

УДК 550.348.098.64 (571.65)

**ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 13 ФЕВРАЛЯ 2020 г., $M_w=6.9$
(ПРОЛИВ ФРИЗА, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)**

Д.А. Сафонов¹, Е.П. Семенова²

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, d.safonov@imgg.ru

²Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, semenova@seismo.sakhalin.ru

Аннотация. В статье рассматривается землетрясение 13 февраля 2020 г. магнитудой $M_w=6.9$, произошедшее в прол. Фриза между о-вами Итуруп и Уруп Курильской островной гряды. Очаг землетрясения расположен в нижней части двойной сейсмофокальной зоны на промежуточных глубинах. Землетрясение реализовалось в условиях девиаторного растяжения, направлением оси примерно совпадающего с направлением погружения тектонической плиты. Метод азимутального годографа позволил установить, что имел место однонаправленный разрыв северо-восточного простирания, совпадающий с простиранием субвертикальной плоскости механизма очага. Максимальный макросейсмический эффект землетрясения в населенных пунктах Курильских о-вов достигал 5–6 баллов шкалы MSK-64. В юго-западном направлении от эпицентра макросейсмический эффект регистрировался на значительно больших эпицентральных расстояниях, чем в других направлениях. На территории Японии максимальная интенсивность сотрясений достигала 4 баллов шкалы JMA, что примерно соответствует 6–7 баллам по шкале MSK-64.

Ключевые слова: землетрясение, Курило-Охотский регион, параметры гипоцентра, механизм очага, макросейсмические проявления.

Для цитирования: Сафонов Д.А., Семёнова Е.П. Землетрясение 13 февраля 2020 г., $M_w=6.9$ (пролив Фриза, Курильские острова) // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 277–288. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.25> EDN: RUJINT

Введение. 13 февраля 2020 г. в 10^h33^m UTC в районе Южных Курильских островов зарегистрировано землетрясение магнитудой $M_w=6.9–7.0$ с эпицентром в прол. Фриза между островами Итуруп и Уруп островной гряды. Глубина очага события по данным Сахалинского филиала Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы РАН (далее – СФ ФИЦ ЕГС РАН) составила 142 ± 8 км, что попадает в диапазон промежуточных глубин землетрясений (70–300 км). Сейсмичность Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны на промежуточных глубинах обычно существенно ниже, чем в зоне контакта тектонических плит (10–70 км), где происходит большинство субдукционных землетрясений. Происходящие здесь события не вызывают цунами, а потому привлекают меньшее внимание исследователей. Между тем, изучение промежуточных глубин показывает, что сейсмогенерирующая область в верхней части субдуцирующей плиты (слэба) имеет сложную структуру, разделяется на два сейсмогенерирующих слоя, находящихся в разных условиях тектонических напряжений и разделенных асейсмической прослойкой [1, 2, 3]. Причина такого разделения остается дискуссионной [3, 4, 5]. Изучение этих событий и условий их возникновения позволяет лучше понять процесс субдукции и объяснить метаморфозы, которые протекают в тектонической плите, погружающейся в мантию.

Ранее [6] автор уже уделял внимание землетрясению 13 февраля 2020 г. при исследовании напряженного состояния зоны субдукции на промежуточных глубинах в районе Южных Курил, преимущественно до этого события, и получили? аномальную картину напряженного состояния двойной сейсмофокальной зоны в районе очага этого землетрясения. Интересной задачей является исследовать этот район после землетрясения 13 февраля 2020 года. Первые результаты такого исследования на основе каталогов землетрясений 2020–2023 гг. изложены в данной статье.

Событие 13 февраля является третьим по силе землетрясением на промежуточных глубинах в районе Южных Курил за последние полвека. Оно вызвало колебания интенсивностью до 6–7 баллов шкалы MSK-64, довольно интересным образом распределенные в пространстве. Эффект неожиданно далеких ощутимых колебаний от землетрясений с очагами в мантии проявляется довольно часто. Наиболее известный случай – в результате Охотоморского землетрясения 2013 г. [7]. Накопление подобных данных и их детальное изучение является важной и интересной научной задачей.

Инструментальные данные. Варианты положения эпицентра землетрясения 13 февраля 2020 г. в 10^h33^m UTC по данным основных региональных и мировых агентств (табл. 1) в основном группируются у северо-восточной оконечности о. Итуруп Курильской гряды в юго-западной части прол. Фриза (рис. 1). Южнее основной группы вариантов находится эпицентр Японского метеорологического агентства JMA [8], вероятно, из-за слабого азимутального охвата очаговой области японской сейсмологической сетью, ближайшие станции регистрации которой расположены на о. Хоккайдо. Эпицентр СФ ФИЦ ЕГС РАН (SAGSR на рис. 1 и в табл. 1) [Прил. KL2], принятый за основу в данной статье, расположен ближе к центру группы вариантов. Глубина землетрясения по данным каталогов агентств находится в диапазоне $h=140.5\text{--}155\text{ км}$. Такой разброс вариантов ее оценки с учетом редкой сейсмологической сети региона и размеров очага подобных землетрясений ($\sim 30\text{ км}$) можно считать небольшим.

Данные о времени регистрации глубинных и отраженных фаз на сейсмических станциях региональной сети от землетрясения 13 февраля 2020 г. позволяют получить следующие оценки глубины очага (в скобках фаза волны и количество определений): $h(sP)=151.8\pm 10.7\text{ км}$ (2), $h(pP)=159.5\pm 5.5\text{ км}$ (5), $h(sS)=154.0\pm 8.0\text{ км}$ (2), $h(ScS)=159.7\pm 14.4\text{ км}$ (19). Эти значения несколько отличаются от вариантов глубины гипоцентра по данным международных сейсмологических центров из табл. 1 в большую сторону, однако не противоречат сделанным далее выводам.

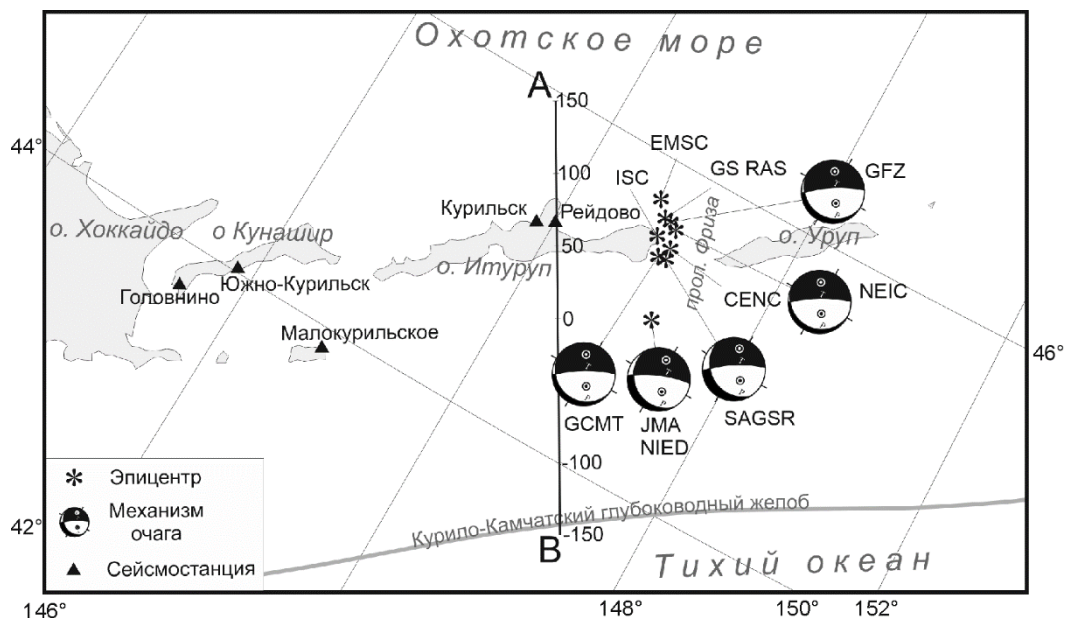


Рис. 1. Карта вариантов положения эпицентра землетрясения 13 февраля 2020 г. в 10^h33^m UTC и его механизма очага согласно данным из различных источников (табл. 1, 2)

Магнитуда события по данным SAGSR, в зависимости от используемой шкалы, колеблется от $MLH=6.5$, что является заниженным значением ввиду неприспособленности шкалы MLH к землетрясениям промежуточной глубины, до завышенного значения $MSHA=8.0$. Скалярный сейсмический момент (табл. 2) землетрясения оценивается в диапазоне $2.7\text{--}3.6\cdot 10^{19}\text{ Н}\cdot\text{м}$, что соответствует моментной магнитуде $M_w=6.9\text{--}7.0$.

Таблица 1. Параметры землетрясения 13 февраля 2020 г. в 10^h33^m UTC по данным регионального сейсмологического центра и международных агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			Магнитуда (число станций)	Источник
		φ° , N	λ° , E	h , км		
SAGSR	10 33 44.3	45.43	149.01	142	$MLH=6.5(6)$, $MPV=7.9(10)$, $K_c=15.6$, $MPVA=7.1(12)$, $MSH=7.9(9)$, $MSHA=8.0(4)$ $M_w(\text{per})=6.9$	[Прил. KL2]
CENC	10 33 42.4	45.5	149.0	150	$mb=6.5$, $mB=7.2$	[9]
NEIC	10 33 44.53	45.616	148.959	143	$mww=7.0$	[10]
EMSC	10 33 44.5	45.740	148.710	150	$M_w=6.9$	[11]

Агентство	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			Магнитуда (число станций)	Источник
		φ° , N	λ° , E	h , км		
GS RAS	10 33 43.1	45.65	148.83	145	$MPSP=6.9(73)$, $MS=6.4(28)$	[12]
ISC	10 33 44.93	45.529	148.841	150.1	$mb=6.7(706)$	[13]
GFZ	10 33 45.05	45.645	148.887	146.7	$mb=6.8(267)$, $mB=7.3(266)$, $M_w=6.9$	[14]
GCMT	10 33 49.8	45.42	148.94	150.9	$M_w=7.0$	[15]
JMA	10 33 45.11	45.056	149.162	155	$M_f=7.2(17)$	[8]

Примечание. SAGSR Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН; CENC – China earthquake network center; NEIC – National Earthquake Information Center; Geological Survey, Denver, USA; EMSC – European-Mediterranean Seismological Centre; GS RAS – Сейсмологический бюллетень ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск, Россия; ISC – International Seismological Centre, United Kingdom; GFZ – German Research Centre for Geosciences, Germany; GCMT – Global CMT Project, USA; JMA – Japan Meteorological Agency.

В обработке цифровых записей землетрясения 13 февраля 2020 г. были использованы данные сейсмических станций региональных сетей Магаданского, Камчатского, Сахалинского филиалов ФИЦ ЕГС РАН на расстояниях до 24° .

Отличительной особенностью цифровых записей этого землетрясения на всех сейсмических станциях является наличие четко выраженной фазы волны ScS и отсутствие группы волн PcP . На представленном на рис. 2 фрагменте записи землетрясения 13 февраля 2020 г. на сейсмических станциях «Билибино» (BILL) ($\Delta=24.4^\circ$), «Крутоберегово» (KBG) ($\Delta=13.8^\circ$) и «Петропавловск» (PET) ($\Delta=9.8^\circ$) выделены вступления группы основных P - и S -волн, группы отраженных волн ScS , PcS и ScP . Присутствие на записях волновых форм ScS является одной из наиболее характерных особенностей глубокофокусных землетрясений, в данном случае это свойство сохранилось и для сильных землетрясений с очагами на промежуточной глубине [16]. Для исследования границы внешнего ядра и мантии является весьма интересным появление группы отраженных волн PcS и ScP , которые были зарегистрированы континентальными станциями региональной сети на эпицентральных расстояниях от $\Delta \approx 10^\circ$ и более.

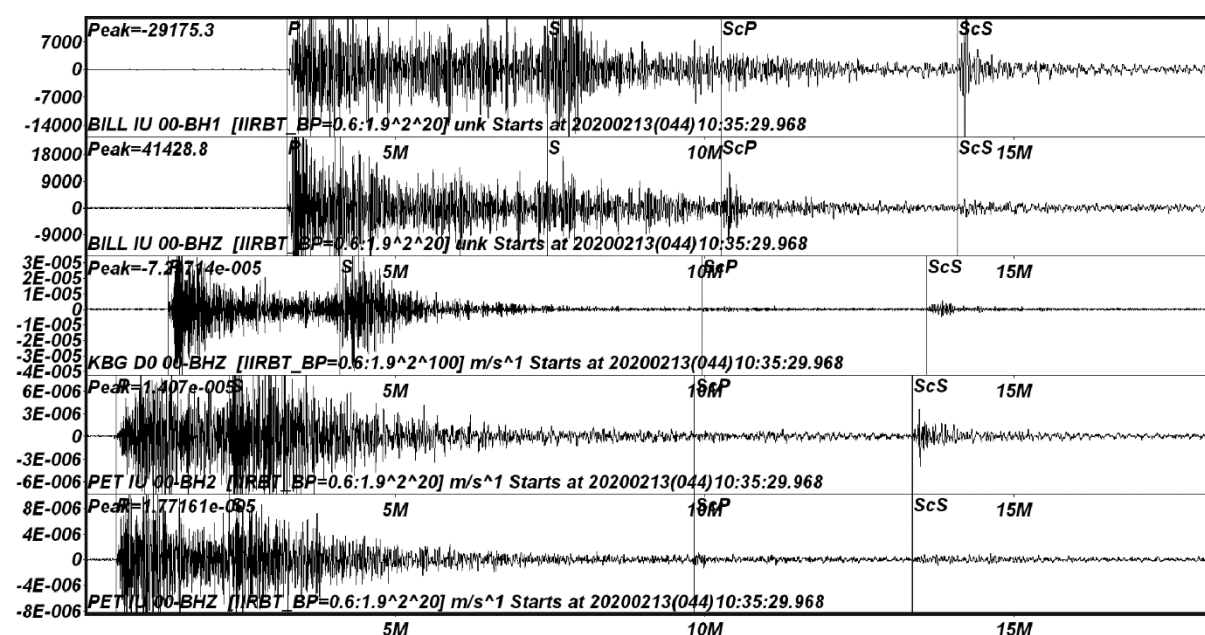


Рис. 2. Фрагмент записи землетрясения 13 февраля 2020 г. на сейсмических станциях BILL ($\Delta=24.4^\circ$), KBG ($\Delta=13.8^\circ$), PET ($\Delta=9.8^\circ$)

Выделены вступления групп основных P - и S -волн, а также групп отраженных волн ScP , ScS , характерных для глубокофокусных землетрясений.

Механизм очага. Варианты решений механизма очага землетрясения 13 февраля 2020 г. в 10^h33^m UTC по данным различных агентств (табл. 2, рис. 1) достаточно близки. В очаге землетрясения реализовалась сейсмодислокация взрезового типа с субвертикальной плоскостью $NP2$ юго-западного простирания вдоль островной дуги ($STK=237-247^\circ$) (рис. 1), круто ($DP=77-79^\circ$)

падающей на северо-запад. Вдоль этой плоскости выделяется небольшая компонента правостороннего сдвига, величина которой варьирует от совсем незначительной в решении USGS до существенной в решении SAGSR. Соответственно немного изменяется угол пологого падения другой нодальной плоскости $NP1$ $DP=13-25^\circ$ на восток–юго-восток с небольшой левосдвиговой компонентой вдоль нее.

Таблица 2. Параметры механизма очага землетрясения 13 февраля 2020 г. 10^h33^m UTC по данным различных агентств

№	$M_0, H \cdot m$	M_w	T		P		$NP1$			$NP2$			Источник
			PL	AZ	PL	AZ	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
1	2.68e+19	6.9	29	345	52	121	119	25	-31	237	77	-112	SAGSR [Прил. KL4]
2	3.59e+19	7.0	33	337	55	137	100	15	-50	239	79	-99	GCMT [15]
3	2.8e+19	6.9	33	335	56	135	97	15	-50	237	78	-99	GFZ [14]
4	2.92e+19	6.9	31	351	54	136	121	21	-37	247	78	-107	NIED [17]
5	3.62e+19	7.0	33	334	56	142	86	13	-64	239	79	-96	NEIC [10]

Примечание. NIED – National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Япония. Остальные сокращения – в Примечании к табл. 1.

Для выбора рабочей плоскости механизма очага был построен азимутальный годограф по методике Горбуновой И.В. [18] (рис. 3). Азимутальный годограф, подготовленный по данным сейсмических станций региональной сети СФ ФИЦ ЕГС РАН, расположенных в азимутальном створе $\Delta \approx 2-311^\circ$, имеет один максимум, что характерно для однонаправленного разрыва. Наибольшее время запаздывания τ отмечается в азимуте $Az \approx 232^\circ$, наименьшее, которое соответствует направлению вспарывания разрыва, – $Az \approx 60^\circ$. Такая ориентация разрыва совпадает с простиранием субвертикальной нодальной плоскости $NP2=237^\circ$ (азимут, обратный $NP2$: $237-180=57$), таким образом, можно предположить, что она является рабочей плоскостью механизма очага.

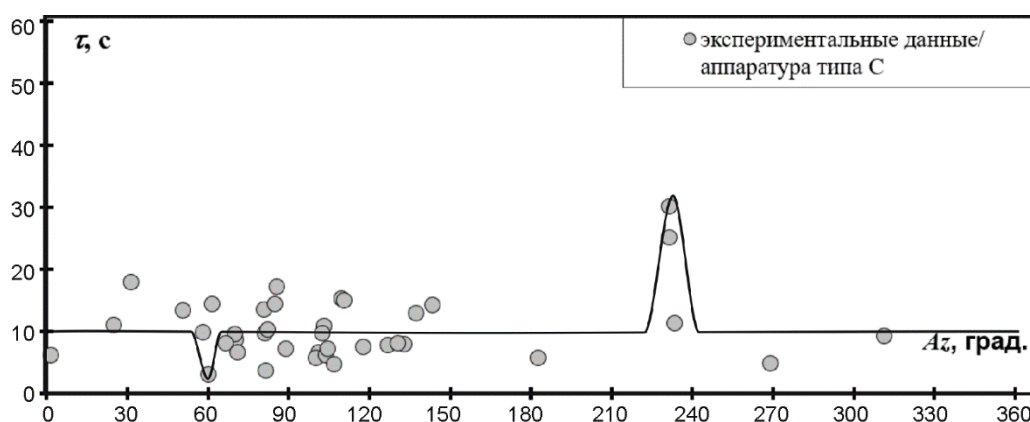


Рис. 3. Годограф (азимутальный) фиктивной волны $\tau = (P_{\max} - P)$ землетрясения 13 февраля 2020 г.

В работе [6] механизм очага землетрясения 13 февраля рассмотрен в системе отсчета, связанной с ориентацией слэба, который погружается в мантию примерно под углом в 37° к горизонту и 330° к направлению на север. В этой системе отсчета механизм очага землетрясения можно классифицировать как сброс с небольшой сдвиговой компонентой.

Макросейсмические проявления. Согласно полученной СФ ФИЦ ЕГС РАН информации об ощутимости землетрясения 13 февраля 2020 г. в населенных пунктах Южных Курильских островов [Прил. KL6], на о. Итуруп и Шикотан сила сотрясений достигала 5–6 баллов по шкале MSK-64, на о. Кунашир – 5 баллов (рис. 4). Табл. 1 содержит сведения о макросейсмических проявлениях землетрясения 13 февраля на территории Сахалинской области. Данных об эффекте этого землетрясения на о-ве Парамушир северной части Курильской островной гряды, в других районах Сахалинской области и п-ве Камчатка и других не поступало.

Данные макросейсмического обследования сопоставлены с инструментальными значениями интенсивности сотрясений, полученными по формулам Аптикаева Ф.Ф. [19, 20]. Для расчета

инструментального балла сотрясаемости использовались записи акселерометров и/или велосиметров (третий и четвертый столбцы табл. 4), расположенных в г. Курильске, поселках Южно-Курильске, Малокурильское и Рейдово (табл. 3, 4), а также в г. Северо-Курильске и г. Петропавловске-Камчатском. Результаты наблюдаемых оценок (пятый столбец табл. 4) и инструментальных значений силы сотрясений показывают хорошую сходимость. Так, согласно расчетам, в г. Северо-Курильске мог наблюдаться макросейсмический эффект интенсивностью в 2 балла, фактически не отмеченный, в г. Петропавловске-Камчатском инструментальный макросейсмический эффект оказался ниже порога ощутимости. Наибольшее отличие наблюдаемого и инструментального эффекта в пос. Малокурильское, где инструментальный балл по записи широкополосного велосиметра оказался несколько занижен, хотя показания акселерометра хорошо отвечают наблюдениям.

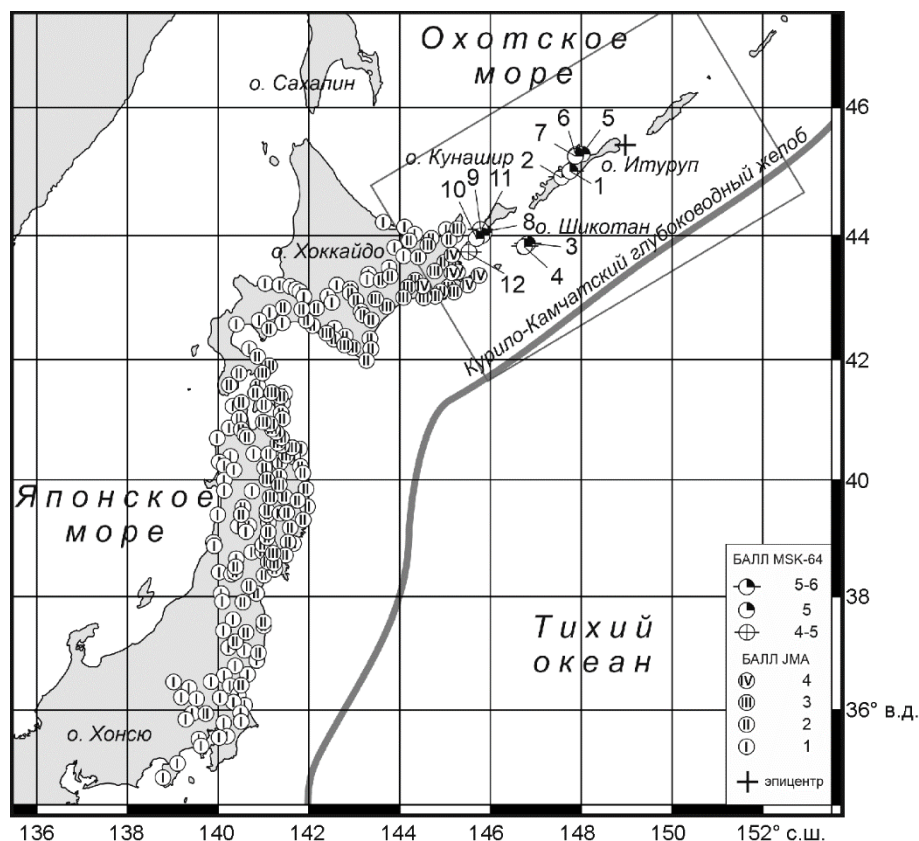


Рис. 4. Карта-схема макросейсмических проявлений землетрясения 13 февраля 2020 г. по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН (табл. 3) и Японского метеорологического агентства¹

Рамкой обведена область, показанная на рис. 1.

Таблица 3. Макросейсмические проявления землетрясения 13 февраля 2020 г. на территории Сахалинской области по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН, шкала MSK-64

№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E
5–6 баллов					7	Курильск	91	45.230	147.880
1	Горячие Ключи	107	45.033	147.761	8	Южно-Курильск	294	44.037	145.853
2	Горный	126	44.930	147.570	9	Горячий пляж	300	43.999	145.795
3	Малокурильское	244	43.870	146.834	10	Менделеево	310	43.954	145.681
4	Крабозаводское	252	43.830	146.751	4–5 баллов				
5 баллов					11	Лагунное	297	44.056	145.781
5	Рейдово	79	45.274	148.022	12	Головинно	334	43.737	145.520
6	Китовый	90	45.256	147.887					

¹ <https://earthquake.tenki.jp/bousai/earthquake/detail/2020/02/13/2020-02-13-19-34-32.html>

Таблица 4. Инструментальные данные о макросейсмических проявлениях землетрясения 13 февраля 2020 г. в пунктах наблюдений региональной сейсмологической сети

Станция регистрации	Δ , км	I_{PGA} (балл)	I_{PGV} (балл)	$I_{набл.}$ (балл)
Рейдово (REID)	73	5.2	–	5
Курильск (KUR)	91	5.0	5.7	5
Малокурильское (SHO)	244	5.7	4.3	5–6
Южно-Курильск (YUK)	294	5.6	–	5
Северо-Курильск (SKR)	786	2.2	1.7	данных не поступало
Петропавловск-Камчатский (PET)	1095	–	0.6	данных не поступало

Помимо населенных пунктов Сахалинской области землетрясение 13 февраля 2020 г. ощущалось на территории Японии (рис. 4). При этом макросейсмический эффект на юго-западном направлении от эпицентра зарегистрирован на значительно больших эпицентральных расстояниях, чем в других направлениях. Так, сотрясения интенсивностью в 1 балл шкалы JMA (2 балла MSK-64) ощущалось в г. Токио ($\Delta=1332$ км) и его окрестностях. Максимальный макросейсмический эффект до 4 баллов JMA (примерно соответствует 6–7 баллам MSK-64) отмечен на северо-востоке о. Хоккайдо. Помимо этого, отмечается зависимость интенсивности сотрясений не столько от удаленности от эпицентра, сколько от расстояния до сейсмофокальной зоны. Это проявляется в плейстосейстовой области, где событие сильнее проявилось на о. Шикотан (населенные пункты Малокурильское и Крабозаводское – 3, 4 на рис. 4) и п-ве Немуро (северо-восток Хоккайдо), чем в расположенных в несколько раз ближе к эпицентру г. Курильске и пос. Рейдово на северо-западном побережье о. Кунашир (5 и 6 на рис. 4). Более наглядно это продемонстрировано на рис. 4 положением населенных пунктов Японии, ощутивших это землетрясение: большинство из них расположено вдоль юго-восточного побережья о. Хоккайдо и восточного побережья о. Хонсю, причем вглубь территории островов интенсивность сотрясений быстро падает. Объяснить этот феномен можно тем, что погруженная в мантию Тихоокеанская тектоническая плита в пределах зоны субдукции выполняет функцию волновода. Сейсмическая энергия вдоль нее распространяется на большие расстояния с меньшим затуханием, чем в объеме мантии. При этом большее воздействие испытывают населенные пункты Японии, т.к. угол погружения плиты под о. Хоккайдо и о. Хонсю меньше, чем под Курильские острова, а потому населенные пункты ближе к волноводу. Однако, при этом остается непонятным, почему аналогичный эффект не наблюдается в северо-восточном направлении вдоль Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны.

Тектоническая позиция очага. Сейсмичность Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны в диапазоне промежуточных глубин землетрясений обычно существенно ниже, чем в зоне контакта тектонических плит (10–70 км), где происходит большинство субдукционных землетрясений. Распределение гипоцентров землетрясений на промежуточных глубинах показывает, что сейсмогенерирующая область в верхней части субдуцирующей плиты (слэба) разделяется на два относительно тонких субпараллельных слоя толщиной 20–30 км каждый, разделенных небольшим асейсмичным промежутком. Двойная сейсмофокальная зона характерна для старых и быстро погружающихся участков плит, таких, как в Японской и Курило-Камчатской субдукционных системах [1, 2]. Изучение механизмов очагов происходящих здесь землетрясений позволило сделать вывод о том, что «верхний» слой находится преимущественно в условиях девиаторного сжатия, ось которого ориентирована приблизительно вдоль погружения слэба, в то время как в «нижнем» слое вдоль погружения слэба ориентирована ось девиаторного растяжения [21, 22]. Вероятной причиной формирования двойной сейсмофокальной зоны на промежуточных глубинах может служить обратный изгиб слэба, освобожденного от давления зоны контакта плит, в пластичном мантийном веществе [4, 23].

На рис. 5 показаны эпицентры землетрясений Южных Курильских островов, произошедших на средних глубинах (70–300 км) в период с 1978 по 2019 гг., для которых Сахалинским филиалом, либо агентствами GCMT [15] и NIED [17], был определен механизм очага. События классифицированы по типу сейсмодислокации в системе отсчета, связанной со слэбом. В районе Южных Курил большинство событий промежуточной глубины происходит в диапазоне 70–200 км, ниже до глубин 300 км землетрясения редки.

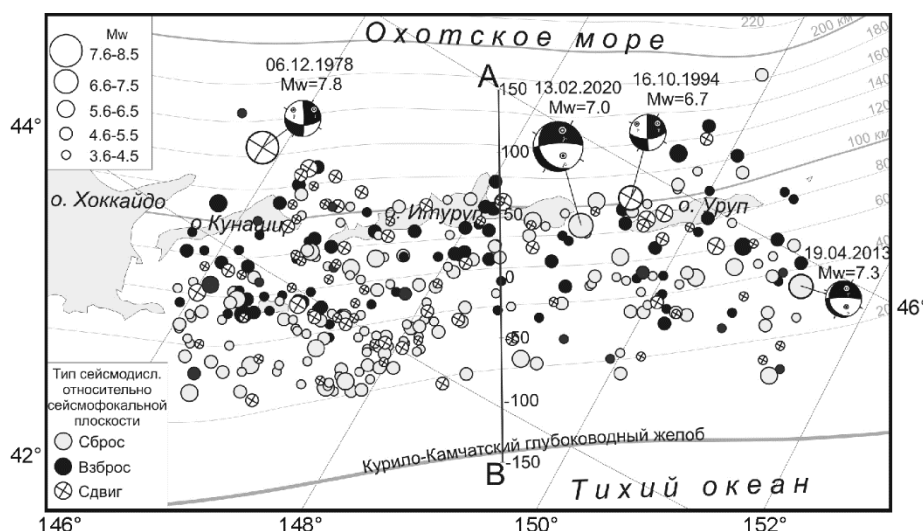


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Южных Курильских островов 1978–2019 гг. в диапазоне глубин 70–300 км с известным механизмом очага

Показаны распределение очагов землетрясений по типу сейсмодислокации относительно слэба согласно [7], положение эпицентра землетрясения 13 февраля 2020 г. и его механизм очага согласно СФ ФИЦ ЕГС РАН [Прил. KL4], а также механизмы очагов крупнейших исторических землетрясений указанного временного периода. Серым показаны изолинии глубин верхней границы сейсмофокальной зоны согласно модели «Slab2» [24].

Наиболее сильные землетрясения с промежуточной глубиной очага в районе Южных Курил в предшествующую половину века: событие 29 января 1978 г. с магнитудой $M_w=7.8$ на глубине в 159 км [25] (рис. 4) и Урупское землетрясение 19 апреля 2013 г. с $M_w=7.3$ на глубине 118 км [26]. Также можно отметить событие 16 октября 1994 г. $M_w=6.7$ на глубине 121 км, поскольку его гипоцентр близок к очаговой зоне землетрясения 2020 года. Однако механизм очага землетрясений 1994 г. и 1978 г. – сдвиговый. Как отмечено в [6], эти события могут являться следствием левого сдвига вдоль трансформных разломов внутри погруженной части тихоокеанской литосферной плиты. Механизм очага Урупского землетрясения 19 апреля 2014 г., произошедшего восточнее события 2020 г. на несколько меньшей глубине, оказался практически идентичным. Это также событие со взрезным относительно поверхности типом сейсмодислокации, реализовавшееся в условиях напряжения растяжения вдоль направления падения сейсмофокальной зоны.

На рис. 6 показана проекция землетрясений Южных Курил (рис. 5) на вертикальный срез А–В, проведенный ортогонально островной дуге. Пунктиром, проведенным по асейсмичным участкам, показано примерное положение границы между слоями двойной сейсмофокальной зоны, принятое в [6].

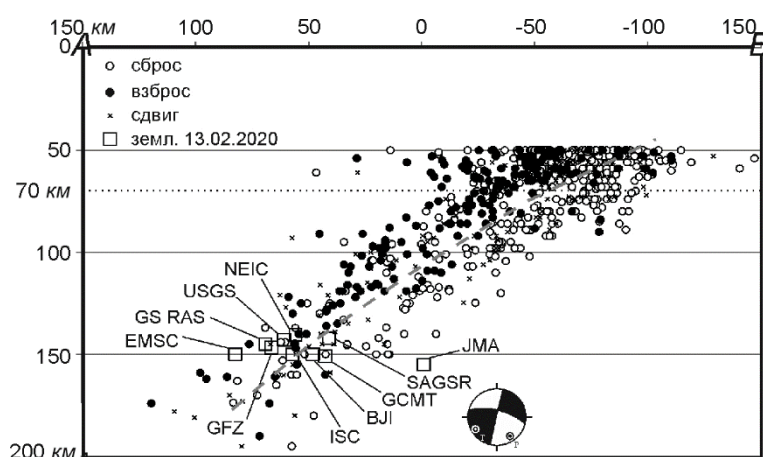


Рис. 6. Проекция гипоцентров землетрясений Южных Курильских островов 1978–2019 гг. с известным механизмом очага на вертикальный срез А–В (рис. 1, 5)

Показано распределение очагов землетрясений по типу сейсмодислокации относительно слэба. Пунктирной линией отмечено примерное разделение сейсмофокальной зоны на верхний и нижний слой согласно [6]. Нанесены варианты положения гипоцентра землетрясения 13 февраля 2020 г. по данным разных агентств (табл. 1) и механизм очага по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН в проекции на вертикальный срез А–В.

Как видно из рис. 6, большая часть событий, отнесенных к взбросовым, расположена в «верхней» части, а в «нижней» больше сбросов. Большинство из этих землетрясений произошло юго-западнее плоскости разреза, где сеть сеймостанций Японии позволяет хорошо локализовать положение гипоцентра, что и позволило получить относительно упорядоченное распределение. В северо-восточной части исследуемой области (рис. 5), где расположен очаг землетрясения 13 февраля 2020 г., разрешающая способность сейсмологической сети большинства мировых агентств довольно слабая. Это очевидно как по вариантам положения эпицентра землетрясения на поверхности (рис. 1), так и гипоцентра на вертикальном срезе (рис. 6).

Большинство агентств помещает гипоцентр землетрясения 13 февраля 2020 г. в «верхнюю» часть двойной сейсмофокальной зоны (рис. 6). Принятое в данной работе за основу положение гипоцентра события по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН попадает в условно «нижний» слой, примерно в район границы между слоями, что более соответствует его типу сейсмодислокации. Если принять во внимание варианты глубины гипоцентра по глубинным фазам, гипоцентр может оказаться ниже, примерно в центре слоя. С учетом характерных размеров очага землетрясений близкой магнитуды, это не принципиальное отличие.

Вместе с тем в работе [6] автор получил аномальную картину напряженного состояния двойной сейсмофокальной зоны в очаговой области этого землетрясения на основе инверсии механизмов очагов событий 1978–2019 гг. Несмотря на то, что за основу положения гипоцентров землетрясений в районе очага события 13 февраля были взяты координаты SAGSR, дающие относительно неплохое распределение землетрясений по слоям сейсмофокальной зоны, в «верхнем» слое двойной сейсмофокальной зоны отмечена область с напряженным состоянием растяжения вдоль слэба и ориентацией осей главных напряжений, больше соответствующих «нижнему» слою на других участках. В «нижней» же части сейсмофокальной зоны, на глубинах 70–200 км, отмечена область сейсмического затишья, примерно совпадающая с очаговой областью землетрясения 13 февраля 2020 года. Здесь на интервале полувек почти не отмечалось землетрясений с известным механизмом очага.

При подготовке данной публикации была проведена проверка, сохраняется ли аномальное состояние сейсмофокальной зоны после события 13 февраля 2020 года. С этой целью был собран каталог механизмов очагов землетрясений окрестностей очаговой зоны этого события (рис. 7) по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН, GCMT и NIED [8, 10] (методика составления каталога описана в [6]) за период 2020–2023 гг. Однако оценить характер напряженного состояния в районе события 13 февраля не удалось, т.к. в очаговой зоне этого события и его окрестностях за четыре года произошло малое количество землетрясений с известным механизмом очага. На глубинах 51–102 км таких землетрясений нет вообще. Т.е. область относительного сейсмического затишья с отсутствием сильных землетрясений, показанная в [7] для «нижнего» слоя сейсмофокальной зоны, распространилась и на «верхнюю» ее часть, по крайней мере, на глубины выше события 13 февраля 2020 года. Согласно каталогам землетрясений ФИЦ ЕГС РАН и JMA, сейсмические события здесь регистрируются, однако их количество и магнитуда существенно меньше, чем вне этого района промежуточных глубин.

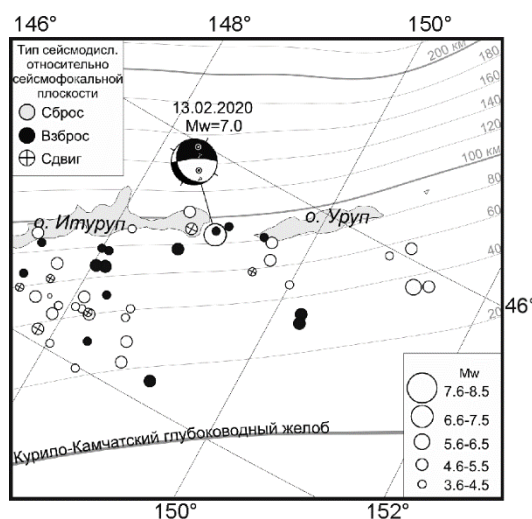


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений Южных Курильских островов за 2020–2023 гг. в диапазоне глубин 51–200 км с известным механизмом очага по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН, GCMT и NIED [15, 17]

Показано распределение очагов землетрясений по типу сейсмодислокации относительно слэба [6], положение эпицентра землетрясения 13 февраля 2020 г и его механизм очага по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН [Прил. KL4]. Серым показаны изолинии глубин верхней границы сейсмофокальной зоны согласно модели «Slab2» [24].

Выводы. 13 февраля 2020 г. в 10^h33^m UTC в районе Южных Курильских островов зарегистрировано землетрясение магнитудой $M_w=6.9$. Это третье по силе сейсмическое событие на промежуточных глубинах сейсмофокальной зоны Южных Курил за последнюю половину века. Эпицентр события расположен у северо-восточной оконечности о. Итуруп в юго-западной части прол. Фриза, варианты глубины очага находятся в диапазоне $h=140\text{--}160$ км.

Механизм очага землетрясения взрезного типа с субвертикальной плоскостью северо-западного падения и пологой восток–юго-восточного падения с небольшой сдвиговой компонентой. Для выбора рабочей плоскости механизма очага был построен азимутальный годограф по методике Горбуновой И.В., согласно которому имел место однонаправленный разрыв северо-восточного простирания, что более соответствует субвертикальной нодальной плоскости механизма очага.

Согласно полученной СФ ФИЦ ЕГС РАН информации об осязчивости землетрясения 13 февраля 2020 г., хорошо совпадающей с данными инструментальной макросейсмологии, интенсивность сотрясений достигала в населенных пунктах о. Итуруп и Шикотан Курильской островной дуги 5–6 баллов, на о. Кунашир – 5 баллов. Данных об осязчивом эффекте этого землетрясения на о-ве Парамушир северной части Курильской островной гряды, п-ве Камчатка и других территориях Дальнего Востока России не поступало.

При этом землетрясение вызвало значительный макросейсмический эффект на территории Японии. Максимальный макросейсмический эффект, соответствующий 6–7 баллам шкалы MSK-64, отмечен на северо-востоке о. Хоккайдо на значительно более далеких расстояниях, чем в пунктах Курильской гряды. Дальность регистрации осязчивых сотрясений вдоль Японского архипелага превысила 1300 км. Отмечается зависимость интенсивности сотрясений не столько от удаленности от эпицентра, сколько от расстояния до сейсмофокальной зоны. Возможным объяснением может являться захват энергии сейсмических волн субдуцирующей плитой.

Механизм очага и положение гипоцентра землетрясения 13 февраля 2020 г. позволяют отнести его очаг к «нижней» части двойной сейсмофокальной зоны, отмечаемой на Южных Курилах на промежуточных глубинах землетрясений (70–300 км). Здесь обычно регистрируются землетрясения, очаги которых сформированы в условиях девиаторного растяжения, направление оси которого примерно совпадает с направлением погружения тектонической плиты. В период времени, предшествовавший событию 13 февраля, вблизи его очаговой зоны наблюдалась аномалия напряженного состояния среды в «верхней» части сейсмофокальной зоны и относительное сейсмическое затишье в нижней ее части. Было сделано предположение [6], что это является следствием подготовки сильного сейсмического события, произошедшего в 2020 году. Однако, проведенная по данным каталога механизмов очагов землетрясений 2020–2023 гг. проверка этого предположения не смогла подтвердить исчезновение аномалии, поскольку область относительного сейсмического затишья распространилась и на «верхнюю» часть двойной сейсмофокальной зоны.

Исследование выполнено в рамках государственного финансирования Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание ФИЦ ЕГС РАН № 075-00682-24 и тема НИР ИМГГ ДВО РАН №ГР 124013000764-8) с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие: Величко Л.Ф., Дорошкевич Е.Н., Карташова О.Л., Лукаш Н.А., Лысенко Т.Н., Пиневич М.В., Сафонов Д.А., Фокина Т.А., Швидская С.В.

Электронные приложения App10_Kurily-Okhotsk_2020 (<http://www.gsr.ru/zse/app-27.html>): KL2 – Каталог землетрясений Курило-Охотского региона за 2020 г.; KL4 – Каталог механизмов очагов землетрясений Курило-Охотского региона за 2020 г.; KL6 – Макросейсмический эффект землетрясений в населенных пунктах Курило-Охотского региона и прилегающих территорий в 2020 году.

Л и т е р а т у р а

1. Fujita K., Kanamori H. Double seismic zones and stresses of intermediate depth earthquakes // *Geophysical Journal International*. – 1981. – V. 66, N 1. – P. 131–156. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1981.tb05950.x>

2. Kirby S.H., Durham W.B., Stern L.A. Mantle phase changes and deep-earthquake faulting in subducting lithosphere // *Science*. – 1991. – V. 252, N 5003. – P. 216–225. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.252.5003.216>
3. Сафонов Д.А. Поле тектонических напряжений на промежуточных глубинах южного фланга Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны // *Геодинамика и Тектонофизика*. – 2021. – V. 12, N 4. – P. 929–950. DOI: <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-4-0564>
4. Astiz L., Lay T., Kanamori H. Large intermediate-depth earthquakes and the subduction process // *Physics of the Earth and Planetary interiors*. – 1988. – V. 53, N 1–2. – P. 80–166. DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(88\)90138-0](https://doi.org/10.1016/0031-9201(88)90138-0)
5. Chen P.F., Bina C.R., Okal E.A. A global survey of stress orientations in subducting slabs as revealed by intermediate-depth earthquakes // *Geophysical Journal International*. – 2004. – V. 159, N 2. – P. 721–733. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02450.x>
6. Safonov D.A. The Earthquake of February 13, 2020, $M=7.0$ and Seismotectonic Conditions at Intermediate Depths of the Southern Kuril Islands // *Pure and Applied Geophysics*. – 2022. – V. 179, N 11. – P. 4147–4162.
7. Tatevossian R.E., Kosarev G.L., Bykova V.V., Matsievskii S.A., Ulomov I.V., Aptekman Zh.Ya., Vakarchuket R.N. A deep-focus earthquake with $M_w=8.3$ felt at a distance of 6500 km // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2014. – N 50. – P. 453–461. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1069351314030124>
8. Japan Meteorological Agency. (2024). [Site]. – URL: <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
9. China earthquake network center. (2024). [Site]. – URL: <https://www.cenc.ac.cn/cenc/dzxx/4121ff76-367.html>
10. Search Earthquake Catalog. (2024) // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70007pa9/executive>
11. European Mediterranean Seismological Centre. (2024). [Site]. – URL: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake>
12. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2020. (2024) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2020/
13. International Seismological Centre. (2024). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
14. Helmholtz Centre Potsdam. (2024). [Site]. – URL: <https://geofon.gfz-potsdam.de/>
15. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2024). [Site]. – URL: <https://www.glob-alcmt.org/CMTsearch.html>
16. Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1963. – 670 с.
17. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. (2024). [Site]. – URL: <http://www.fnet.bosai.go.jp>
18. Горбунова И.В., Бойчук А.Н., Доцев Н.Т., Кальметьева З.А., Капитанова Т.А., Кучай О.А., Михайлова Н.Н., Пустовитенко Б.Г., Симбирева И.Г., Товмасын А.К. Интерпретация очаговых волн на записях землетрясений // *Результаты исследований по международным геофизическим проектам*. Москва-Бишкек: Изд-во ИФЗ РАН, 1992. – 130 с.
19. Аптикаев Ф.Ф., Шебалин Н.В. Уточнения корреляций между уровнем макросейсмического эффекта и динамическими параметрами движения грунта // *Исследования по сейсмической опасности (Вопросы инженерной сейсмологии, вып. 29)*. – М.: Наука, 1988. – С. 98–108.
20. Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О., Бержинский Ю.А., Клячко М.А., Шестоперов Г.С., Стром А.Л. Шкала интенсивности землетрясений. Проект новой Российской сейсмической шкалы. Национальный стандарт Российской Федерации. Часть I. // *Инженерные изыскания* – 2011. – № 10. – С. 62–71.
21. Sykes L.R. The seismicity and deep structure of island arcs // *Journal of Geophysical Research*. – 1966. – V. 71, N 12. – P. 2981–3006. DOI: <https://doi.org/10.1029/JZ071i012p02981>
22. Katsumata K., Wada N., Kasahara M. Newly imaged shape of the deep seismic zone within the subducting Pacific plate beneath the Hokkaido corner, Japan-Kurile arc-arc junction // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. – 2003. – V. 108, N B12. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002JB002175>
23. Jiao W., Silver P.G., Fei Y., Prewitt C.T. Do intermediate-and deep-focus earthquakes occur on preexisting weak zones? An examination of the Tonga subduction zone // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. – 2002. – V. 105, N B12. – P. 28125–28138. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000JB900314>
24. Hayes G.P., Moore G.L., Portner D.E., Hearne M., Flamme H., Furtney M., Smoczyk G.M. Slab2, a comprehensive subduction zone geometry model // *Science*. – 2018. – V. 362, N 6410. – P. 58–61. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aat4723>

25. Kasahara M., Sasatani T. Source characteristics of the Kunashiri strait earthquake of December 6, 1978 as deduced from strain seismograms // *Physics of the earth and planetary interiors*. – 1985. – V. 37, N 2–3. – P. 124–134. DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(85\)90046-9](https://doi.org/10.1016/0031-9201(85)90046-9)
26. Safonov D.A., Kononov A.V., Zlobin T.K. The Urup earthquake sequence of 2012–2013 // *Journal of Volcanology and Seismology*. – 2015. – V. 9. – P. 402–411. DOI: <https://doi.org/10.1134/S074204631506007X>

EARTHQUAKE on FEBRUARY 13, 2020, $M_w=6.9$ (FRIEZE STRAIT, KURIL ISLANDS)

D.A. Safonov¹, E.P. Semenova²

¹*Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, d.safonov@imgg.ru*

²*Sakhalin branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, semenova@seismo.sakhalin.ru*

Abstract. The article discusses the earthquake of February 13, 2020 with a magnitude of $M_w=6.9$, which occurred in the Frieze Strait between the islands of Iturup and Urup of the Kuril Island arc. The earthquake source is located in the lower part of the double seismofocal zone at intermediate depths. The earthquake was realized under conditions of deviatoric tension, the direction of the axis approximately coinciding with the direction of submergence of the tectonic plate. The azimuthal hodograph method allowed us to establish that there was a uni-directional rupture of the northeastern direction, coinciding with the strike of the subvertical plane of the focal mechanism. The maximum macroseismic effect of the earthquake in the settlements of the Kuril Islands reached 5–6 points on the MSK-64 scale. The macroseismic effect was observed at significantly greater epicentral distances in the south-west direction from the epicenter. The maximum intensity in Japan reached 4 points on the JMA scale, which corresponds to 6–7 points on the MSK-64 scale.

Keywords: earthquake, Kuril-Okhotsk region, hypocenter parameters, focal mechanism, macroseismic.

For citation: Safonov, D.A., & Semenova, E.P. (2024). [Earthquake on February 13, 2020, $M_w=6.9$ (Frieze Strait, Kuril Islands)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 277–288. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.25> EDN: RUJIHT

R e f e r e n c e s

1. Fujita, K., & Kanamori, H. (1981). Double seismic zones and stresses of intermediate depth earthquakes. *Geophysical Journal International* 66(1), 131–156. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1981.tb05950.x>
2. Kirby, S.H., Durham, W.B., & Stern, L.A. (1991). Mantle phase changes and deep-earthquake faulting in subducting lithosphere. *Science*, 252(5003), 216–225. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.252.5003.216>
3. Safonov, D.A. (2021). Tectonic stress field at intermediate depths of the southern flank of the Kuril-Kamchatka seismic zone. *Geodynamics & Tectonophysics*, 12(4), 929–950. DOI: <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-4-0564>
4. Astiz, L., Lay, T., & Kanamori, H. (1988). Large intermediate-depth earthquakes and the subduction process. *Physics of the Earth and Planetary interiors*, 53(1–2), 80–166. DOI: [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(88\)90138-0](https://doi.org/10.1016/0031-9201(88)90138-0)
5. Chen, P.F., Bina, C.R., & Okal, E.A. (2004). A global survey of stress orientations in subducting slabs as revealed by intermediate-depth earthquakes. *Geophysical Journal International*, 159(2), 721–733. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02450.x>
6. Safonov, D.A. (2022). The Earthquake of February 13, 2020, $M=7.0$ and Seismotectonic Conditions at Intermediate Depths of the Southern Kuril Islands. *Pure and Applied Geophysics*, 179(11), 4147–4162.
7. Tatevossian, R.E., Kosarev, G.L., Bykova, V.V., Matsievskii, S.A., Ulomov, I.V., Aptekman, Zh.Ya., & Vakarchuket, R.N. (2014). A deep-focus earthquake with $M_w=8.3$ felt at a distance of 6500 km. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 50, 453–461. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1069351314030124>
8. Japan Meteorological Agency. (2024). Retrieved from <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
9. China earthquake network center. (2024). Retrieved from <https://www.cenc.ac.cn/cenc/dzxx/4121ff76-367.html>
10. USGS. (2024). Search Earthquake Catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70007pa9/executive>
11. European Mediterranean Seismological Centre. (2024). Retrieved from <https://www.emsc-csem.org/Earthquake>

12. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2020. (2024). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2020/
13. International Seismological Centre. (2024). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
14. Helmholtz Centre Potsdam. (2024). Retrieved from <https://geofon.gfz-potsdam.de/>
15. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2024). Retrieved from <https://www.glob-alcmt.org/CMTsearch.html>
16. Richter, Ch.F. (1963). *Elementarnaya sejsmologiya* [Elementary Seismology]. Moscow, Russia: Inostranno literature Publ., 670 p.
17. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. (2024). Retrieved from <http://www.fnet.bosai.go.jp>
18. Gorbunova, I.V., Bojchuk, A.N., Docev, N.T., et al. (1992). *Interpretaciya ochagovyh voln na zapisyah zemletryasenij* [Interpretation of focal waves on earthquake records]. Moscow, Russia: Nauka, 132 p. (In Russ.).
19. Aptikaev, F.F., & Shebalin, N.V. (1988). [Clarification of correlations between the level of the macroseismic effect and the dynamic parameters of soil movement. Research on seismic hazards.]. In *Issledovaniya po seysmicheskoy opasnosti (Voprosy inzhenernoy seysmologii; vypusk 29)* [Research on seismic hazard (Problems of Engineering Seismology; Issue 29)] (pp. 98–108). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
20. Aptikaev, F.F., Erteleva, O.O., Berzhinskij, Yu.A., Klyachko, M.A., Shestoporov, G.S., & Strom, A.L. (2011). [The scale of earthquake intensity. The draft of the new Russian seismic scale. The national standard of the Russian Federation. Part I.]. *Inzhenernye izyskaniya* [Engineering surveys], 10, 62–71. (In Russ.).
21. Sykes, L.R. (1966). The seismicity and deep structure of island arcs. *Journal of Geophysical Research*, 71(12), 2981–3006. DOI: <https://doi.org/10.1029/JZ071i012p02981>
22. Katsumata, K., Wada, N., & Kasahara, M. (2003). Newly imaged shape of the deep seismic zone within the subducting Pacific plate beneath the Hokkaido corner, Japan-Kurile arc-arc junction. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B12). DOI: <https://doi.org/10.1029/2002JB002175>
23. Jiao, W., Silver, P.G., Fei, Y., & Prewitt, C.T. (2000). Do intermediate-and deep-focus earthquakes occur on preexisting weak zones? An examination of the Tonga subduction zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B12), 28125–28138. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000JB900314>
24. Hayes, G.P., Moore, G.L., Portner, D.E., Hearne, M., Flamme, H., Furtney, M., & Smoczyk, G.M. (2018). Slab2, a comprehensive subduction zone geometry model. *Science*, 362(6410). 58–61. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aat4723>
25. Kasahara, M., & Sasatani, T. (1985). Source characteristics of the Kunashiri strait earthquake of December 6, 1978 as deduced from strain seismograms. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 37(2–3), 124–134.
26. Safonov, D.A., Konovalov, A.V., & Zlobin, T.K. (2015). The Urup earthquake sequence of 2012–2013. *Journal of Volcanology and Seismology*, 5(9), 402–411. DOI: <https://doi.org/10.1134/S074204631506007X>