

УДК 550.348. (571.642)

ГЛУБОКОФОКУСНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 30 НОЯБРЯ 2020 г.

в ТАТАРСКОМ ПРОЛИВЕ, $M_w=6.4$ (о. САХАЛИН)

Е.П. Семенова¹, Д.В. Костылев^{1,2}, Н.В. Костылева²

¹Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, Южно-Сахалинск, Россия, semenova@seismo.sakhalin.ru

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

Аннотация. 30 ноября 2020 г. в 22^h54^m UTC в Татарском проливе на глубине 600 км произошло сильное землетрясение с магнитудой $M_w=6.4$. Сейсмическое событие было зарегистрировано и обработано сейсмическими станциями международных агентств и региональных сейсмологических центров. Землетрясение ощущалось на обширной территории Дальнего Востока России и на островах Японского архипелага. Впервые в практике Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН был выполнен анализ макросейсмических проявлений землетрясения 30 ноября 2020 г. совместно с интенсивностями, рассчитанными на основе инструментальных данных. В статье приводятся результаты детального изучения волновых форм землетрясения по сейсмической станции «Южно-Сахалинск», проанализированы характеристики P - и S -волн с использованием методов, направленных на изучение непрерывных сейсмических сигналов.

Ключевые слова: землетрясение, макросейсмические проявления, интенсивность, механизм очага землетрясения.

Для цитирования: Семенова Е.П., Костылев Д.В., Костылева Н.В. Глубокофокусное землетрясение 30 ноября 2020 г. в Татарском проливе, $M_w=6.4$ (о. Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 323–334. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.29> EDN: VHNXIF

Введение. По данным каталога USGS [1], частота возникновения сильных землетрясений в Дальневосточном регионе на глубинах свыше 400 км составляет в среднем 5–6 событий за 10 лет. Возникновение каждого такого события, изучение его волновых форм на записях сейсмограмм и анализ макросейсмических проявлений представляют большой интерес для наблюдения за сейсмическими процессами, происходящими в северо-западной части Тихого океана.

30 ноября 2020 г. в 22^h54^m UTC в Татарском проливе на глубине 613 км произошло землетрясение с магнитудой $M_w=6.4$. Параметры землетрясения были определены всеми международными агентствами и региональными сейсмологическими центрами.

Интенсивность сотрясений по данным, поступившим от жителей о. Сахалин, составила 2–3 балла по шкале MSK-64. Для полной картины макросейсмических проявлений землетрясения 30 ноября 2020 г. был выполнен расчет интенсивности сотрясений в пунктах инструментальных наблюдений Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН (далее СФ), который дополнили данные Японского метеорологического агентства [2]. На спектрограммах широкополосной сейсмической станции «Южно-Сахалинск» были выявлены особенности частотных диапазонов в группах P - и S -волн, отражающие характер макросейсмических проявлений землетрясения. Также была выполнена работа, направленная на изучение затухания значений пиковых ускорений грунта по цифровым записям сейсмических станций.

Инструментальные данные. В табл. 1 приводятся параметры землетрясения 30 ноября 2020 г. с магнитудой $M_w=6.4$ в Татарском проливе по данным мировых сейсмологических агентств и региональных центров.

Таблица 1. Параметры глубокофокусного землетрясения 30 ноября 2020 г. в 22^h54^m UTC в Татарском проливе по данным международных агентств и региональных сейсмологических центров

Агентство	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			Магнитуда (кол-во станций)	Источник
		φ° , N	λ° , E	h , км		
SAGSR	22 54 32.7	48.06	140.81	613	$MLH=5.6(3)$, $MPV=6.8(6)$, $MPVA=6.9(19)$, $MSH=7.1(10)$, $MSHA=7.1(18)$, $M_w=6.3$	[3]
GS RAS	22 54 33.8	48.207	140.858	594	$MS=5.3(5)$, $mb=6.2(72)$	[4]
JMA	22 54 33.1	48.098	141.18	619	$Mj=6.7(39)$, $M_w=6.4(39)$	[2]

Агентство	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			Магнитуда (кол-во станций)	Источник
		φ° , N	λ° , E	h , км		
NEIC	22 54 34.6	48.252	140.797	589	$M_w=6.5(226)$, $mb=6.3(893)$	[1]
EMSC	22 54 34.3	48.28	140.835	585	$M_w=6.4$	[5]
GFZ	22 54 34.8	48.25	140.787	593	$M_w=6.4(200)$, $mb=6.3(204)$	[6]
GCMT	22 54 37.8	48.30	140.61	600	$M_w=6.4$	[7]

Примечание: SAGSR – Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН; GS RAS – Сейсмологический бюллетень ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск, Россия; JMA – Japan Meteorological Agency, Japan; NEIC – National Earthquake Information Center, Geological Survey, USA; EMSC – European-Mediterranean Seismological Centre; GFZ – Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, Germany; GCMT – Global CMT Project, USA.

На рис. 1 показаны варианты положения эпицентра землетрясения 30 ноября 2020 г. по данным из табл. 1. Незначительный отскок эпицентра в юго-восточном направлении отмечается в решении агентства JMA, что, вероятно, является следствием одностороннего расположения станций регистрации сейсмологической сети Японии.

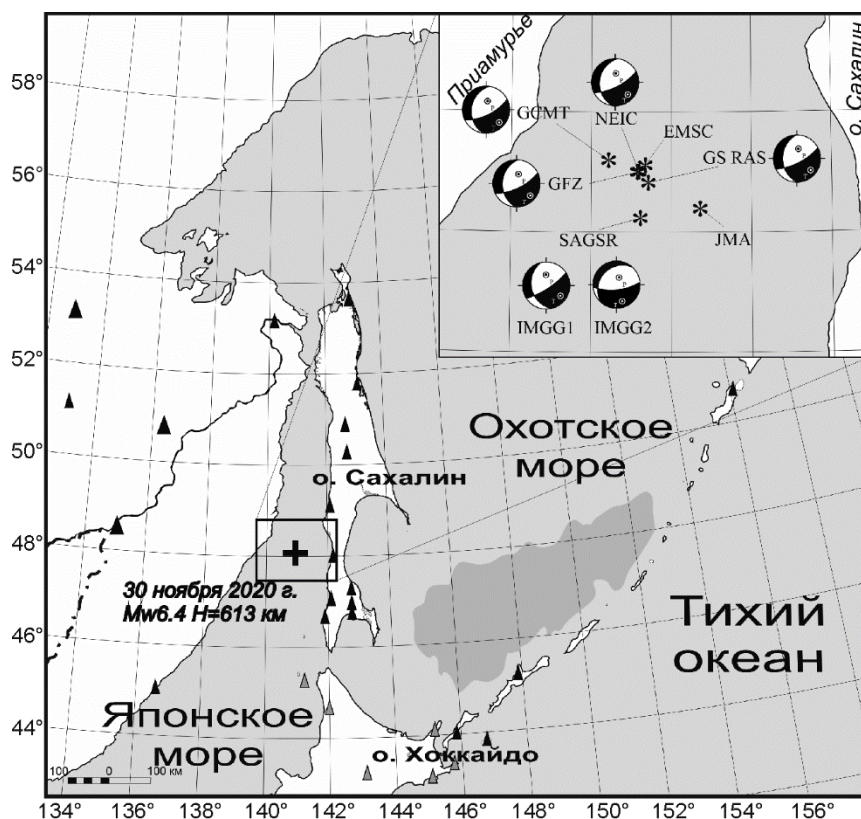


Рис. 1. Положение эпицентра землетрясения 30 ноября 2020 г. в 22^h54^m UTC в Татарском проливе по данным SAGSR

На врезке показаны варианты положения эпицентра землетрясения по данным из табл. 1 и решения механизма очага из табл. 2.

Глубина очага землетрясения по решениям сейсмологических центров из табл. 1 варьирует от 585 км (EMSC) до 619 км (JMA).

В случае глубокофокусного землетрясения глубину очага можно оценить по времени пробега отраженной волны ScS до станции регистрации [8]. С использованием данных 25 сейсмических станций в диапазоне эпицентральных расстояний до 2700 км глубина гипоцентра землетрясения 30 ноября 2020 г. в Татарском проливе составила 623 ± 8 км, эта оценка не противоречит данным из табл. 1.

10 декабря в 00^h51^m UTC региональной сетью сейсмических станций был зарегистрирован слабый афтершок, эпицентр которого находился южнее главного толчка ($\varphi=47.75^\circ\text{N}$, $\lambda=140.88^\circ\text{E}$). Глубина гипоцентра составила 613 км, магнитуды $mb=3.7$ и $ML=3.4$.

Механизм очага землетрясения 30 ноября 2020 г. был определен в Институте морской геологии и геофизики ДВО РАН методом полярности первых вступлений P -волн с помощью вычислительной программы FOCMEC [9], интегрированной в комплекс сейсмологических программ SEISAN [10]. В соответствии с полученным решением (IMGG1), подвижка в очаге землетрясения 30 ноября 2020 г. произошла под действием близгоризонтальных растягивающих напряжений, ориентированных на юго-восток. Тип сейсмодислокации – сброс с компонентой левого сдвига по крутой плоскости $NP1$, ориентированной на северо-восток и падающей на юго-восток, или правый сдвиг с компонентой сброса по пологой плоскости $NP2$ юг–юго-восточного простирания, падающей на запад. Полученный результат расчетов механизма, а также решения международных сейсмологических агентств представлены в табл. 2 и согласуются между собой с хорошей точностью.

Таблица 2. Механизм очага землетрясения 30 ноября 2020 г. в 22^h54^m UTC в Татарском проливе по данным различных сейсмологических агентств

№	Решение	M_w	h , км	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источ- ник
				T		N		P		$NP1$			$NP2$			
				PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
1	IMGG1	–	603	23	126	30	229	49	360	57	77	–59	167	33	–156	[наст. статья]
2	IMGG2	6.3	635	23	161	16	258	61	20	222	26	–129	84	70	–73	[11]
3	MOS	–	594	22	130	29	233	52	9	63	73	–59	179	35	–150	[7, 12]
4	GCMT	6.4	600	20	134	25	234	57	10	64	69	–63	188	34	–141	[13]
5	GFZ	6.4	593	20	132	29	233	54	12	64	71	–59	183	36	–146	[6, 7, 12]
6	NEIC	6.4	601	23	134	24	235	56	5	63	72	–65	186	30	–143	[1, 7, 12]

Примечание: IMGG – институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск; MOS – код, используемый при международном обмене для обозначения национального сейсмологического центра ФИЦ ЕГС РАН. Остальные сокращения даны в примечании к табл. 1.

Макросейсмические проявления. В материалы макросейсмических наблюдений землетрясения 30 ноября 2020 г. вошли сообщения об осязательности, поступившие от населения, оперативных служб МЧС по Сахалинской области и средств массовой информации. Наибольший макросейсмический эффект 3 балла по шкале MSK-64 был отмечен в Томари, Советской Гавани и Троицком. В табл. 3 внесены результаты опроса населения о макросейсмическом проявлении землетрясения 30 ноября 2020 г. в населенных пунктах Дальневосточного региона (графа $I_{\text{НАБЛ}}$ (балл)).

Наблюденные данные об интенсивности сотрясений от землетрясения были дополнены значениями, полученными по инструментальным данным, исходя из пиковых значений ускорения и скорости на цифровых записях землетрясения 30 ноября 2020 г. сейсмических станций Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН. При оценке интенсивности сотрясений по инструментальным данным использованы соотношения, приведенные в проекте новой российской сейсмической шкалы [14, 15]. Уравнения, связывающие сейсмическую интенсивность в баллах с такими параметрами движения грунта, как ускорение и скорость, имеют следующий вид [16, 17]:

$$I=2.5\lg PGA+1.89, \quad (1)$$

$$I=2.13\lg PGV+4.74, \quad (2)$$

где I – интенсивность сотрясений в баллах, PGA – пиковое ускорение грунта в m/c^2 , PGV – пиковая скорость грунта в m/c .

При разработке системы «Автоматизированной оценки интенсивности сейсмических сотрясений по инструментальным данным» [16] в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН было показано, что для локальных условий Камчатки и Сахалина из соотношений (1)–(2) больше подходит формула (1), основанная на ускорении.

Значения интенсивности сотрясений I_{PGA} (балл) и I_{PGV} (балл) по инструментальным данным, полученные по формулам (1) и (2) из пиковых значений на цифровых записях сейсмических

станций Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН (SAGSR), Центрального отделения ФИЦ ЕГС РАН (OBGSR) и станций университета Хоккайдо, были также внесены в табл. 3.

Таблица 3. Данные о наблюдаемой и инструментальной интенсивности сотрясений от землетрясения 30 ноября 2020 г. в Татарском проливе с $M_w=6.4$

№	Населенный пункт	φ° , N	λ° , E	Δ , км	$I_{\text{НАБЛ}}$, балл	I_{PGA} , балл	I_{PGV} , балл
1	Томари	47.764	142.069	99	3	—	—
2	ILY (с/ст. Ильинский)	47.99	142.21	102	—	2.0	2.1
3	Советская Гавань (Хабаровский край)	48.970	140.291	108	3	—	—
4	Чехов	47.444	142.006	113	2–3	—	—
5	UGL1 (с/ст. Углегорск)	49.076	142.07	141	—	1.0	2.7
6	KHL (с/ст. Холмск)	47.06	142.05	147	—	2.3	—
7	Синегорск	47.17	142.52	167	3	—	—
8	DOL (с/ст. Долинск)	47.32	142.79	169	—	2.4	—
9	Горнозаводск	46.557	141.852	185	2–3	—	—
10	NVA (с/ст. Ново-Александровск)	47.03	142.72	184	—	2.4	3.6
11	Троицкое	46.924	142.644	187	3	—	—
12	YSS (с/ст. Южно-Сахалинск)	46.96	142.76	189	2–3	2.9	2.9
13	KOR (с/ст. Корсаков)	46.65	142.76	217	—	1.9	—
14	ONOR (с/ст. Омор)	50.19	142.68	268	—	0.8	—
15	TYV (с/ст. Тымовское)	50.865	142.68	335	—	—	1.9
16	KHBR (с/ст. Хабаровск)	48.47	135.05	430	—	—	1.9
17	GRNR (с/ст. Горный)	50.76	136.45	434	—	—	1.6
18	NGL (с/ст. Ноглики)	51.78	143.13	443	—	—	1.6
19	TEYR (с/ст. Терней)	45.06	136.60	468	—	—	1.1
20	NKL (с/ст. Николаевск-на-Амуре)	53.15	140.68	566	—	—	1.7
21	YUK (с/ст. Южно-Курильск)	44.03	145.86	595	—	1.1	2.3
22	KUR (с/ст. Курильск)	45.23	147.87	623	—	—	1.6
23	KURRC (Китовый)	45.25	147.89	623	—	—	1.1
24	OKH (с/ст. Оха)	53.60	142.95	629	—	0.9	2.3
25	SHO (с/ст. Малокурильское)	43.87	146.83	660	—	1.6	1.9
26	EKMR (с/ст. Экимчан)	53.07	132.95	784	—	—	0.9
27	PLTR (с/ст. Полтавка)	44.03	131.33	861	—	—	1.4
<i>Хоккайдо</i>							
28	RBS (с/ст. Саус-Ребун)	45.28	141.04	314	—	—	2.3
29	TNK (с/ст. Теширо-Накагава)	44.78	142.08	381	—	—	1.3
30	RUSJ (с/ст. Раусу)	44.10	145.25	454	—	—	1.1
31	SKB (с/ст. Шикай-Шикарибетсу)	43.24	143.03	566	—	—	0.8
32	AKK (с/ст. Акешу)	43.02	144.84	644	—	—	1.9
33	NMR (с/ст. Немуро)	43.37	145.74	649	—	—	1.2
34	MYR (с/ст. Хироо-Майори)	42.30	143.28	673	—	—	1.5

Примечание. Δ , км – расстояние от пункта наблюдения до эпицентра, $I_{\text{НАБЛ}}$ (балл) – наблюдаемое значение интенсивности сотрясений, I_{PGA} (балл), I_{PGV} (балл) – пересчитанная из пиковых ускорений и скоростей инструментальная интенсивность сотрясений.

На рис. 2 представлена карта интенсивности сотрясений от глубокофокусного землетрясения 30 ноября 2020 г. по инструментальным данным из табл. 3. На территории о. Сахалин отмечены значения, полученные с акселерометров, а на Курильских островах, о. Хоккайдо и материковой части – значения с велосиметров. Как видно из карты-схемы на рис. 2, слабые сотрясения от глубокофокусного землетрясения 30 ноября охватили значительную территорию Дальнего Востока.

Наблюдаемая интенсивность сотрясений из табл. 3 представлена на карте-врезке к рис. 2. Практически все пункты с наблюдаемой интенсивностью, за исключением г. Советская Гавань, сосредоточены в южной части о. Сахалин.

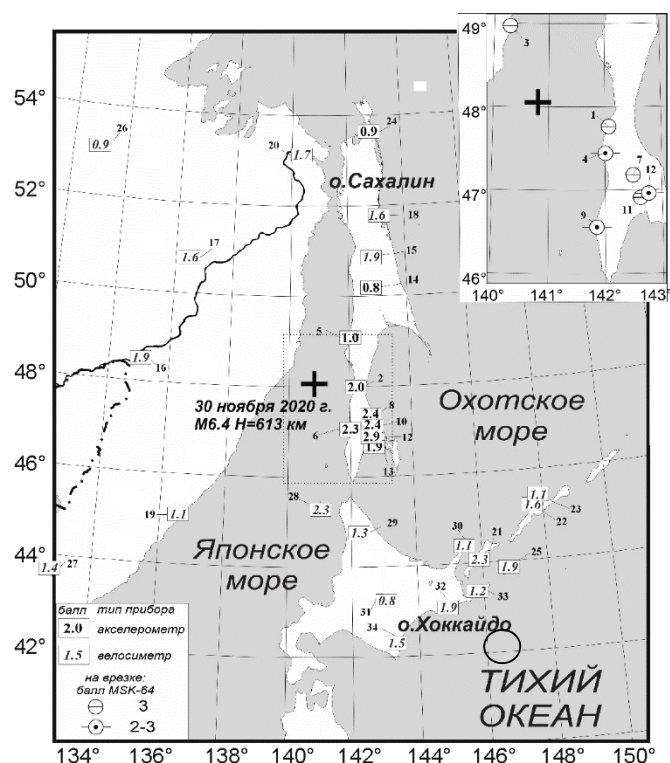


Рис. 2. Карта-схема интенсивности сотрясений от землетрясения 30 ноября 2020 г. в Татарском проливе, крестиком отмечен эпицентр землетрясения

На Сахалине отмечены значения интенсивности сотрясений по данным акселерометра (выделено жирным шрифтом) и велосиметра (курсив). На врезке показаны значения наблюдаемой интенсивности сотрясений из табл. 3.

Инструментальная интенсивность сотрясений на о. Хоккайдо из табл. 3, полученная с использованием цифровых записей станций университета Хоккайдо, была сопоставлена с данными Японского метеорологического агентства ЖМА. Как видно из карты на рис. 3, наблюдается хорошая согласованность выполненных в СФ ФИЦ ЕГС РАН расчетов (белые прямоугольники с номерами) с данными ЖМА (рис. 3). В целом, использование станций сейсмологической сети университета Хоккайдо повышает регистрационные возможности при мониторинге сейсмичности в районе Южных Курильских островов и обеспечивает дополнительными данными при описании сильных землетрясений Дальневосточного региона.

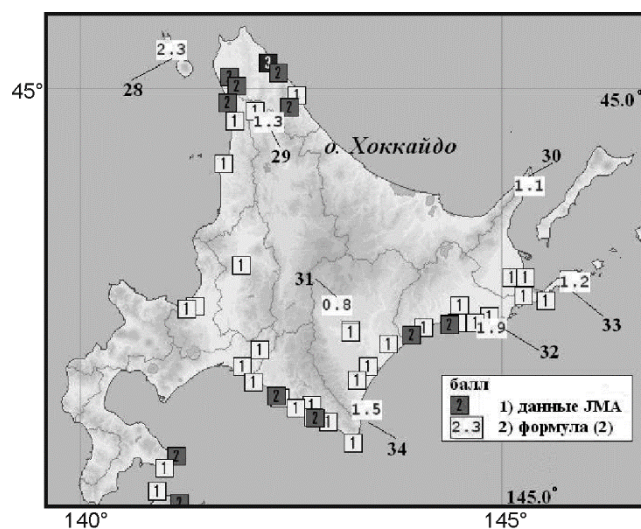


Рис. 3. Карта-схема интенсивности сотрясений на о. Хоккайдо от землетрясения 30 ноября 2020 г. в Татарском проливе

1 – интенсивность сотрясений по данным Японского метеорологического агентства; 2 – значения расчетной интенсивности, полученные в СФ ФИЦ ЕГС РАН с использованием формулы (2) по данным сейсмических станций университета Хоккайдо.

Макросейсмический эффект в районе о. Хоккайдо и Южных Курил от глубоких землетрясений в Охотском и Японском морях ранее отмечался при описании сильных глубоководных землетрясений 12 мая 1990 г. у западного побережья Сахалина ($h=600$ км, $M_w=7.2$) и 14 августа 2012 г. у восточного побережья п-ва Терпения ($h=583$ км, $M_w=7.7$) [17, 18]. Такая особенность макросейсмического проявления глубоководных землетрясений вдоль тихоокеанского побережья северной Японии объясняется субдукцией Тихоокеанской плиты, которая действует как эффективный волновод для высокочастотных сигналов [19]. В Сахалинском филиале изучение глубоководных землетрясений в Охотском и Японском морях носит пока эпизодический характер и находится на этапе сбора данных и описания отдельно взятых землетрясений.

Уникальность макросейсмических проявлений глубоководного землетрясения в Татарском проливе обусловила необходимость углубленного анализа волновых форм. Оснащенная современной цифровой аппаратурой широкополосная сейсмическая станция «Южно-Сахалинск» обеспечила получение сейсмических записей, которые позволили выполнить спектральный анализ волновых форм этого события.

Обработка сейсмических данных проводилась с помощью программы SpectrumSeism, являющейся частью методов, разработанных и запатентованных ФИЦ ЕГС РАН и направленных на изучение длительных по времени непрерывных сейсмических сигналов [20, 21]. Результаты представлены на рис. 4.

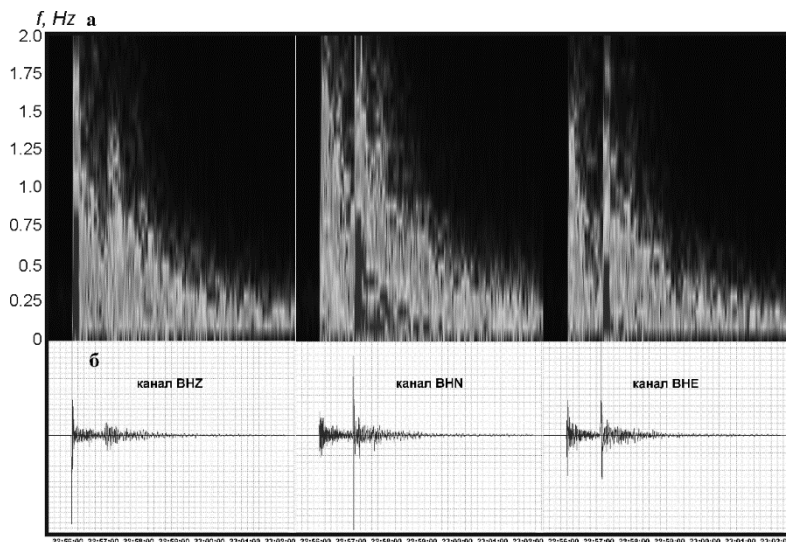


Рис. 4. Спектрограмма (а) фрагмента записи землетрясения (б) на вертикальном (BHZ) и горизонтальных (BHN/BHE) каналах сейсмостанции «Южно-Сахалинск»

Горизонтальная ось имеет привязку по времени прохождения сейсмических сигналов, вертикальная ось отражает диапазон зарегистрированных частот.

Для построения спектрограммы (рис. 4 а) был использован фрагмент цифровой записи землетрясения на вертикальном и горизонтальных каналах станции «Южно-Сахалинск», который включает группы *P*- и *S*-волн (рис. 4 б). Как видно из рисунка, запись землетрясения является высокочастотной, с четкими цугами продольных и поперечных волн, что характерно для глубоководных землетрясений. В цуге *P*-волн преобладают периоды (T) в диапазоне 1.5–2 с, в цуге *S*-волн – от 2–6 с, которые в целом коррелируют со спектральными характеристиками сильных глубоководных землетрясений в Охотском море [18, 22].

Дополнительно был проведен анализ по гармоникам сигналов в цугах *P*- и *S*-волн. На рис. 5 показана диаграмма изменения амплитуды сигнала на указанной по оси частот гармонике в цугах *P*- и *S*-волн по каждому из каналов сейсмографа.

Хорошо видно, как в цуге *P*-волн для вертикального канала (BHZ) максимальный уровень сигнала соответствует диапазону частот 0.6–0.8 Гц и значительно превышает амплитуды на горизонтальных каналах. Для цуга *S*-волн наблюдается обратная картина: превышение амплитуд сигнала на горизонтальных каналах над амплитудами на вертикальном и смещение максимальных значений амплитуд сигнала в диапазон частот 0.2–0.5 Гц.

Полученные данные подтверждаются спектрами Фурье, построенными для скорости смещения грунта на записях землетрясения по сейсмической станции «Южно-Сахалинск» [23]. Были изучены интервалы записей от момента начала регистрации P - и S -волн до затухания их колебаний. Для P -волны был исследован 30-секундный интервал по Z -компонентам, для S -волны – 50-секундный по EW - и NS - компонентам (рис. 6).

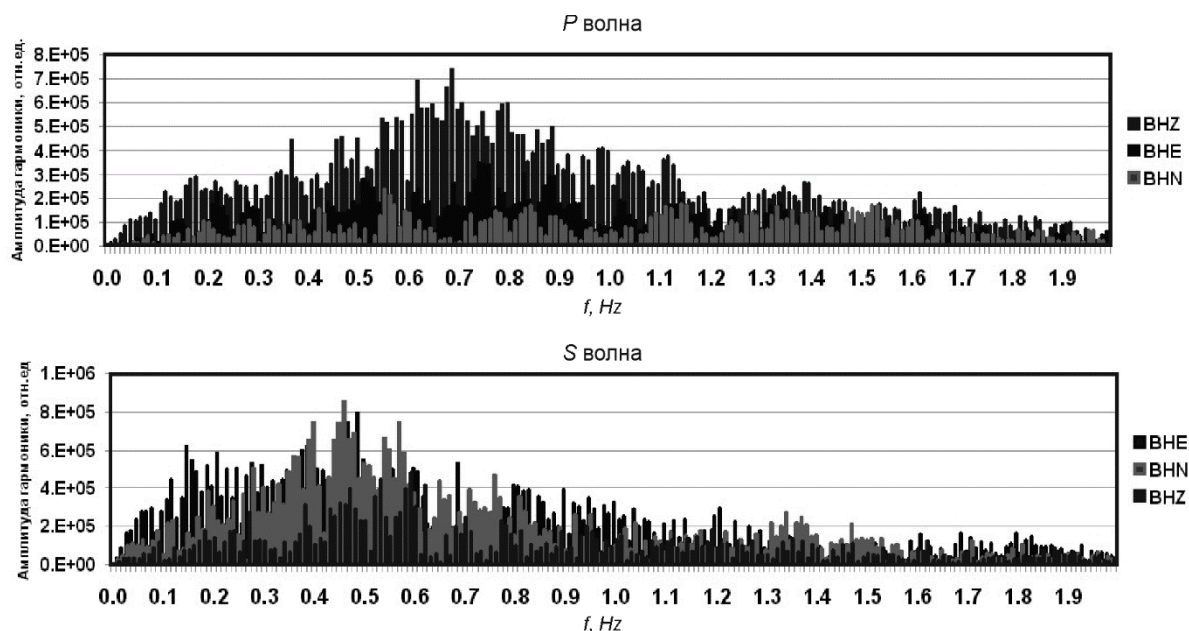


Рис. 5. Диаграмма изменения амплитуды сигнала на указанной по оси частот гармонике в цугах P -волны ($t=22:55:48.6$) и S -волны ($t=22:56:47.2$) по каждому из каналов сейсмографа

На горизонтальной оси отмечены значения выделенных частот (Гц), на вертикальной отмечены амплитуды сигналов (отн. ед.).

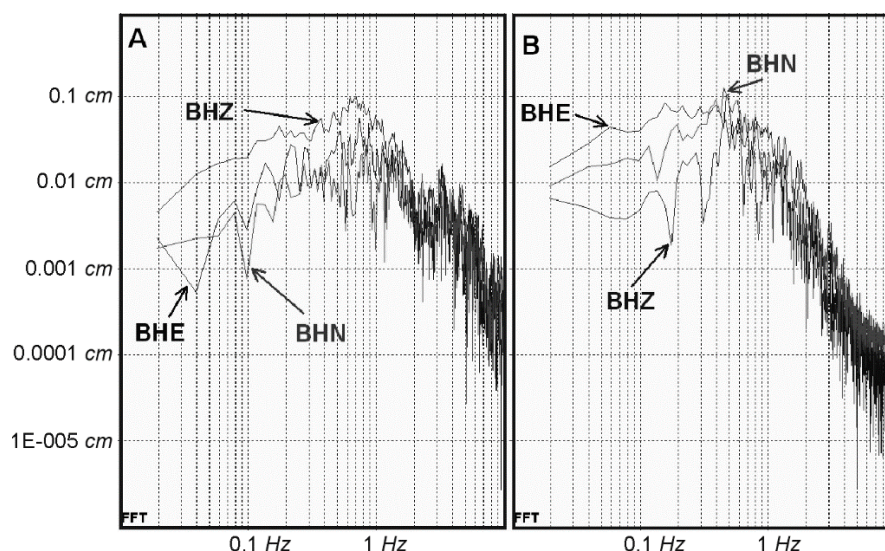


Рис. 6. Спектры Фурье скорости грунта на станции «Южно-Сахалинск» для P -волны (фрагмент А) и S -волны (фрагмент В)

Анализируя спектры Фурье скорости смещения грунта на рис. 6 и сопоставляя их с амплитудами сигнала по гармонике на рис. 5, можно сделать вывод, что спектры S -волны для горизонтальных каналов имеют более низкочастотный состав и более высокие значения амплитуд гармоник. Основная доля гармоник, составляющих сейсмический сигнал P -волны, лежит в диапазоне до 1 Гц. Спектры поперечных S -волн характеризуются более низкочастотным составом 0.2–0.6 Гц.

Таким образом, работа по изучению волновых форм землетрясения 30 ноября 2020 г. в Татарском проливе дополнила полученные ранее данные о частотном составе сейсмических волн сильного глубоководного землетрясения 14 августа 2012 г. в Охотском море с магнитудой $M_w=7.7$ [18].

Тектоническая позиция. Сейсмическая активность Северо-Западной окраины Тихого океана определяется взаимодействием Северо-Американской и Тихоокеанской тектонических плит. Основная сейсмичность сосредоточена в зоне взаимодействия этих плит. На рис. 7 показана карта эпицентров дальневосточных землетрясений с магнитудой $M_w \geq 6.0$ за период 1904–2020 гг. по данным USGS. Наиболее активной является широкая полоса поверхностных эпицентров землетрясений на глубинах до 70 км. Эпицентры глубоководных землетрясений и землетрясений с промежуточной глубиной очага протягиваются от западного побережья Камчатки до Приморья, а дальше под крутым углом поворачивают в сторону южного Хонсю.

За немногим более 100 лет наблюдений в Дальневосточном регионе было зарегистрировано 62 землетрясения с магнитудой $M_w \geq 6.0$ на глубинах $h \geq 250$ км. Однако очень сильных с магнитудой $M_w \geq 7.0$ на глубинах больше 500 км насчитывается совсем немного: восемь землетрясений с эпицентрами в Охотском море (25.05.1907 г. с $M_w=7.7$, $h=550$ км; 28.02.1950 г. с $M_w=7.7$, $h=329$ км; 30.08.1970 г. с $M_w=7.3$, $h=648$ км; 17.11.2002 г. с $M_w=7.3$, $h=459$ км; 05.07.2008 г. с $M_w=7.7$, $h=633$ км; 24.11.2008 г. с $M_w=7.3$, $h=492$ км; 14.08.2012 г. с $M_w=7.7$, $h=583$ км; 24.05.2013 г. с $M_w=8.3$, $h=598$ км), четыре землетрясения в Японском море (13.11.1932 г. с $M_w=7.1$, $h=320$ км; 21.04.1939 г. с $M_w=7.0$, $h=530$ км; 12.05.1990 г. с $M_w=7.2$, $h=606$ км; 21.07.1994 г. с $M_w=7.3$, $h=471$ км) и еще два события в Приморье (08.04.1999 г. с $M_w=7.1$, $h=566$ км; 28.06.2002 г. с $M_w=7.3$, $h=566$ км).

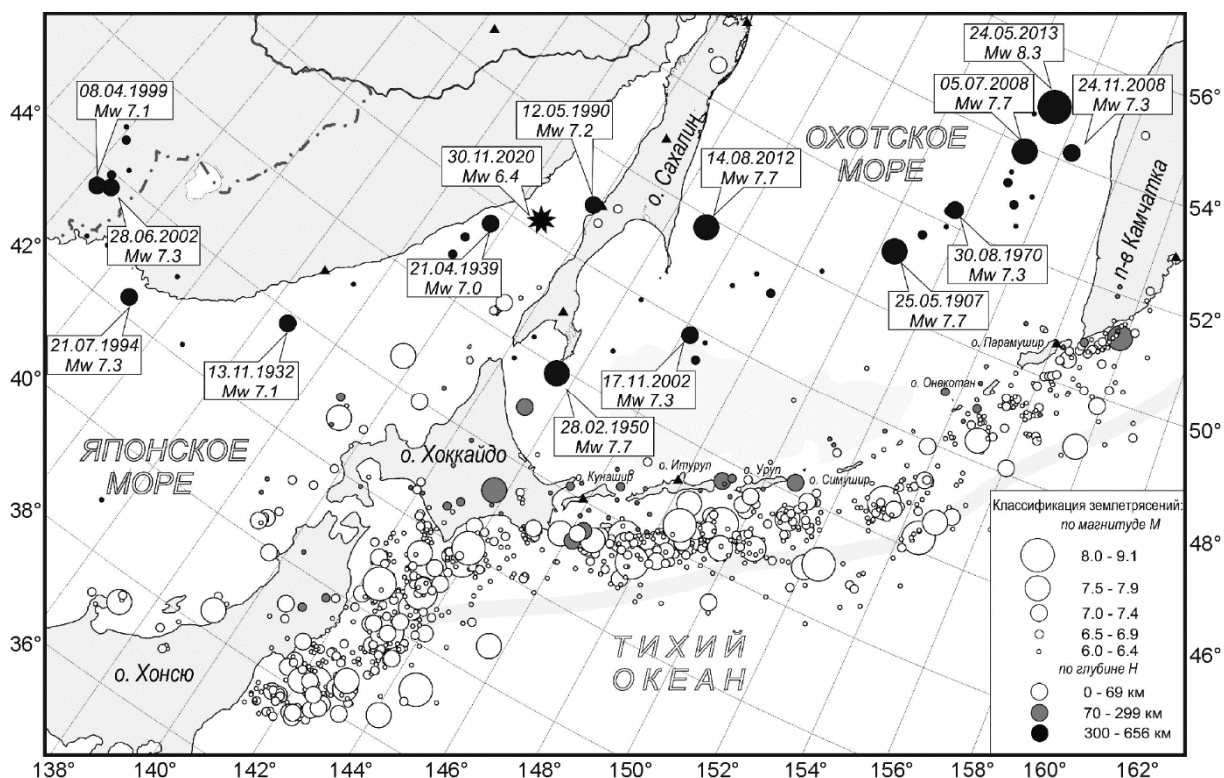


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений с магнитудой $M_w \geq 6.0$ (по данным USGS)

Для сильных глубоководных землетрясений с $M_w \geq 7.0$ и землетрясения 30 ноября 2020 г. с $M_w=6.4$ в Татарском проливе указаны даты и магнитуды.

Распределение землетрясений с магнитудами с $M \geq 4.0$ по глубине за период наблюдений 1904–2020 гг. по данным USGS показано на рис. 8. Максимальное число сильных землетрясений зарегистрировано на глубинах до 75 км. Начиная с глубины 150 км количество сильных землетрясений с магнитудами $M_w \geq 7.0$ заметно уменьшается, и в интервале глубин 475–600 км появляется два локальных максимума.

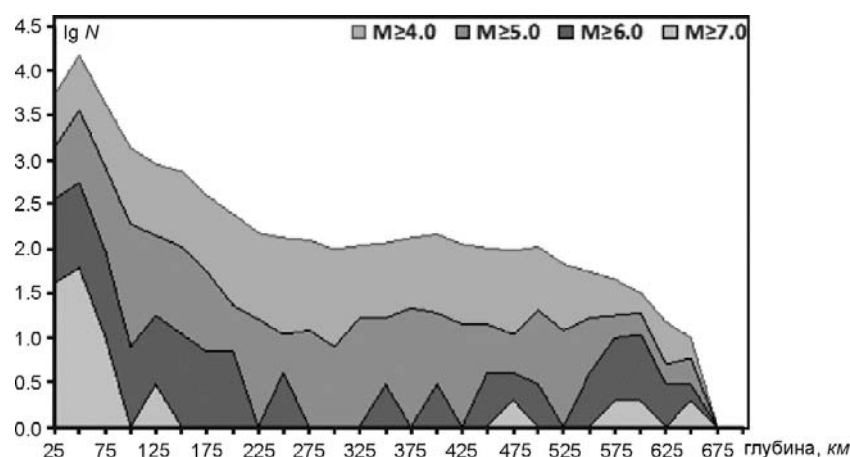


Рис. 8. Диаграмма распределения землетрясений с эпицентрами в северо-западной части Тихого океана (<https://earthquake.usgs.gov>) по глубине и магнитуде

Одна из известных физических моделей глубокофокусных землетрясений основывается на предположении, что изменения, наблюдаемые в сейсмической активности – спад на глубине около 400 км и полное ее прекращение ниже границы 650–670 км, – могут иметь связь с глубинами фазовых превращений [24, 25]. Вследствие сдвиговых напряжений может происходить фазовое изменение вещества в слое, параллельном напряжениям, где из-за резкого изменения кристаллической структуры прочность породы уменьшается, и в ней может произойти проскальзывание. Согласно гипотезе Керби, такие преждевременные фазовые изменения вызывают напряжения и в породах погружающегося в процессе субдукции блока. Эта гипотеза не противоречит тому факту, что глубокие землетрясения возникают в широком интервале глубин ниже 400-километровой границы, и объясняет исчезновение землетрясений глубже 650 (670) км – все известные переходы в мантии происходят до этой глубины.

Заключение. 30 ноября 2020 г. в 22^h54^m UTC в Татарском проливе на глубине 600 км произошло землетрясение с магнитудой $M_w=6.4$. Сейсмическое событие было зарегистрировано сейсмическими станциями международных агентств и региональных сейсмологических центров. Глубина очага землетрясения, по оценкам сейсмологических центров, находится в пределах от 585 км (EMSC) до 619 км (JMA). Подвижка в очаге землетрясения 30 ноября 2020 г. произошла под действием близгоризонтальных растягивающих напряжений, ориентированных на юго-восток, тип сейсмодислокации – сброс со сдвиговой компонентой.

Для наблюдения за макросейсмическим эффектом от сильного глубокофокусного землетрясения 30 ноября 2020 г. были использованы инструментальные данные сейсмических станций Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН и университета Хоккайдо. Инструментальные оценки интенсивности сотрясений были определены по пиковым значениям ускорения и скорости цифровых записей сейсмических станций. Наиболее интенсивно землетрясение проявилось в южной части о. Сахалин, что было подтверждено данными макросейсмического опроса среди населения. На Курильских островах, центральной и северной частях Сахалина, а также в Приамурье данные о силе сотрясений получены инструментальным путем. Полученные авторами данной статьи значения интенсивности сотрясений по данным сейсмических станций университета Хоккайдо показали хорошую согласованность с данными Японского метеорологического агентства.

Макросейсмические проявления глубокофокусных землетрясений вдоль тихоокеанского побережья северной Японии объясняются субдукцией Тихоокеанской плиты, которая действует как эффективный волновод для высокочастотных сигналов [19].

В Сахалинском филиале изучение глубокофокусных землетрясений в Охотском и Японском морях носит пока эпизодический характер и находится на этапе сбора и описания отдельно взятых землетрясений. Уникальность макросейсмических проявлений от глубокофокусного землетрясения в Татарском проливе обусловила необходимость углубленного анализа волновых форм.

По спектрограмме, полученной с использованием программы SpectrumSeism для волновых форм на записи сейсмической станций «Южно-Сахалинск», были изучены спектральные характеристики сильного глубокофокусного землетрясения 30 ноября 2020 года. Обнаружено, что

спектры S -волн для горизонтальных каналов имеют более низкочастотный состав (0.2–0.6 Гц) и более высокие значения амплитуд гармоник. Основная доля гармоник, составляющих сейсмический сигнал P -волн, лежит в диапазоне до 1 Гц.

Исследование выполнено в рамках государственного финансирования Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № 075-00682-24) 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/>).

Л и т е р а т у р а

1. Search Earthquake Catalog. (2024) // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70007pa9/executive>
2. Japan Meteorological Agency. (2024). [Site]. – URL: <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
3. Сафонов Д.А., Фокина Т.А., Костылев Д.В. Сейсмичность Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2020 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 148–161. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.13> EDN: GWQRAP
4. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2020. (2024) // ФИЦ ЕГС РАН [Сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2020/
5. European Mediterranean Seismological Centre. (2024). [Site]. – URL: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake>
6. Helmholtz Centre Potsdam. (2024). [Site]. – URL: <https://geofon.gfz-potsdam.de>
7. International Seismological Centre. (2024). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1963. – 670 с.
9. Snok J.A., Munsey J.W., Teague A.C., Bollinger G.A. A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data // Earthquake Notes. – 1984. – V. 55, N 3. – P. 15.
10. Ottemöller L., Voss P., Havskov J. SEISAN earthquake analysis software: for Windows, Solaris, Linux and MacOSx. (2011). [Site]. – URL: <https://www.uib.no/rg/geodyn/artikler/2010/02/software>
11. Сафонов Д.А. Каталог механизмов очагов землетрясений Сахалина за 2020 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-27.html>
12. Лукаш Н.А. Дополнение к каталогу механизмов очагов землетрясений Сахалина по данным ISC за 2020 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-27.html>
13. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2024). [Site]. – URL: <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
14. 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.
15. 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.
16. Дроздин Д.В., Чебров Д.В., Дроздина С.Я., Ототюк Д.А. Автоматизированная оценка интенсивности сейсмических сотрясений по инструментальным данным в режиме квазиреального времени и ее использование в рамках Службы срочных сейсмических донесений на Камчатке // Сейсмические приборы. – 2017. – Т. 53, № 3. – С. 5–19. DOI: <https://doi.org/10.21455/si2017.3-1>
17. Урбан Н.А., Поплавская Л.Н., Оскорбин Л.С., Воробьева Е.А., Бурымская Р.Н., Полякова Т.А., Рудик М.И. Землетрясение 12 мая 1990 года (о. Сахалин) / (препринт). – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО АН СССР, 1991. – 26 с.
18. Семенова Е.П., Сафонов Д.А., Фокина Т.А. Глубокофокусное землетрясение 14 августа 2012 г. с $M_w=7.7$, $I_0=4$ (Охотское море) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 377–386.
19. Furumura T., Kennett B.L.N. Subduction zone guided waves and the heterogeneity structure of the subducted plate: Intensity anomalies in northern Japan // Journal of Geophysical Research. – 2005. – V. 110, N B10302. DOI: <https://doi.org/10.1029/2004JB003486>

20. Лисейкин А.В., Селезнев В.С. Важнейшие результаты научной деятельности Сейсмологического филиала ФИЦ ЕГС РАН в 2016–2020 гг. (сейсмические исследования) // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 1. – С. 54–74. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.04>
21. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Севостьянов Д.Б., Брыксин А.А. SpectrumSeism / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666241 от 11.10.2021 г. EDN: JKKTEX
22. Чеброва А.Ю., Чебров В.Н., Гусев А.А., Ландер А.В., Гусева Е.М., Митюшкина С.В., Раевская А.А. Воздействие Охотоморского землетрясения 24 мая 2013 г. ($M_w=8.3$) на территории Камчатки и мира // Вулканология и сейсмология. – 2015. – № 4. – С. 3–22.
23. Семенова Е.П., Коргун Н.В., Кускова Н.А., Григорьева О.О., Скибина Ю.А., Гарькина Д.А. Сейсмологический бюллетень сейсмической станции «Южно-Сахалинск». – Фонды СФ ФИЦ ЕГС РАН, 2020.
24. Bridgman P. W. Volume change in the plastic stages of simple compression. // Journal of Applied Physics. – 1949. – V. 20, N 12. – P. 1241–1251.
25. Kirby S.H., Durham W.B., Stein L.A. Mantle phase changes and deep earthquake faulting in subducting lithosphere // Science – 1991. – V. 252 – P. 216–225.

**DEEP FOCUS EARTHQUAKE on NOVEMBER 30, 2020 in the TATAR STRAIT,
 $M_w=6.4$ (SAKHALIN ISLAND)**

E.P. Semenova¹, D.V. Kostylev^{1,2}, N.V. Kostyleva²

¹*Sakhalin Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia,
semenova@seismo.sakhalin.ru*

²*Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia*

Abstract. On November 30, 2020, at 22^h54^m UTC, an earthquake with a magnitude $M_w=6.4$ occurred in the Tatar Strait at a depth of 600 km. The earthquake was felt in the vast territory of the Russian Far East and on the islands of the Japanese ridge. The seismic event was recorded by seismic stations of international agencies and regional seismological centers. The article presents the results of a detailed study of the earthquake waveforms at the Yuzhno-Sakhalinsk station, analyzes spectral characteristics of P- and S-waves using methods aimed at studying continuous seismic signals. For the first time in the practice of the Sakhalin Branch GS RAS, an analysis of the macroseismic manifestation of the earthquake on November 30, 2020 was carried out together with intensities calculated from instrumental data.

Keywords: seismic events, macroseismic manifestations, intensity, earthquake focal mechanism.

For citation: Semenova, E.P., Kostylev, D.V., & Kostyleva, N.V. (2024). [Deep focus earthquake on November 30, 2020 in the Tatar Strait, $M_w=6.4$ (Sakhalin Island)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 323–334. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.29> EDN: VHNXIF

R e f e r e n c e s

1. USGS. (2024). Search Earthquake Catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70007pa9/executive>
2. Japan Meteorological Agency. (2024). Retrieved from <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
3. Safonov, D.A., Fokina, T.A., & Kostylev, D.V. (2024). [Seismicity of the Amur and Primorye, Sakhalin and the Kuril-Okhotsk region in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 148–161. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.13> EDN: GWQRAP
4. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2020. (2024). Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2020/
5. European Mediterranean Seismological Centre. (2024). Retrieved from <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/>
6. Helmholtz Centre Potsdam. (2024). Retrieved from <https://geofon.gfz-potsdam.de/>
7. International Seismological Centre. (2024). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
8. Richter, Ch.F. (1963). *Elementarnaya seismologiya* [Elementary Seismology]. Moscow, Russia: Inostrannoi literaturny Publ., 670 p. (In Russ.).
9. Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.C., & Bollinger, G.A. (1984). A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data. *Earthquake Notes*, 55(3), 15 p.

10. Ottemöller, L., Voss, P., & Havskov, J. (2011). SEISAN earthquake analysis software: for Windows, Solaris, Linux and MacOSx. Retrieved from <https://www.uib.no/rg/geodyn/artikler/2010/02/software>
11. Safonov, D.A. (2024). [Catalog of focal mechanisms of Sakhalin earthquakes for 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsr.ru/zse/app-27.html>
12. Lukash, N.A. (2020). [Addition to the catalog of Sakhalin earthquake focal mechanisms according to ISC data for 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsr.ru/zse/app-27.html>
13. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2024). Retrieved from <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
14. 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.).
15. Aptikaev, F.F., Erteleva, O.O., Berzhinskij, Yu.A., Klyachko, M.A., Shestoperov, 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.).
16. Droznin, D.V., Chebrov, D.V., Droznina, S.Y., & Ototyuk, D.A. (2017). Automated estimation of instrumental seismic intensity in soft real time and use it within the service of urgent seismic reports in Kamchatka. *Seismicheskie Pribory* [Seismic Instruments], 53(3), 5–19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21455/si2017.3-1>
17. Urban, N.A., Poplavskaya, L.N., Oskorbin, L.S., Vorob'eva, E.A., Burymskaya, R.N., Polyakova, T.A., & Rudik, M.I. (1991). *Zemletryasenie 12 maya 1990 goda (ostrov Sahalin) (preprint)* [Earthquake of May 12, 1990 (Sakhalin Island) (preprint)]. Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMGIG FEB AS USSR, Publ., 26 p. (In Russ.).
18. Semenova, E.P., Safonov, D.A., & Fokina, T.A. (2018). [Deep-focus earthquake on August 14, 2012 with $M_w=7.7$, $I_0=4$ (Sea of Okhotsk)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 21(2012), 377–386. (In Russ.).
19. Furumura, T., & Kennett, B.L.N. (2005). Subduction zone guided waves and the heterogeneity structure of the subducted plate: Intensity anomalies in northern Japan. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 110(B10302). DOI: <https://doi.org/10.1029/2004JB003486>
20. Liseikin, A.V., & Seleznev, V.S. (2021). [Most important results of the scientific activity of the Seismological Division GS RAS in 2016–2020 (seismic research)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(1), 54–74. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/26867907.2021.1.04>
21. Seleznev, V.S., Liseikin, A.V., Sevost'yanov, D.B., & Bryksin, A.A. (2021). [SpectrumSeism]. Certificate of state registration of a computer program No. 2021666241. (In Russ.). EDN: JKKTEX
22. Chebrova, A.Y., Chebrov, V.N., Gusev, A.A., Lander, A.V., Guseva, E.M., Mityushkina, S.V., & Raevskaya, A.A. (2015). The impacts of the MW 8.3 Sea of Okhotsk earthquake of May 24, 2013 in Kamchatka and worldwide. *Journal of Volcanology and Seismology*, 9, 223–241.
23. Semenova, E.P., Korgun, N.V., Kuskova, N.A., Grigor'eva, O.O., Skibina, Ju.A., & Gar'kina, D.A. (2020). [Seismological bulletin of the seismic station "Yuzhno-Sakhalinsk"]. In *Fondy SF GS RAN* [Fund of SF GS RAS]. Yuzhno-Sakhalinsk, Russia. (In Russ.).
24. Bridgman, P.W. (1949). Volume Changes in the Plastic Stages of Simple Compression. *Journal of Applied Physics*, 20(12), 1241–1251.
25. Kirby, S.H., Durham, W.B., & Stein, L.A. (1991). Mantle phase changes and deep-earthquake faulting in subducting lithosphere. *Science*, 252(5003), 216–225.