

УДК 550.34

ШИПУНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 17.08.2024 г., $M_W = 7.0$, У ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ

© 2025 г. Д. В. Чебров^{а, *}, Е. А. Матвеев^{а, **}, И. Р. Абубакиров^а,
С. Я. Дроздина^а, А. В. Ландер^{б, ***}, С. В. Митюшкина^а, В. М. Павлов^а,
А. А. Раевская^а, В. А. Салтыков^а, С. Л. Сениуков^а, Н. Н. Титков^а

^аКамчатский филиал Федерального исследовательского центра
“Единая геофизическая служба РАН”,

бульвар Пийпа, 9, Петропавловск-Камчатский, 683023 Россия

^бИнститут теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН,
ул. Профсоюзная, 84/32, Москва, 117997 Россия

*e-mail: danila@emsd.ru

**e-mail: van@emsd.ru

***e-mail: land@mitp.ru

Поступила в редакцию 24.10.2024 г.

После доработки 23.01.2025 г.

Принята к публикации 18.02.2025 г.

В статье представлены инструментальные параметры и макросейсмические данные по Шипунскому землетрясению 17 августа 2024 г., $M_L = 7.0$, $M_W = 7.0$. Обсуждается его тектоническая позиция и особенности афтершокового процесса, оцененные по итогам первого месяца наблюдений после основного события. Представлены механизмы и параметры очагов Шипунского землетрясения и его сильнейших афтершоков, полученные по оригинальной методике расчета тензоров сейсмического момента, разработанной в КФ ФИЦ ЕГС РАН. Направление подвижек и ориентация плоскостей разрыва в очагах этих событий позволяют отнести их возникновение к процессу субдукции Тихоокеанской плиты под Охотскую, на которой находится Камчатка. Шипунское землетрясение не вызвало жертв и разрушений. Его максимальное макросейсмическое проявление наблюдалось на мысе Шипунском – 6 баллов по шкале ШСИ-17 (ГОСТ Р 57546–2017); в г. Петропавловск-Камчатский интенсивность сотрясений составила 5–6 баллов. Тревога цунами не объявлялась, волны цунами зафиксированы не были.

Ключевые слова: Камчатка, землетрясение, афтершоки, механизм очага, макросейсмика, пиковые амплитуды

DOI: 10.31857/S0203030625030057, **EDN:** PZHDUK

ВВЕДЕНИЕ

17 августа 2024 г. в 19 ч 10 мин по Гринвичу (18 августа в 07 ч 10 мин по камчатскому времени) произошло землетрясение с магнитудой $M_L^1 = 7.0$, $M_W = 7.0$ (КФ ФИЦ ЕГС РАН) с эпицентром (52.8° с.ш., 160.4° в.д., глубина 43 км)² в акватории Тихого оке-

ана в ~120 км восточнее г. Петропавловск-Камчатский (рис. 1). Это землетрясение стало одним из 20 сильнейших ($M_W \geq 7.0$) мелкофокусных ($0 \leq h \leq 70$ км) событий, зарегистрированных в Камчатской сейсмофокальной зоне³ [Левина и др., 2013] за инструментальный период наблюдений с начала XX века [Гусев, Шумилина, 2004] и каталогу GCMT (Global Centroid Moment Tensor) [Dziewonski et al., 1981; Ekström et al., 2012].

¹ Локальная магнитуда $M_L = 0.5 \cdot K_S - 0.75$ [Чубарова и др., 2010], где K_S – энергетический класс [Федотов, 1972].

² По данным регионального каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов <http://www.emsd.ru/sdis/earthquake/catalogue/catalogue.php>

³ Данные приведены для Камчатской сейсмофокальной зоны севернее 50° с.ш. [Гусев, Шумилина, 2004].

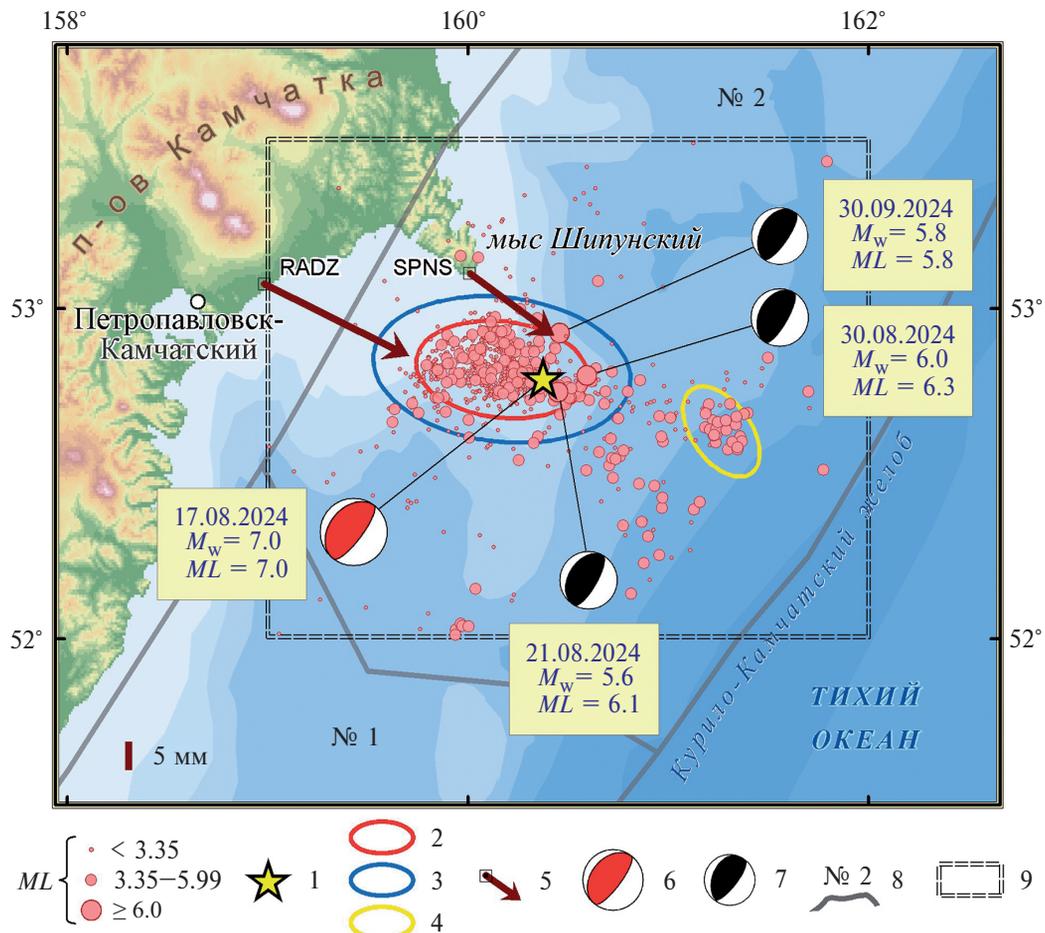


Рис. 1. Карта расположения эпицентра, афтершоков и очаговой области Шипунского землетрясения (ШЗ) за период с 17.08–17.09.2024 г. с момента главного толчка по данным Каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов. <http://www.emsd.ru/sdis/earthquake/catalogue/catalogue.php>
 1 – эпицентр ШЗ; 2, 3 – предполагаемые границы очага и афтершоковой области ШЗ; 4 – граница обособленного восточного кластера; 5 – векторы косейсмической подвижки GNSS-пунктов (масштаб указан в левом нижнем углу карты); 6, 7 – диаграммы механизмов очагов ШЗ и его сильнейших афтершоков в равноплоскостной проекции нижней полусферы; 8 – границы и номера зон сейсмичности по А.В. Ландеру [Левина и др., 2013; Чебров и др., 2015]; 9 – граница района, для которого получена оценка представительности каталога ($M^C = 3.35$); M_L – эпицентры афтершоков; размер кружка соответствует локальной магнитуде землетрясения. Дополнительно нанесены эпицентр и диаграмма механизма очага третьего сильнейшего афтершока, зарегистрированного 30.09.2024 г., M_L 6.2, M_w 5.8.

По оценкам, выполненным по регламентам Службы срочных донесений и Службы предупреждения о цунами⁴, магнитуда землетрясения 17 августа 2024 г. была определена ниже порога цунамигенности⁵ и составила $M_S = 6.4$, $M_{S20} = 6.9$, тревога цунами не объявлялась. По данным Центра Цунами Камчатского Управления гидрометеослужбы на

побережье п-ова Камчатка и прилегающих территориях волны цунами не наблюдались. Жертв и разрушений землетрясение не вызвало. Максимальная интенсивность⁷ сотрясений, 6 баллов, была зафиксирована в ближайшем к эпицентру пункте мыс Шипунский. В г. Петропавловск-Камчатский интенсивность сотрясений составила 5–6 баллов.

⁴ Региональный информационно-обработывающий центр Камчатского филиала Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба Российской академии наук”.

⁵ $M_S = 7.0$ по записи станции “Петропавловск” (PET).

⁶ Региональная сетевая магнитуда по поверхностным волнам [Чубарова, Гусев, 2017].

Мощный афтершоковый процесс начался через 4 мин после основного толчка; к 1 октября 2024 г. в каталог было помещено 884 землетрясения

⁷ Здесь и далее интенсивность приводится по шкале ШСИ-17 [Землетрясения ..., 2017].

в диапазоне $1.5 \leq ML \leq 6.3$, локализованные в радиусе 50 км от эпицентра главного события. Более половины этих событий были зафиксированы в первые трое суток. Облако афтершоков вытянулось в субширотном направлении приблизительно вкост простираения северной части Камчатской сейсмофокальной зоны юго-восточнее мыса Шипунский (см. рис. 1). Землетрясение получило название “Шипунское” (ШЗ).

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ, МЕХАНИЗМЫ И ПАРАМЕТРЫ ОЧАГОВ ШИПУНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ЕГО АФТЕРШОКОВ

Гипоцентры ШЗ и его афтершоков располагаются в Камчатской сейсмофокальной зоне, порожденной субдукцией Тихоокеанской плиты под Охотскую плиту, на которой находится Камчатка (рис. 2). В районе землетрясения сейсмофокальная зона имеет двухъярусное строение. На рис. 2 видно, что очаговая область ШЗ располагается в главном верхнем ярусе зоны.

Субдукционная природа ШЗ подтверждается механизмами основного толчка и его сильнейших афтершоков.

Механизмы и параметры очагов ШЗ и его афтершоков с $ML \geq 5$ определялись в оперативном режиме по методике [Абубакиров, Павлов, 2021; Павлов, 2017] путем нелинейной инверсии волновых форм на региональных ($\Delta \leq 20^\circ$) широкополосных сейсмических станциях в тензор сейсмического момента (ТСМ). В процессе инверсии одновременно с ТСМ оценивались глубина h_c эквивалентного точечного источника и длительность τ его временной функции. Расчет ТСМ проводился для моделей двойной диполь без момента (DC, Double Couple) и тензор с нулевым следом (NT, Null Trace). По ТСМ рассчитывались фокальный механизм очага и скалярный сейсмический момент M_0 . Значения моментной магнитуды пересчитывались из M_0 по формуле $M_w = 2/3(\lg(M_0[\text{Н}\cdot\text{м}]) - 9.1)$ [Kanamori, 1977].

В табл. 1 приведены DC- и NT-решения для основного толчка, полученные КФ ФИЦ ЕГС

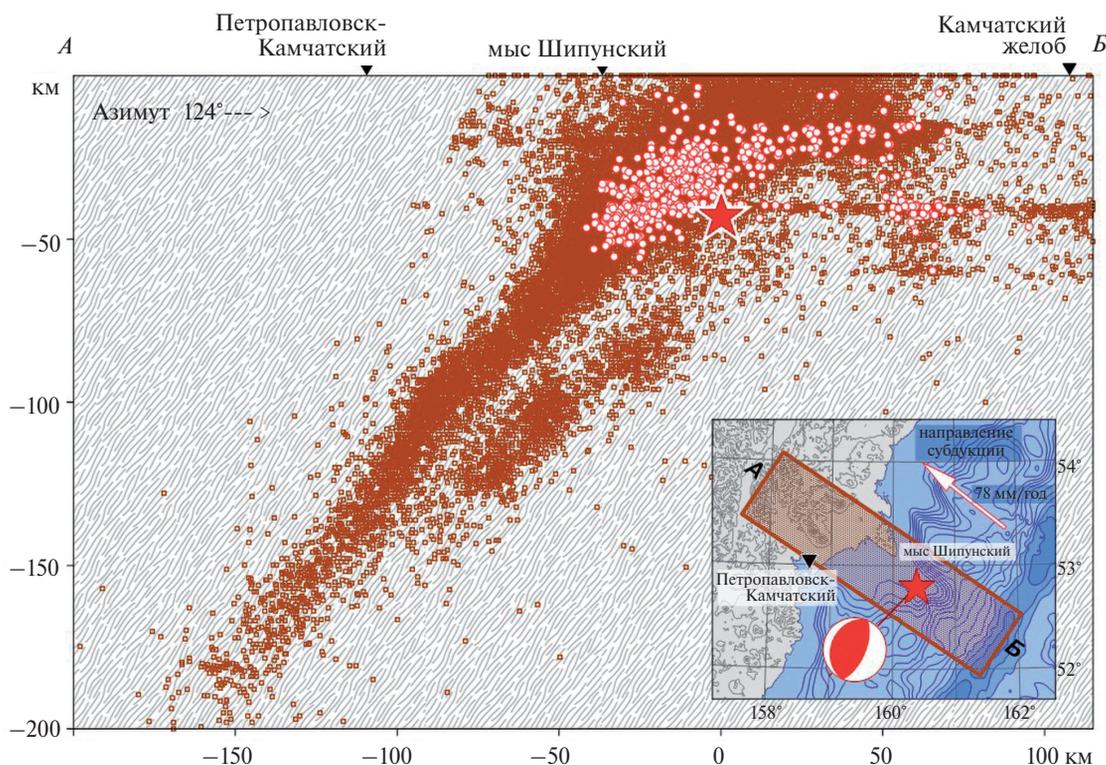


Рис. 2. Вертикальный разрез Камчатской сейсмофокальной зоны до глубины 200 км за период с 1 января 1962 г. по 16 августа 2024 г. (коричневые кружки) и положение в ней предполагаемого облака афтершоков ШЗ за период с 17 августа по 17 сентября 2024 г. (красные кружки) по данным Каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов.

На врезке: прямоугольником показана область, землетрясения которой включены в разрез. Звезда и тензорная диаграмма – гипоцентр и механизм главного толчка Шипунского землетрясения.

Таблица 1. Сводка определенных механизмов и параметров очага Шипунского землетрясения 17 августа 2024 г., $M_w = 7.0$

№	Агентство, метод	Главные оси и главные значения (в ед. 10^{19} Нм)						Механизм очага						M_0 , 10^{19} Нм	h , км	τ , с	η , %	Диаграмма тензора		
		T		N		P		NPI	DI	NP2	D2									
		azm°	pl°	E_N	azm°	pl°	E_P					azm°	pl°						stk°	dip°
1	KAGSR, RSMT (DC)	3.85	305	71	0	38	1	-3.85	128	19	219	26	92	37	64	89	45	8	0	
2	KAGSR, RSMT (NT)	3.76	305	71	0.27	37	1	-4.00	128	19	219	26	92	37	64	89	45	8	10	
3	GCMТ (NT)	4.30	308	72	-0.11	217	0	-4.18	127	18	216	27	89	37	63	91	46	8	-4	
4	NEIC, WP (NT)	4.17	319	70	0.06	220	3	-4.23	129	20	213	25	82	42	65	94	61	9	2	
5	NEIC, CMT (NT)	4.31	323	77	-0.39	215	4	-3.91	124	12	209	33	83	38	57	95	46	9	-14	
6	NEIC, BW (NT)	4.68	307	75	-0.29	43	2	-4.39	133	15	226	30	93	42	60	88	40	-	-10	

Примечание. DC – модель двойного диполя без момента; NT – модель симметричного тензора с нулевым следом; E_T, E_N, E_P – главные значения тензора; h – глубина эквивалентного точечного источника; τ – длительность временной функции источника; η – коэффициент Лодэ-Надаи: $\eta = (2E_N - E_T - E_P) / (E_T - E_P) \times 100\%$. WP – W-фаза; CMT – Centroid Moment Tensor; BW – оценка по объемным волнам; M_w – моментная магнитуда; M_0 – скалярный сейсмический момент; azm°, pl° – углы, задающие ориентацию главных осей T, N, P; $stk^\circ, dip^\circ, slip^\circ$ – углы, задающие ориентацию механизма. В крайнем правом столбце приведены соответствующие диаграммы тензора сейсмического момента в равноплоской проекции нижней полусферы.

РАН и сейсмологическими агентствами GCMT и NEIC⁸; все определения хорошо согласуются между собой. NT-решения для этих событий характеризуются значениями коэффициента Лодэ-Надаи [Юнга, 1979] в диапазоне от -14% до 10% . Это означает, что недипольная составляющая ТСМ мала, и модель DC является хорошим приближением.

В табл. 2 приведены DC- и NT-решения для трех сильнейших афтершоков, полученные КФ ФИЦ ЕГС РАН: 21 августа ($ML = 6.1$, $M_W = 5.6$), 30 августа ($ML = 6.3$, $M_W = 5.9$) и 30 сентября 2024 г. ($ML = 6.2$, $M_W = 5.8$). NT-решения для этих событий имеют значения коэффициента Лодэ-Надаи в диапазоне от -2% до -1% , т.е. очень близки к модели DC. Диаграммы механизмов основного толчка и афтершоков демонстрируют взбросовые подвижки в условиях субгоризонтального сжатия в направлении СЗ–ЮВ в области контакта Охотской и погружающейся под нее Тихоокеанской плиты, согласующиеся с направлением движения последней относительно Камчатки. Полученные оценки плоскостей разрыва в очагах этих событий соответствуют общему простиранию и падению зоны субдукции. На рис. 1 представлены диаграммы главного события и трех его сильнейших афтершоков для модели DC.

АФТЕРШОКОВЫЙ ПРОЦЕСС

На основании анализа каталога землетрясений с момента возникновения ШЗ по 17.09.2024 для района с координатами $\varphi = 52.0\text{--}53.5^\circ$ N, $\lambda = 159.7\text{--}162.0^\circ$ E (см. рис. 1) была получена оценка представительности $M^C = 3.35$ при статистической значимости $\alpha = 0.3$ [Салтыков, 2019] (рис. 3). По всем представительным данным выделена афтершоковая область ШЗ и построен околнующий ее эллипс, а также расположенный восточнее кластер (см. рис. 1), в котором группируются землетрясения (~ 30 событий с $M^C \geq 3.35$), зафиксированные 19.08.2024–30.08.2024 с сильнейшим событием 23.08.2024, $ML = 5.6$. Таким образом, события в пределах восточного кластера, предварительно включенные в афтершоковую последовательность ШЗ (см. рис. 2), могут являться

элементами самостоятельного процесса, не связанного непосредственно с очагом ШЗ.

Внутри эллипса, околнующего афтершоковую область ШЗ, содержится ~ 300 афтершоков, в том числе три наиболее сильных события ($6.1 \leq ML \leq 6.3$) афтершоковой последовательности (см. рис. 1). По параметрам эллипса получена формальная оценка размера очага ШЗ: длина (большая ось эллипса) – 58 км, ширина (меньшая ось) – 32 км.

По данным за первый месяц после главного события, афтершоковый процесс в целом шел с затуханием. Участок с 17.08.2024 19:21 ($t = 11$ мин) по 17.09.2024 17:09 ($t = 30$ сут) (между пунктирами на рис. 4) соответствует закону Омори с показателем $p = 0.81$ [Omori, 1984; Utsu, 1961].

СВОДКА МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ СВЕДЕНИЙ, ОЦЕНКА ПИКОВЫХ АМПЛИТУД КОЛЕБАНИЙ ГРУНТА И КОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Макросейсмические сведения представлены для 58 населенных пунктов, входящих в состав Камчатского края и Северо-Курильского района Сахалинской области (на о-вах Парамушир и Шумшу), включая маяки, кордоны, радионавигационные и гидрометеорологические станции. ШЗ произошло в воскресенье в 7 ч 10 мин по камчатскому времени, разбудило и сильно напугало людей. Жертв и разрушений не вызвало, с интенсивностью сотрясений от 2 до 6 баллов ощущалось в 49 пунктах на расстоянии от 43 до 441 км от эпицентра. Из различных источников обработано 366 сообщений, по которым составлена карта макросейсмического проявления землетрясения (рис. 5). Перечень населенных пунктов с указанием расстояния от эпицентра (км) и макросейсмической интенсивности в них приведен в табл. 3.

Самым сильным сотрясением, 6 баллов, подвергся ближайший к эпицентру пункт – мыс Шипунский (43 км). Сначала землетрясение проявилось нарастающим гулом, за которым последовало дрожание, быстро переходящее в очень сильную жесткую тряску. Спавшие люди проснулись. В помещениях все предметы пришли в движение: тряслась мебель, легкая мебель смещалась; открылись все шкафы, стали выпадать вещи; упали мелкие предметы

⁸ National Earthquake Information Center. URL: <https://www.usgs.gov/staff-profiles/national-earthquake-information-center-neic>

Таблица 2. Механизмы и параметры очагов трех сильнейших афтершоков Шипунского землетрясения, произошедших 21 августа 2024 г. ($M_L = 6.1$, $M_w = 5.6$), 30 августа 2024 г. ($M_L = 6.3$, $M_w = 5.9$), 30 сентября 2024 г. ($M_L = 6.2$, $M_w = 5.8$) по данным КФ ФИЦ ЕГС РАН

№	Дата и время (ч:м:с) землетрясения M_L	Агентство, метод	M_0 НМ	Главные значения, нормированные на величину M_0 , и главные оси												Механизм						h_c км	τ , с	η , %	Диаграмма тензора
				T			N			P			NPI	DI	NP2	D2									
				E_T/M_0	azm°	pl°	E_N/M_0	azm°	pl°	E_P/M_0	azm°	pl°					stk°	dip°	$slip^\circ$	stk°	dip°				
1	21.08.2024 23:30:33 M_L 6.1	KAGSR, RSMT, DC	2.77e+017	1.00	301	71	-0.00	35	1	-1.00	125	19	218	26	93	34	64	88	40	0	0				
2	M_L 6.1	KAGSR, RSMT, NT	2.78e+017	1.01	301	71	-0.01	35	1	-0.99	125	19	218	26	93	34	64	89	40	0	-2				
3	30.08.2024 04:24:21 M_L 6.3	KAGSR, RSMT, DC	1.07e+018	1.00	296	73	0.00	34	3	-1.00	125	17	219	28	96	33	62	87	40	2	0				
4	M_L 6.3	KAGSR, RSMT, NT	1.08e+018	1.01	294	73	-0.01	34	3	-0.99	125	16	220	29	96	32	61	86	40	2	-2				
5	30.09.2024 12:21:57 M_L 6.2	KAGSR, RSMT, DC	6.08e+017	1.00	311	71	-0.00	213	3	-1.00	122	19	207	26	83	34	64	93	35	0	0				
6	M_L 6.2	KAGSR, RSMT, NT	6.17e+017	1.00	312	71	-0.00	212	3	-1.00	121	19	206	26	83	34	64	94	35	0	-1				

Примечание. Обозначения аналогичны приведенным в табл. 1.

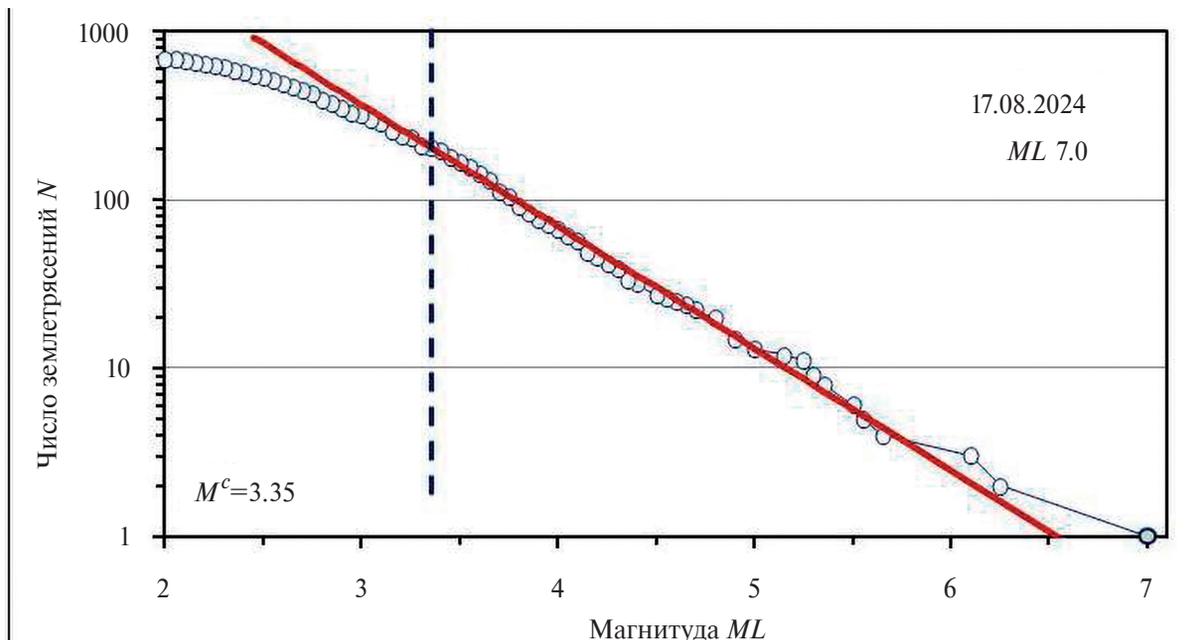


Рис. 3. Кумулятивный график повторяемости афтершоков ШЗ за 17.08–17.09.2024. Сплошной красной линией показана аппроксимация линейного участка, соответствующего закону Гутенберга-Рихтера. Вертикальная штриховая линия отмечает уровень представительности каталога $M^c = 3.35$.

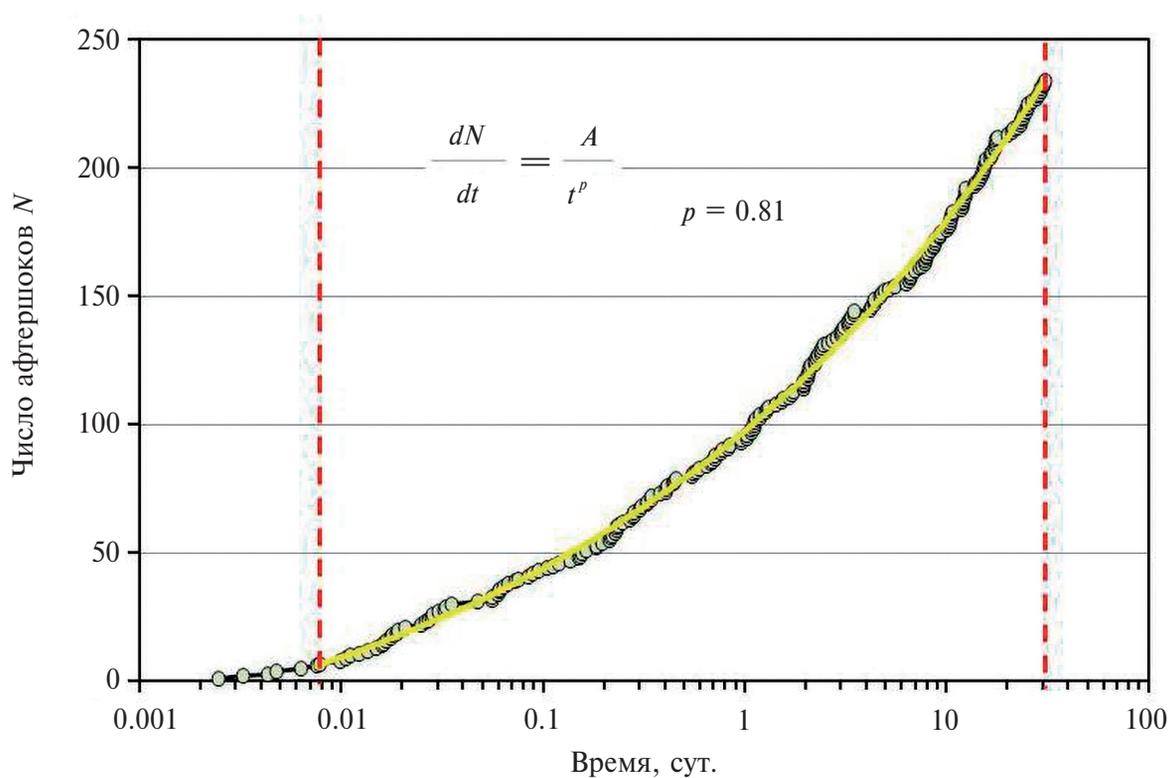


Рис. 4. Кумулятивный график числа афтершоков за 17.08–17.09.2024. Время отсчитывается от ШЗ. Сплошной желтой линией показана аппроксимация в соответствии с законом Омори. Пунктиры ограничивают выделенный интервал, соответствующий закону Омори.

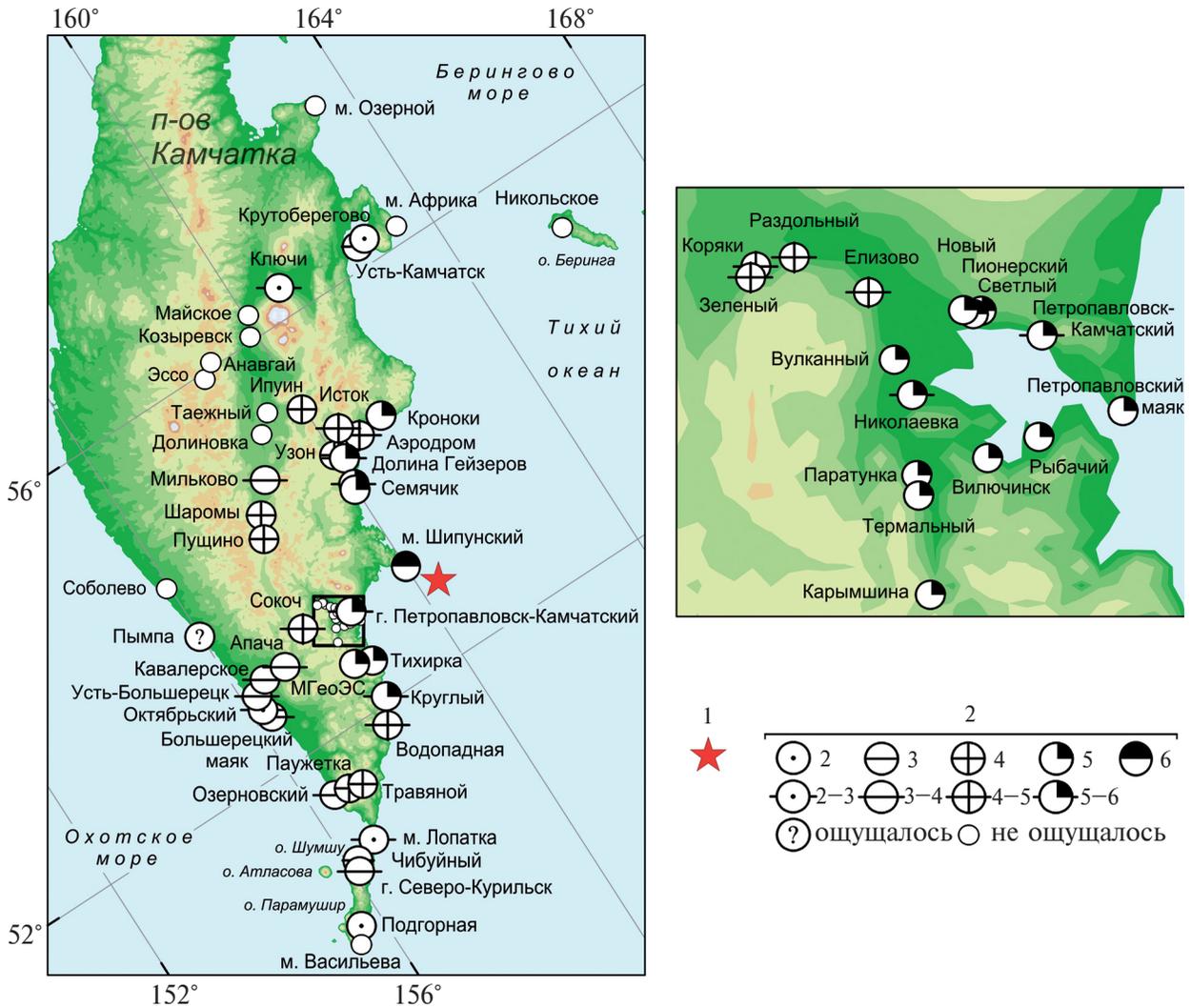


Рис. 5. Карта макросейсмического проявления Шипунского землетрясения $M_w = 7.0$ на п-ове Камчатка и о-вах Парамушир, Шумшу и Беринга. 1 – эпицентр ШЗ; 2 – макросейсмическая интенсивность, баллы.

с полок, выплеснулась вода из наполненных чашек, сильно раскачивались подвесные люстры и лампы. Домашний кот в испуге спрятался под кровать. От сильного сотрясения здания или от воздействия колебаний на вестибулярный аппарат людям тяжело было передвигаться без опоры, чтобы покинуть здание. На улице было шумно, ногами еще ощущалась сильная, постепенно затухающая тряска. С расположенного рядом высокого склона летели камни. По углам стен мелкоблочного двухэтажного многоквартирного здания с уличной стороны местами осыпалась штукатурка.

Сотрясения 5–6 баллов наблюдались в пяти населенных пунктах Камчатского края (см. табл. 3), включая г. Петропавловск-Камчатский. Пункты

расположены на восточном побережье полуострова (см. рис. 5) на протяжении ~290 км вдоль береговой линии – от маяка Круглый на юге до кордона Долина Гейзеров на севере.

В г. Петропавловск-Камчатский (119 км) сильная жесткая тряска ощущалась жителями во всех зданиях и на улице. Здания сотрясались в целом, был слышен скрежет стен и перекрытий. Люди в испуге вставали в безопасное место, покидали здания; некоторые жители ощущали головокружение, потерю равновесия, слышали подземный гул. На первых этажах зашевелилась мебель, бытовая техника (открылась дверь холодильника); наблюдалось смещение или падение отдельных небольших, неустойчивых и легких предметов; от грохота

Таблица 3. Сводка оценок макросейсмической интенсивности

Балл	Название пункта (эпицентрального расстояния, км)
6	мыс Шипунский (43 км)
5–6	г. Петропавловск-Камчатский (119 км), с. Николаевка (140 км), кордон Семячик (149 км), маяк Круглый (161 км), кордон Долина Гейзеров (184 км)
5	маяк Петропавловский (112 км), пос. Рыбачий (125 км), пос. Светлый (126 км), пос. Пионерский (127 км), пос. Новый (128 км), бухта Тихирка (133 км), г. Вилучинск (133 км), пос. Вулканный (140 км), с. Паратунка (144 км), пос. Термальный (145 км), ГМС Семячик (146 км), МГеоЭС-1 (149 км), Карымшина (стационар КФ ГС) (151 км), кордон Кроноки (207 км)
от 4 до 5	г. Елизово (140 км)
4–5	пос. Раздольный (149 км), с. Коряки (155 км), пос. Зеленый (156 км), пос. Сокоч (184 км), ГМС Водопадная (191 км), кордон Аэродром (196 км), кордон Исток (214 км)
4	кордон Узон (192 км), с. Пушино (220 км), с. Шаромы (229 км), кордон Ипуин (260 км), кордон Травяной (274 км), пос. Паужетка (284 км)
3–4	с. Апача (224 км), с. Мильково (241 км), с. Кавалерское (256 км), пос. Усть-Большерецк (275 км), маяк Большерецкий (275 км), пос. Озерновский (301 км), г. Северо-Курильск (376 км)
3	маяк Чибуйный (365 км), пос. Усть-Камчатск (408 км)
2–3	пос. Октябрьский (279 км), мыс Лопатка (332 км), пос. Ключи (393 км)
2	с. Крутоберегово (413 км), РНС Подгорная (441 км)
?*	пос. Пымта (309 км)

Примечание. * Недостаточно данных для оценки интенсивности.

и тряски сильно беспокоились домашние животные. Этжами выше смещались отдельные тяжелые и малоподвижные предметы. На улице землетрясение ощущалось людьми в движении; у припаркованных машин срабатывала автосигнализация; сотрясались кусты и ветви деревьев; наблюдалось раскачивание отдельно стоящих столбов. При осмотре специальными комиссиями социально значимых объектов и помещений по обращению жителей города конструктивных нарушений в постройках и помещениях не зафиксировано (за исключением аварийных зданий); зафиксированы отдельные случаи появления трещин в штукатурке стен и перекрытий, в местах сопряжения стен и потолков, между блоками, между ригелями и стенами, перекрытиями, а также выкрошивания штукатурки в этих местах.

В селе Николаевка (140 км) на рыболовной базе Парамон в момент ШЗ находилось около 80 человек, ~7 сек был небольшой гул и дрожание, как будто рядом едет груженный самосвал. Потом резкий толчок, и как будто волны пошли по земле, но колебания на поверхности реки не были видны. Подвесной мост сильно шатало волновым движением. Заметно сотрясались кусты, деревья. Это длилось ~10 сек. Люди были сильно напуганы. В движущемся

по асфальтовой дороге легковом автомобиле водитель ощутил очень сильное плавное покачивание и потерю управления машиной; в испуге остановился, подумав, что пробил колеса, но выйдя из автомобиля, увидел, как асфальт пошел волной.

В пункте кордон Семячик (149 км) люди (три человека) проснулись от сильной жесткой тряске небольшого здания кордона из бруса; лампа сильно раскачивалась, в доме все гремело, через пару секунд здание сильно заскрипело, и люди в испуге выскочили на улицу. Около дома сильно плескалась вода в полупрозрачном герметичном большом кубическом баке на подставке, скрипели металлоконструкции радиовышки и опоры спутниковой антенны, раскачивались все провода, ветви деревьев, но землетрясение ногами в движении на улице уже не ощущалось. Позже при осмотре дома обнаружили, что треснуло оконное стекло.

В пункте маяк Круглый (161 км) ощущались сильные толчки, все “ходило ходуном”: здание (одноэтажное шлакоблочное в удовлетворительном состоянии) сотрясалось в целом; на стенах появились свежие трещины к уже существующим; с полок все попадало.

В пункте кордон Долина Гейзеров (184 км) было 17 человек; те, кто находился в зданиях

(три двухэтажных деревянных из бруса), выбежали на улицу. Был слышен гул, скрип домов, звон посуды и ее падение. Люди на улице слышали звук немалого объема осыпи от стенки селя 3 июня 2007 г.

Макросейсмическая картина ШЗ (см. рис. 5) типична для камчатских мелкофокусных землетрясений в зоне субдукции [Митюшкина и др., 2010] – максимальная интенсивность сотрясений 6 баллов зафиксирована в ближайшем к эпицентру пункте мыс Шипунский (43 км); макросейсмический эффект с расстоянием убывает быстрее вкост простирания сейсмофокальной зоны (см. табл. 3).

Сильнейшие афтершоки, произошедшие 21 августа 2024 г., $ML = 6.1$, $M_w = 5.6$ и 30 августа 2024 г., $ML = 6.3$, $M_w = 6.0$, ощущались с интенсивностью сотрясений 5–6 баллов на мысе Шипунском и 4 балла в г. Петропавловск-Камчатский. Афтершок 30 сентября 2024 г. с $ML = 6.2$, $M_w = 5.8$ ощущался с интенсивностью сотрясений 5 баллов на мысе Шипунский, 4 балла в г. Петропавловск-Камчатский.

Оценки параметров сильных движений грунта получены по записям цифровых акселерографов КФ ФИЦ ЕГС РАН, которыми система сейсмологических наблюдений на Камчатке была оснащена в 2008 г. [Чебров, 2009]. На четырех станциях было зарегистрировано ускорение грунта, превышающее $0.1g$. Максимальное значение ускорения наблюдалось на ближайшей от эпицентра станции SPN ($a \approx 3.1$ м/с², $\Delta = 43$ км), расположенной на мысе Шипунский. На трех других станциях – MSN ($\Delta = 120$ км), GK004 ($\Delta = 119$ км) и GK005 ($\Delta = 113$ км), находящихся на территории г. Петропавловск-Камчатский, значения пиковых ускорений a составили 1.9, 1.8 и 1.2 м/с² соответственно. С 2008 г. по настоящее время полученные значения пиковых амплитуд являются максимальными для станций, расположенных в районе г. Петропавловск-Камчатский. Исключением является станция MSN, для которой зарегистрировано пиковое ускорение 2.2 м/с² во время землетрясения, произошедшего 3 апреля 2023 г. с магнитудой $M_w = 6.6$.

Полученные значения превышают соотношение абсолютного уровня максимальной амплитуды и магнитуды с расстоянием для Камчатки [Gusev et al., 1997], но находятся в диапазоне

значений для средних и скальных грунтов для соответствующей моментной магнитуды в той же работе.

По данным сети непрерывных ГНСС (глобальные навигационные спутниковые системы) наблюдений КФ ФИЦ ЕГС РАН, максимальные косейсмические смещения зафиксированы на станции RADZ (21 мм, $\Delta = 98$ км) и на ближайшей к эпицентру станции SPNS (14 мм, $\Delta = 43$ км) в направлении В–ЮВ (см. рис. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Шипунское землетрясение 17 августа 2024 г. с магнитудой $M_w = 7.0$ (КФ ФИЦ ЕГС РАН) произошло в Тихом океане юго-восточнее п-ова Шипунский. Тектоническая позиция очага ШЗ приурочена к Камчатской сейсмофокальной зоне, порожденной субдукцией Тихоокеанской плиты под Охотскую плиту, на которой находится п-ов Камчатка. Основной толчок и сильнейшие афтершоки имеют близкие между собой механизмы (взбросы) и реализовались на глубинах ~40 км в условиях субгоризонтального сжатия.

На основании предварительного анализа представительного каталога афтершоков оценены размеры очага ШЗ (~58×32 км). Облако афтершоков ШЗ вытянуто в субширотном направлении вкост простирания северной части Камчатской сейсмофокальной зоны юго-восточнее мыса Шипунский. Афтершоковый процесс начался в первые минуты после основного события. Наиболее сильные афтершоки были зафиксированы 21 августа 2024 г. ($ML = 6.1$, $M_w = 5.6$), 30 августа 2024 г. ($ML = 6.3$, $M_w = 5.9$), 30 сентября 2024 г. ($ML = 6.2$, $M_w = 5.8$). Затухание афтершокового процесса ШЗ в первый месяц после главного толчка соответствовало закону Омори. Вопрос о разделении афтершоковой области на два кластера на данный момент является дискуссионным. При анализе афтершокового процесса в данной работе рассматривается только западная выделенная область без восточного кластера.

Шипунское землетрясение ощущалось в населенных пунктах п-ова Камчатка и Северных Курильских о-вов на расстояниях до 441 км от эпицентра. Максимальная интенсивность сотрясений 6 баллов зафиксирована на мысе

Шипунском (43 км). В г. Петропавловск-Камчатский (119 км) интенсивность сотрясений составила 5–6 баллов. Жертв и разрушений землетрясение не вызвало. Макросейсмический эффект ШЗ не противоречит обычному макросейсмическому проявлению камчатских мелкофокусных ($0 \leq h \leq 70$ км) землетрясений в зоне субдукции. Магнитуда ШЗ не достигла порога цунамигенности, тревога цунами не объявлялась, волны цунами на побережье Камчатки и прилегающих территориях зарегистрированы не были.

Шипунское землетрясение вошло в двадцатку сильнейших ($M_w \geq 7.0$) мелкофокусных событий, зарегистрированных в Камчатской сейсмофокальной зоне севернее 50° с.ш. за период инструментальных наблюдений с начала XX века.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственных заданий № 124020900029-7 и № 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/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абубакиров И.Р., Павлов В.М. Определение тензора момента двойного диполя для землетрясений Камчатки по волновым формам региональных сейсмических станций // *Физика Земли*. 2021. № 3. С. 45–62. <https://doi.org/10.31857/S0002333721030017>

Гусев А.А., Шумилина Л.С. Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // *Физика Земли*. 2004. № 3. С. 34–42.

Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. ГОСТ Р 57546–2017. М.: Стандартинформ, 2017. 27 с.

Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю. Сейсмичность Камчатского региона

1962–2011 гг. // *Вулканология и сейсмология*. 2013. № 1. С. 41–64.

Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Чеброва А.Ю., Левина В.И. Макросейсмические проявления промежуточных и глубоких землетрясений камчатской зоны субдукции // Труды Второй региональной научно-технической конференции “Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России (Петропавловск-Камчатский, 11–17 октября 2009 г.). Петропавловск-Камчатский, 2010. С. 141–145.

Павлов В.М. Алгоритмы расчета синтетических сейсмограмм от дипольного источника с использованием производных функций Грина // *Физика Земли*. 2017. № 4. С. 67–75.

Салтыков В.А. О возможных проблемах оценки пространственно-временных особенностей представительства каталога землетрясений (на примере Камчатского каталога Единой геофизической службы РАН) // *Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле*. 2019. № 3. Вып. 43. С. 66–74.

<https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-3-43-66-74>

Чебров В.Н. Развитие комплексного геофизического мониторинга Камчатки и Командорских островов (к 30-летию КФ ГС РАН) // *Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле*. 2009. № 2. Вып. 14. С. 13–18.

Чебров В.Н., Дроздина С.Я., Сеньюков С.Л., Ландер А.В. Камчатка и Командорские острова // *Землетрясения России в 2013 году*. Обнинск, 2015. С. 58–65.

Чубарова О.С., Гусев А.А., Чебров В.Н. Свойства колебаний грунта при Олюторском землетрясении 20.04.2006 г. и его афтершоках по данным цифровой регистрации // *Вулканология и сейсмология*. 2010. № 2. С. 57–70.

Юнга С.Л. О механизме деформирования сейсмоактивного объема земной коры // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1979. № 10. С. 7–25.

Gusev A.A., Gordeev E.I., Guseva E.M. et al. The first version of the M_w –R relationship for Kamchatka // *Pure and Applied Geophysics*. 1997. V. 149. P. 299–312.

Dziewonski A.M., Chou T.-A., Woodhouse J.H. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity // *J. Geophys. Res.* 1981. V. 86. P. 2825–2852. <https://doi.org/10.1029/JB086iB04p02825>

Ekström G., Nettles M., Dziewonski A.M. The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes // *Phys. Earth Planet. Inter.* 2012. V. 200–201. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2012.04.002>

Kanamori H. The energy release in great earthquakes // *J. of Geophys. Res.* 1977. V. 82. № 20. P. 2981–2987.

Omori F. On the Aftershocks of Earthquakes // J. of the College of Science, Imperial University of Tokyo. 1984. V. 7. P. 111–120.

Utsu T. A statistical study on the occurrence of aftershocks // Geophysical Magazine. 1961. V. 30. P. 521–605.

SHIPUNSKOYE EARTHQUAKE 17.08.2024, $M_W = 7.0$, OF THE EAST COAST OF KAMCHATKA

**D. V. Chebrov^{1, *}, E. A. Matveenko^{1, **}, I. R. Abubakirov¹, S. Ya. Droznina¹,
A. V. Lander^{2, ***}, S. V. Mityushkina¹, V. M. Pavlov¹, A. A. Raevskaya¹,
V. A. Saltykov¹, S. L. Senyukov¹, N. N. Titkov¹**

¹*Kamchatka Branch, National Seismological Center, Geophysical Survey,
Russian Academy of Sciences, bulvar Piipa, 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683023 Russia*

²*Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics of the Russian Academy of Sciences,
Profsoyuznaya str., 84/32, Moscow, 117997 Russia*

**e-mail: danila@emsd.ru*

***e-mail: van@emsd.ru*

****e-mail: land@mitp.ru*

The article presents instrumental parameters and macroseismic data on the Shipunsky earthquake of August 17, 2024, $ML = 7.0$, $M_W = 7.0$, discusses its tectonic position and features of the aftershock process, estimated based on the results of the first month of observations after the main event. The mechanisms and parameters of the Shipunsky earthquake sources and its strongest aftershocks are presented, obtained using the original method for calculating seismic moment tensors developed at the KB FRC EGS RAS. The direction of movement and the orientation of the rupture planes in the sources of these events allow us to attribute their occurrence to the subduction of the Pacific plate under the Okhotsk plate, on which Kamchatka is located. The Shipunsky earthquake did not cause casualties or damage. Its maximum macroseismic manifestation was observed at Cape Shipunskiy, 6 points on the SSI–17 scale (GOST R 57546–2017); in Petropavlovsk-Kamchatsky, the intensity of the tremors was 5–6 points. No tsunami alarm was declared, and no tsunami waves were recorded.

Keywords: Kamchatka, earthquake, aftershocks, focal mechanism, macroseismics, peak amplitudes