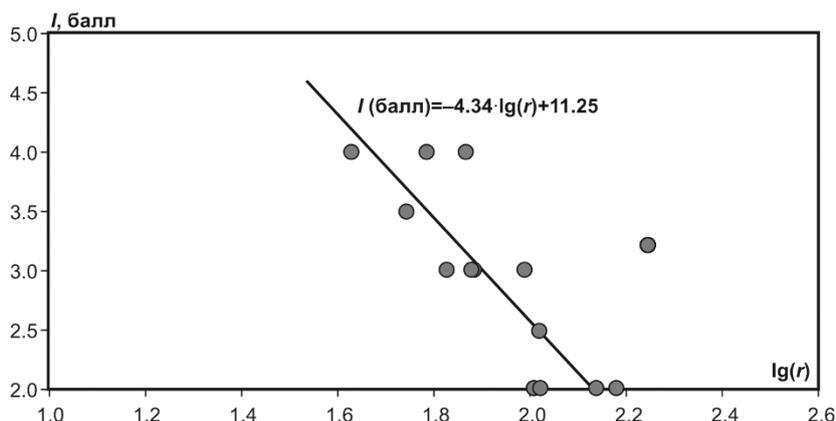


Рис. 5. График затухания интенсивности сотрясений Крильонского землетрясения 23 апреля 2017 г. По горизонтальной оси – гипоцентральному расстоянию  $r$ , по вертикальной – интенсивности сотрясений по данным табл. 3

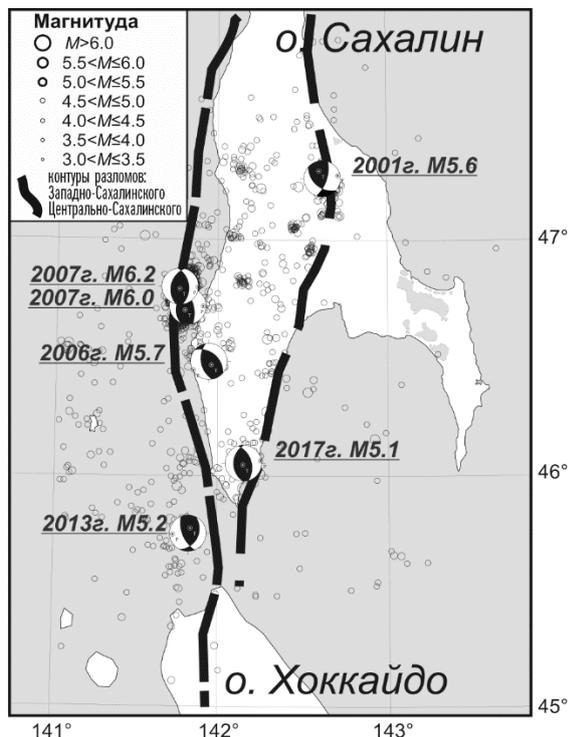


Рис. 6. Эпицентры землетрясений на карте Южного Сахалина с магнитудой  $M \geq 3.0$  по данным каталога землетрясений, зарегистрированных локальной сетью Южного Сахалина [8, 33]. Вдоль основных тектонических структур (Западно-Сахалинская и Центрально-Сахалинская разломные зоны) нанесены стереограммы механизмов очагов землетрясений с  $M \geq 5.1$

На рис. 6 представлена карта с эпицентрами сахалинских землетрясений с  $M \geq 3.0$  по каталогу землетрясений юга Сахалина за период наблюдений с 2001 г. и по настоящее время.

Крильонское землетрясение с магнитудой  $M=5.1$ , произошедшее 25 ноября 2013 г. у юго-западной точки острова, продолжило трассу эпицентров землетрясений, оконтуривающих Западно-Сахалинскую разломную зону: Углегорско-Айнское 2000 г. с  $M=7.1$ , Горнозаводское 2006 г. с  $M=5.7$ , Невельское 2007 г. с  $M=6.2$ .

В север–северо-восточном направлении сейсмичность южной части острова контролирует Центрально-Сахалинская разломная зона, которая протягивается на 600 км от р. Виатку на

севере до п-ва Крильонский на юге. Основная часть разрывов здесь сосредоточена в относительно узкой зоне, совпадающей с восточной границей предгорий между Западно-Сахалинским поднятием и Сусунайской депрессией. В 2001 г. западнее Центрально-Сахалинского разлома в зоне сочленения сегментов активного Апрельского разлома была зарегистрирована серия подземных толчков Такойского роя с магнитудой главного толчка  $M=5.6$  [34].

Эпицентр Крильонского землетрясения 23 апреля 2017 г. вместе с его афтершоками приурочен к южному участку Центрально-Сахалинской разломной зоны. По схеме пространственного распределения сейсмического потенциала Сахалина [35], этот участок ВОЗ имеет прогнозные оценки в интервале магнитуд  $M_{\max}=4.1-6.0$ . По данным Регионального каталога Сахалина [36], Крильонские землетрясения 1911, 1912, 1921 гг. с эпицентрами у восточного побережья п-ва Крильонский имели магнитудные оценки в диапазоне  $M=4.7-5.1$ . А произошедшее в заливе Анива в 1951 г. на глубине 10 км землетрясение имело  $M=5.5$ .

Авторы одной из первых сейсмотектонических схем Сахалина на основании имеющихся данных о геоморфологических особенностях Крильонского полуострова и геофизических данных о повышении мощности третичных осадков в указанном районе отмечали, что сейсмичность в районе п-ва Крильонский связана с развитием двух диагональных депрессий, как бы накатывающихся на его основание [37].

**Обсуждение результатов и заключение.** 23 апреля 2017 г. в 06<sup>h</sup>37<sup>m</sup> UTC в восточных предгорьях полуострова Крильонский произошло землетрясение с магнитудой  $M_w=5.1$ . Глубина очага землетрясения колеблется в интервале значений  $h=4-19$  км, что попадает в диапазон глин коры континентального типа, характерного для острова Сахалин.

Тип сейсмодислокации в очаге землетрясения 23 апреля 2017 г. – взбросовый. Подвижка в очаге реализовалась в условиях близгоризонтального субширотного сжатия, что хорошо согласуется с данными напряженного состояния среды юго-западной части о. Сахалин.

В эпицентральной зоне Крильонского землетрясения 2017 г. локальной сетью станций полевых наблюдений было зарегистрировано около 150 повторных толчков с магнитудой  $M \geq 2.0$ . Положение главного толчка Крильонского землетрясения 2017 г. и его афтершоков соответствует трассе Центрально-Сахалинского разлома, одной из разломных структур, оконтуривающих п-ов Крильон с востока.

С учетом основных характеристик Центрально-Сахалинского разлома – продольно-диагональное простирание с наклоном плоскости сместителя на запад под углами от 20–30° до 60–80° – очаг Крильонского землетрясения 2017 г. и его афтершоки попадают на основную плоскость разлома.

Оценка размера афтершоковой зоны Крильонского землетрясения 2017 г. согласуется с длиной очаговой зоны 8.4–9 км, полученной с использованием известных эмпирических формул.

Сейсмический процесс Крильонского землетрясения 2017 г. можно представить в виде каскада из трех афтершоковых серий, каждая из которых соответствует возникновению сильного афтершока с магнитудой  $M \geq 4.3$ .

Максимальная интенсивность сотрясений в населенных пунктах юго-западного побережья Сахалина составила 4 балла по шкале MSK-64, на острове Хоккайдо – I–II балла по шкале JMA. При глубине  $h=19$  км гипоцентра Крильонского землетрясения коэффициент затухания  $v=4.3$  соответствует принятому для Сахалина значению  $v=4.3 \pm 0.6$ .

Подводя итог проведенным нами исследованиям по изучению Крильонских землетрясениями 2013 и 2017 гг, следует отметить, что землетрясения возникли вдоль двух активных разломных структур – Западно- и Центрально-Сахалинской разломных зон, оконтуривающих Крильонский полуостров. Энергия этих землетрясений укладывается в схему пространственного распределения сейсмического потенциала Сахалина. Механизмы очагов Крильонских землетрясений соответствуют известным характеристикам разломных структур. Подвижки в очаге землетрясений реализовались в условиях близгоризонтального субширотного сжатия, что хорошо согласуется с данными напряженного состояния среды юго-западной части о. Сахалин.

Несомненно, что результаты изучения этих Крильонских землетрясений вносят определенный вклад в дальнейшее изучение закономерностей геодинамического равновесия на Южном Сахалине.

## Л и т е р а т у р а

1. Закупин А.С., Богинская Н.В. Современная сейсмичность в районе Центрально-Сахалинского разлома (юг о. Сахалин): ложная тревога или отодвинутый прогноз? // Геосистемы переходных зон. – 2019. – Т. 3, № 1. – С. 27–34. doi:10.30730/2541-8912.2019.3.1.027-034

2. Семенова Е.П., Сафонов Д.А., Фокина Т.А. Крильонское землетрясение 25 ноября 2013 года с  $M_w=5.2$ ,  $I_0=6-7$  (о. Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 22 (2013 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 466–476.
3. Поплавская Л.Н., Нагорных Т.В., Фокина Т.А., Поплавский А.А., Пермикин Ю.Ю., Стрельцов М.И., Ким Чун Ун, Сафонов Д.А., Мельников О.Я., Рудик М.И., Оскорбин Л.С. Углегорско-Айновское землетрясение 4 августа 2000 года с  $MLH=7.0$ ,  $I_0=8-9$  (Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 265–284.
4. Фокина Т.А., Сафонов Д.А. Горнозаводское землетрясение 17 августа 2006 г. с  $MLH=8.9$ ,  $K_c=12.0$ ,  $I_0=7$  (Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии в 2006 году. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 367–374.
5. Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Фокина Т.А. Невельские землетрясения 2 августа 2007 года с  $MLH=6.3$  и  $MLH=6.0$ ,  $I_0=8$  (о. Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии в 2007 году. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 396–407.
6. Семенова Е.П., Коргун Н.В., Богинская Н.В., Кускова Н.А., Григорьева О.О., Скибина Ю.А., Гарькина Д.А. Оперативный каталог землетрясений Дальневосточного региона. – Фонды СФ ФИЦ ЕГС РАН, 2013.
7. Кругова И.П. (отв. сост.); Сохатюк А.С., Децик И.В., Паршина И.А., Ферчева В.Н. Каталог землетрясений Сахалина за 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
8. Паршина И.А., Ферчева В.Н. Каталог землетрясений юга о. Сахалин в 2017 г. // Землетрясения России в 2017 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – Приложение на CD-ROM.
9. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеismicических станций), 2017. (2022) // ФИЦ ЕГС РАН [Сайт]. – URL: [http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic\\_bulletin/2017/](http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2017/)
10. European Mediterranean Seismological Centre. (2022). [Site]. – URL: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake>
11. National Earthquake Information Center and Data Center for Sismology, Denver. (2022). [Site]. – URL: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/national-earthquake-information-center-neic>
12. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2022). [Site]. – URL: <https://www.glob-alcmt.org>
13. Japan Meteorological Agency. (2022). – URL: <http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
14. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
15. Helmholtz Centre Potsdam. (2022). – URL: <https://geofon.gfz-potsdam.de/>
16. Дроздин Д.В., Дроздина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34.
17. Левин Ю.Н., Михайлов В.И., Семенова Е.П. Современное состояние сейсмологических наблюдений на Сахалине // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 200–204.
18. Богинская Н.В. Обработка сейсмических сигналов в Сахалинском филиале ФИЦ ЕГС РАН // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Одиннадцатой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 58–60.
19. Михайлов В.И. Локальная сеть сейсмических станций Сахалина в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>
20. Оскорбин Л.С., Бобков А.О. Сейсмогенные зоны Сахалина и сопредельных областей // Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона – Южно-Сахалинск: ИМГиГ, 1997. – С. 154–178.
21. Шебалин Н.В. Коэффициенты уравнения макросейсмического поля по регионам // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 30.
22. Оскорбин Л.С. Уравнения сейсмического поля сахалинских землетрясений // Сейсмическое районирование Сахалина. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 34–45.
23. Sokos E., Zahradnik J. Evaluating centroid-moment-tensor uncertainty in the New version of ISOLA Software // Seismological Research Letters. – 2013. – V. 84, N 4. – P. 656–665.
24. Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Коновалов А.В., Степнов А.А. Тензор момента, механизмы очага землетрясений и напряженное состояние территории о. Сахалин // Вулканология и сейсмология. – 2017. – №. 3. – С. 59–70.

25. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention [Electronic resource]. (2022). – URL: <http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php>
26. Коновалов А.В., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А. Современные исследования очагов землетрясений о. Сахалин. – Владивосток: Дальнаука, 2014. – 252 с.
27. Сим Л.А., Каменев П.А., Богомолов Л.М. Новые данные о новейшем напряженном состоянии земной коры острова Сахалин (по структурно-геоморфологическим индикаторам тектонических напряжений) // Геосистемы переходных зон. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 372–383. <https://doi.org/10.30730/grz.2020.4.4.372-383>
28. Мельников О.А. Структура и геодинамика Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. – М.: Наука, 1987. – 95 с.
29. Ризниченко Ю.В. Размеры очага корового землетрясения и сейсмический момент // Исследования по физике землетрясений. – М.: Наука, 1976. – С. 9–27.
30. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bulletin of the seismological Society of America. – 1994. – V. 84, N 4. – P. 974–1002.
31. Завьялов А.Д., Зотов О.Д., Гульельми А.В. Новый подход к определению размера очаговой зоны землетрясений // Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ. – 2021. – С. 190–191.
32. Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. – М.: Научный мир, 2010. – 276 с.
33. Ким Ч.У., Семенова Е.П., Жердева О.А., Сен Рак Се, Михайлов В.И., Левин Ю.Н., Паршина И.С., Урбан Н.А., Касахара М., Ичиянаги М., Такахаша Х. Каталог землетрясений юга Сахалина за период с 2000 по 2010 гг. (по данным автономных цифровых сейсмических станций). – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 357 с.
34. Поплавская Л.Н., Фокина Т.А., Сафонов Д.А. и др. Такойское землетрясение 1 сентября 2001 года с  $M=5.2$ ,  $I_0=7$  (Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 331–344.
35. Рогожин Е.А. Очерки региональной сеймотектоники. – М.: ИФЗ РАН, 2012. – 340 с.
36. Поплавская Л.Н., Иващенко А.И., Оскорбин Л.С. и др. Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005. – Южно-Сахалинск: ИМГИГ ДВО РАН. – 2006. – 103 с.
37. Соловьев С.Л., Оскорбин Л.С., Ферчев М.Д. Землетрясения на Сахалине. – М.: Наука, 1967. – 180 с.

### ***KRILLON EARTHQUAKE on April 23, 2017 with $M_w=5.1$ , $I_0=5$ (Sakhalin Island)***

***E.P. Semenova<sup>1</sup>, D.A. Safonov<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Sakhalin branch of FRC UGS RAS, 2A Tihookeanskaya Street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693010;  
e-mail: semenova@seismo.sakhalin.ru*

<sup>2</sup>*Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, 1B Nauki str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022;  
e-mail: d.safonov@imgg.ru*

**Abstract.** On April 23, 2017 at 06<sup>h</sup> 37<sup>m</sup> UTC, an earthquake with a magnitude of  $M_w=5.1$  was registered in the foothills of the Yuzhno-Kamyshovy Ridge of the Krillon Peninsula. This earthquake was the strongest on Sakhalin Island in 2017. The earthquake parameters were determined according to the data of the Sakhalin branch of the Geophysical Survey RAS regional network with the use of data from the global IRIS Network (GSN) and stations of Hokkaido University. The obtained earthquake parameters according to the regional network are consistent with the data of international seismological centers. The maximum intensity of shaking from the earthquake on April 23, 2017 in the settlements of Southern Sakhalin was  $I=4$  on the MSK-64 scale, on the Hokkaido Island –  $I=II$  on the JMA scale. The displacement in the earthquake foci was realized under conditions of near-horizontal sublatitudinal compression. The type of seismic dislocation is a reverse fault. The use of data from the seismic stations of the local network of Southern Sakhalin allowed analyzing the seismic regime in the epicentral zone of the Krillon earthquake.

**Keywords:** earthquake, Sakhalin region, hypocenter parameters, focal mechanism, macroseismic.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2022.25.30 **EDN:** KWLVT

**For citation:** Semenova, E.P., & Safonov, D.A. (2022). [Krillon earthquake on April 23, 2017 with  $M_w=5.1$ ,  $I_0=5$  (Sakhalin Island)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 327–337. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.30. EDN: KWLVT

## References

1. Zakupin, A.S., & Boginskaya, N.V. (2019). Modern seismicity in the area of the Central Sakhalin fault (south of Sakhalin Island): false alarm or postponed prediction? *Geosystems of Transition Zones*, 3(1), 27–34. (In Russ.). doi: 10.30730/2541-8912.2019.3.1.027-034
2. Semenova, E.P., Safonov, D.A., & Fokina, T.A. (2019). [Krillion earthquake on November 25, 2013 with  $M_w=5.2$ ,  $I_0=6-7$  (Sakhalin Island)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 22(2013), 466–476. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.41
3. Poplavskaya, L.N., Nagornyh, T.V., Fokina, T.A., Poplavskij, A.A., Permikin, Yu.Yu., Strel'cov, M.I., Kim Chun Un, Safonov, D.A., Mel'nikov, O.Ya., Rudik, M.I., & Oskorbin, L.S. (2006). [Ulegorsk-Ainsk earthquake on August 4, 2000 with  $MLH=7.0$ ,  $I_0=8-9$  (Sakhalin)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2000 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2000] (pp. 265–284). Obninsk, Russia: GS RAN Publ. (In Russ.).
4. Fokina, T.A., & Safonov, D.A. (2012). [The earthquake on August 17, 2006 with  $MLH=8.9$ ,  $K_S=12.0$ ,  $I_0=7$  (Sakhalin)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2006 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2006] (pp. 367–374). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
5. Safonov, D.A., Nagornyh, T.V., & Fokina, T.A. (2013). [Nevelsk earthquakes on August 2, 2007 with  $MLH=6.3$  and  $MLH=6.0$ ,  $I_0=8$  (Sakhalin Island)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2007 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2007] (pp. 396–407). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
6. Semenova, E.P., Korgun, N.V., Boginskaya, N.V., Kuskova, N.A., Grigor'eva, O.O., Skibina, Yu.A., & Gar'kina, D.A. (2013). [Operational catalog of earthquakes of the Far East region]. In *Fondy SF GS RAN* [Fund of SF GS RAS]. Yuzhno-Sakhalinsk, Russia. (In Russ.).
7. Krugova, I.P., Sohatyuk, A.S., Decik, I.V., Parshina, I.A., & Fercheva, V.N. (2022). [Catalog of earthquakes of Sakhalin 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.).
8. Parshina, I.A., & Fercheva, V.N. (2019). [Catalog of earthquakes of South Sakhalin]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2017 godu* [Earthquakes in Russia in 2017]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ. Appendix on CD-ROM. (In Russ.).
9. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2017. (2022). Retrieved from [http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic\\_bulletin/2017/](http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2017/)
10. European-Mediterranean Seismological Centre. (2022). Retrieved from <https://www.emsc-csem.org/Earthquake>
11. National Earthquake Information Center and Data Center for Seismology, Denver. (2022). Retrieved from <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/national-earthquake-information-center-neic>
12. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2022). Retrieved from <https://www.globalcmt.org/>
13. Japan Meteorological Agency. (2022). Retrieved from <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
14. International Seismological Centre. (2022). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
15. Helmholtz Centre Potsdam. (2022). Retrieved from <https://geofon.gfz-potsdam.de/>
16. Droznin, D.V., & Droznina, S.Y. (2011). Interactive DIMAS program for processing seismic signals. *Seismic Instruments*, 47(3), 215–224. doi: <https://doi.org/10.3103/S0747923911030054>
17. Levin, Yu.N., Mihajlov, V.I., & Semenova, E.P. (2014). *Sovremennoe sostoyanie seismologicheskikh nablyudenij na Sahaline* [Modern state of seismological observations on Sakhalin]. In *Sovremennye metody obrabotki i interpretacii seismologicheskikh dannyh. Materialy Devyatoj Mezhdunarodnoj seismologicheskoi shkoly* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials of the 9th International Seismological School] (pp. 200–204). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
18. Boginskaya, N.V. (2016). *Obrabotka seismicheskikh signalov v Sahalinskom filiale FIC EGS RAN* [Processing of seismic signals in the Sakhalin branch of GS RAS]. In *Sovremennye metody obrabotki i interpretacii seismologicheskikh dannyh. Materialy Odinnadcatoj Mezhdunarodnoj seismologicheskoi shkoly* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials of the 11th International Seismological School] (pp. 58–60). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
19. Mikhaylov, V.I. (2022). [Seismic stations of local network of Sakhalin 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.).

20. Oskorbin, L.S., & Bobkov, A.O. (1997). *Sejsmogennyye zony Sahalina i sopredel'nykh oblastej*. [Seismogenic zones of Sakhalin and adjacent regions]. *Geodinamika tektonosfery zony sochleneniya Tihogo okeana s Evraziej. T. VI. (Problemy sejsmicheskoy opasnosti Dal'nevostochnogo regiona)* [Geodynamics of Tectonosphere in the Pacific-Eurasia Junction Zone. V. VI. (Problems of seismic hazard of Far East region)] (pp. 154–178). Yuzhno-Sahalinsk, Russia: IMGIG Publ. (In Russ.).
21. Shebalin, N.V. (1977). *Koeffitsienty uravneniya makrosejsmicheskogo polya po regionam* [Coefficients of macroseismic field equation by regions]. In *Novyyi katalog sil'nykh zemletryaseni na territorii USSR s drevneishykh vremen do 1975 goda* [A new catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975]. Moscow, Russia: Nauka Publ, 30 p. (In Russ.).
22. Oskorbin, L.S. (1977). *Uravneniya sejsmicheskogo polya sahalinskih zemletryaseni* [Seismic field equations of Sakhalin earthquakes]. In *Sejsmicheskoe rajonirovanie Sahalina* [Seismic zoning of Sakhalin] (pp. 34–45). Vladivostok, Russia.
23. Sokos, E., & Zahradnik, J. (2013). Evaluating Centroid Moment-Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software. *Seismological Research Letters*, 84, 656–665.
24. Safonov, D.A., Nagornykh, T.V., Konovalov, A.V., & Stepnov, A.A. (2017). The moment tensors, focal mechanisms, and stresses on Sakhalin Island. *Journal of Volcanology and Seismology*, 11, 225–234. <https://doi.org/10.1134/S0742046317030058>
25. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. (2022). Retrieved from <http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php>
26. Konovalov, A.V., Nagornykh, T.V., & Safonov, D.A. (2014). *Sovremennyye issledovaniya ochagov zemletryaseni o. Sahalin* [Modern studies of Sakhalin Island earthquake sources]. Vladivostok, Russia: Dal'nauka Publ., 252 p. (In Russ.).
27. Sim, L.A., Kamenev, P.A., & Bogomolov, L.M. (2020). New data on the latest stress state of the Sakhalin Island crust (by structural-geomorphological indicators of tectonic stresses). *Geosystems of Transition Zones*, 4(4), 372–383. <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.4.372-383>
28. Mel'nikov, O.A. (1987). *Struktura i geodinamika Hokkajdo-Sahalinskoj skladchatoj oblasti* [Structure and geodynamics of the Hokkaido-Sakhalin folded region]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 95 p. (In Russ.).
29. Riznichenko, Yu.V. (1976). *Razmery ochaga korovogo zemletryaseniya i sejsmicheskij moment* [Focal Sizes of Crustal Earthquake and Its Seismic Moment]. In *Issledovaniya po fizike zemletryaseni* [Studies on Earthquake Physics] (pp. 9–27). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
30. Wells, D.L., & Coppersmith, K.J. (1994). New empirical relationships among magnitude, reapture length, reapture width, reapture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4), 974–1002.
31. Zav'yalov, A.D., Zotov, O.D., & Gul'el'mi, A.V. (2021). *Novyj podhod k opredeleniyu razmera ochagovoj zony zemletryaseni* [New approach to determination of focal zone size of earthquakes]. In *Sovremennyye metody obrabotki i interpretacii sejsmologicheskikh dannyh. Materialy Devyatoj Mezhdunarodnoj sejsmologicheskoy shkoly* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials of the 9th International Seismological School] (pp. 190–191). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
32. Harahinov, V.V. (2010). *Neftgazovaya geologiya Sahalinskogo regiona* [Oil and gas geology of the Sakhalin region]. Moscow, Russia: Nauchnyj mir Publ., 276 p. (In Russ.).
33. Kim, Ch.U., Semenova, E.P., Zherdeva, O.A., Sen Rak Se, Mihajlov, V.I., Levin, Yu.N., Parshina, I.S., Urban, H.A., Kasahara, M., Ichiyanagi, M., & Takahashi, X. (2011). *Katalog zemletryaseni yuga Sahalina za period s 2000 po 2010 g. (po dannym avtonomnykh cifrovyyh sejsmicheskikh stancij)* [Catalog of earthquakes in Southern Sakhalin from 2000 to 2010 (from the data of autonomous digital seismic stations)]. Vladivostok, Russia: Dal'nauka Publ., 357 p. (In Russ.).
34. Poplaskaya, L.N., Fokina, T.A., Safonov, D.A. et al. (2007). [The earthquake on September 1, 2001 with  $M=5.2$ ,  $I_0=7$  (Sakhalin)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2001 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2001] (pp. 331–344). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
35. Rogozhin, E.A (2012). *Ocherki regional'noj sejsmotektoniki* [Essays on regional seismotectonics]. Moscow, Russia: IFZ RAN Publ., 340 p. (In Russ.).
36. Poplavskaya, L.N., Ivashchenko, A.I., Oskorbin, L.S. et al. (2006). *Regional'nyj katalog zemletryaseni ostrova Sahalin, 1905–2005* [Regional Catalogue of Sakhalin Island earthquakes, 1905–2005]. Yuzhno-Sahalinsk, Russia: IMGIG DVO RAN Publ., 103 p. (In Russ.).
37. Solov'ev, S.L., Oskorbin, L.S., & Ferchev, M.D. (1967). *Zemletriaseniia na Sahaline* [Earthquakes of Sakhalin]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 180 p. (In Russ.).