

ОНОРСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 14 августа 2016 г. с $M_w=5.8$ (о. Сахалин)**Д.А. Сафонов¹, Е.П. Семенова²**¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия, d.safonov@imgg.ru²Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия, semenova@seismo.sakhalin.ru

Аннотация. 14 августа 2016 г. в 11^h15^m по всемирному времени в центральной части о. Сахалин произошло сильное землетрясение с $M_w=5.8$, ощущавшееся в близлежащих населенных пунктах с интенсивностью до 5–6 баллов по шкале MSK-64. Наибольшая интенсивность сотрясений зарегистрирована в ближайшем к эпицентру селе Онор. В течение двух недель после землетрясения региональными сетями сейсмических станций было зарегистрировано более 130 афтершоков, афтершоковая зона вытянута в СЗ–ЮВ направлении. В очаге землетрясения реализовались субгоризонтальные напряжения сжатия СВ–ЮЗ ориентации, тип подвижки – взброс с незначительной сдвиговой компонентой. В качестве рабочей принята плоскость разрыва юго-западного падения. Очаг землетрясения приурочен к одной из вторичных структур Центрально-Сахалинского взбросо-надвига, секущего участок Западно-Сахалинских гор в направлении побережья. Активным блоком разлома является восточное крыло, испытывавшее подвиг под западное. По результатам макросейсмического обследования рассчитаны и построены теоретические изосейсты. Столь сильное редкое землетрясение вызвало широкий интерес у специалистов и позволило им испытать несколько новых методик и технических решений, а также получить новую информацию о сейсмичности и тектонике Сахалинского региона. Данная статья представляет комплексный обзор сейсмологической информации об Онорском землетрясении, преимущественно основанный на результатах более ранних работ.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.27 EDN: ITXNSF

Для цитирования: Сафонов Д.А., Семенова Е.П. Онорское землетрясение 14 августа 2016 г. с $M_w=5.8$ (о. Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 294–303. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.27. EDN: ITXNSF

Введение. 14 августа 2016 г. в 11^h15^m по всемирному времени (23^h15^m по местному) в Смирныховском районе Сахалинской области произошло сильное землетрясение ($M_w=5.8$, $M_L=6.1$), ощущавшееся в близлежащих населенных пунктах с интенсивностью до 5–6 баллов по шкале MSK-64. Землетрясение стало самым сильным сейсмическим событием в этом районе и одним из сильнейших для всего острова с начала XXI века. Главное событие и его афтершоки произошли на оперяющем разломе Центрально-Сахалинской разломной зоны, связанной с границей Охотской и Амурской литосферных плит. 16 марта 2016 г. Сахалинским филиалом Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска зарегистрирован прогноз землетрясения, сделанный на основе метода среднесрочной оценки сейсмической опасности LURR (load-unload response ratio), период ожидания прогнозируемого сейсмического события составил ~18 мес [1, 2]. Прогноз частично оправдался с учетом смещения эпицентра землетрясения на 50 км юго-западнее границы области прогноза.

Землетрясение и последующие афтершоки были зарегистрированы и обработаны системой автоматической регистрации в режиме реального времени, впервые для региона была получена обратная связь от населения в виде заполненных на сайте сервиса EQAlert опросных листов [3, 4]. Действовавшая на момент землетрясения на севере острова сеть локальных сейсмических станций [5], дополненная данными региональной сети Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН (далее – СФ ФИЦ ЕГС РАН), позволила с хорошей точностью определить параметры главного события и более 130 афтершоков первых двух недель. В течение трех дней после возникновения землетрясения в с. Онор силами СФ ФИЦ ЕГС РАН был установлен дополнительный пункт инструментальных наблюдений [6]. Также на сейсмических записях афтершоков Онорского землетрясения был опробован метод кросс-корреляции для их локализации [7]. Определен тензор сейсмического момента центра для главного события и семи афтершоков. Восстановлены смещения в очаге землетрясения (finite-fault), что позволило рассчитать косейсмические деформации земной поверхности эпицентральной зоны [8]. Таким образом, это редкое сильное землетрясение позволило испытать несколько новых методик и технических решений и получить новую информацию о сейсмичности и тектонике Сахалинского региона.

Инструментальные данные. Параметры землетрясения по данным международных сейсмологических центров, Института морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН) и СФ ФИЦ ЕГС РАН приведены в табл. 1. и на рис. 1.

В ИМГиГ ДВО РАН (решение IMGG) определение параметров главного события и афтершоков (рис. 1, 2 б, в) проводилось в рамках сервиса EQAlert, разработанного сотрудниками лаборатории физики землетрясений, в настоящий момент – независимой от института организации ООО «Геофизические технологии» [4]. На первом этапе, на основе программного обеспечения (далее – ПО) EARTHWORM [9], адаптированного для действующей сейсмической сети, была выполнена автоматическая обработка волновых форм и расчет параметров очага. На втором этапе, на базе ПО SEISAN [10], были уточнены автоматические определения с учетом добавленных записей сети сильных движений. Остальные сейсмические события были оперативно локализованы методом ручной обработки [5].

В СФ ФИЦ ЕГС РАН обработка в оперативном режиме выполнена с использованием программы DIMAS в региональном информационно-обрабатывающем центре «Южно-Сахалинск» (решение SKHL(опер)), окончательная обработка – в программе MGP (решение SKHL).

Таблица 1. Параметры Онорского землетрясения 14 августа 2016 г. с $M_w=5.8$ по данным международных агентств и региональных сейсмологических центров

№	Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ- ник
				φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
1	SKHL (опер)	11 15 13.0	0.05	50.37	0.03	142.39	0.03	13	3	$ML=6.1$, $m_b=6.3$, $K_C=12.8$	–
2	SKHL	11 15 11.55	0.32	50.321	0.015	142.486	0.135	10	4	$M_S=5.7$, $MPV(c)=6.3$, $K_C=12.8$, $K_P=14.1$, $MPV(a)=6.0$, $MSH(c)=6.3$	–
3	IMGG	11 15 13.1	–	50.351	–	142.395	–	9	–	$ML=6.1$, $M_w=5.8$	[4]
4	USGS	11 15 14.97	1.69	50.47	0.01	142.28	0.01	11	1.7	$M_w=5.7$, $m_b=5.8$ $M_S20=5.4$	[11]
5	EMSC	11 15 15.7	–	50.38	–	142.37	–	20	–	$M_w=5.8$	[12]
6	MOS	11 15 12.3	0.91	50.375	–	142.358	–	9	–	$MPSP=5.8$, $M_S=5.6$	[13]
7	ISC	11 15 14.52	0.35	50.376	–	142.363	–	13.3	1.9	$M_S=5.4$, $m_b=5.7$	[14]
8	GFZ	11 15 17.9	–	50.37	–	142.39	–	33	–	$M_w=5.8$	[15]
9	GCMТ	11:15:17.9	–	50.47	1	142.30	–	12	–	$m_b=5.8$, $M_w=5.7$	[16]

Примечание. SKHL(опер) – Оперативный каталог Сахалинского филиала Единой геофизической службы РАН, Южно-Сахалинск, фонды; SKHL – Сахалинский филиал Единой геофизической службы РАН, Южно-Сахалинск, каталог Сахалинского региона 2016 г.; IMGG – Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ООО «Геофизические технологии» Южно-Сахалинск [4]; USGS – United States Geological Survey [11]; EMSC – European-Mediterranean Seismological Centre [12]; MOS – ФИЦ Единая Геофизическая служба РАН, Обнинск [13]; ISC – International Seismological Centre, United Kingdom [14]; GFZ – Helmholtz Centre, Potsdam [15]; 9 – GCMТ, The GlobalCMT project [16].

Результаты определения параметров Онорского землетрясения показали существенные расхождения в положении эпицентра для агентств: решения USGS и GCMТ смещены к северо-западу; СФ ФИЦ ЕГС – юго-восточнее. Разброс в положении эпицентра превышает 21 км. Глубина гипоцентра оценивается в диапазоне 9–33 км (табл. 1).

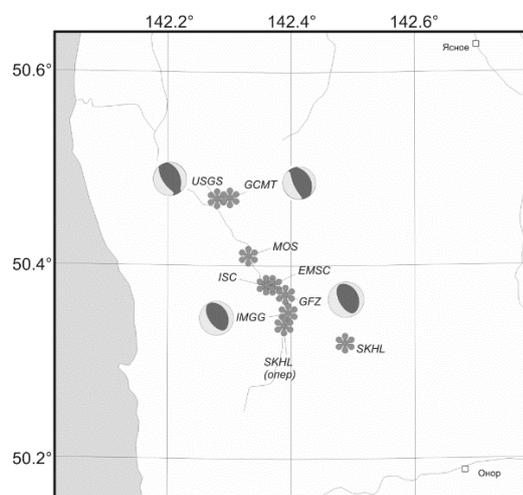


Рис. 1. Положение эпицентра и механизм очага Онорского землетрясения 14 августа 2016 г. по данным международных агентств и региональных сейсмологических центров

Афтершоки. В течение двух недель после землетрясения региональными сетями сейсмических станций было зарегистрировано более 130 афтершоков, всего за август–декабрь 2016 г. – около 170 [8]. Магнитуда сильнейшего афтершока, произошедшего 15 августа 2016 г. в 08^h23^m всемирного времени, составила $ML=5.0$ ($M_w=4.8-4.9$, $m_b=4.7-4.8$). Обращает на себя внимание необычно большое количество афтершоков (17 событий) с магнитудами $ML \geq 4.0$, большинство из которых были ощутимыми. Пиковое значение афтершоковой активности приходится на третьи сутки после главного события [5]. В работе [8]

отмечается дефицит сейсмических событий в диапазоне магнитуд $ML=3.0-4.0$. Значение наклона графика повторяемости $b=0.65$. Данное значение является низким для сахалинских землетрясений.

Из рис. 2 б видно, что афтершоковая зона вытянута в СЗ–ЮВ направлении. Глубина афтершоков варьируется от 5 до 15 км по каталогу IMGG [4]. Совмещение простирания нодальных плоскостей механизмов очагов главного события и его сильнейших повторных событий, облака афтершоков и осевых линий сегментов известных разломов в исследуемом районе позволяет предположить, что землетрясение произошло на диагональном разломе, связующем Центрально-Сахалинскую разломную зону и систему разломов западного побережья острова (рис. 2). Афтершоковая активность локализуется в основном в районе поднятия Западно-Сахалинских гор [5]. Наиболее сильные афтершоки с $ML \geq 4.0$ локализованы в окрестности главного толчка на глубинах до 10 км, однако эпицентры более слабых протягиваются далее на северо-запад вдоль долины р. Агнево, в сторону побережья. Поперечный разрез (рис. 2 в) облака афтершоков (по линии CD) не позволяет уверенно выделить плоскость падения сейсморазрыва [8].

Механизм очага. Определение тензора сейсмического момента Онорского землетрясения 14 августа 2016 г. производилось методом инверсии волновых форм с использованием ПО ISOLA [17, 18]. В качестве исходных данных использовались записи региональных широкополосных сейсмостанций. Согласно полученному решению, в очаге землетрясения реализовались субгоризонтальные напряжения сжатия СВ–ЮЗ направления. Тип подвижки – взброс с незначительной сдвиговой компонентой, глубина центроида – 7 км. Определенная величина сейсмического момента $M_0=3.34 \times 10^{17}$ Нм соответствует моментной магнитуде $M_w=5.6$, что несколько меньше оценок основных сейсмологических агентств. Величина двухдипольной компоненты решения составила $DC=93\%$, т.е. подвижку в очаге можно считать практически плоской (чистый сдвиг). Полученное решение хорошо согласуется с вариантами международных агентств (рис. 1).

В очагах сильных афтершоков последующих суток, для семи из которых определен тензор сейсмического момента, прослеживается преемственность поля напряжений, соответствующего механизму очага главного события, с небольшими, не превышающими 10° , вариациями наклона и простирания нодальных плоскостей (табл. 2). Глубины центроидов для сильнейших афтершоков находятся в пределах 5–10 км.

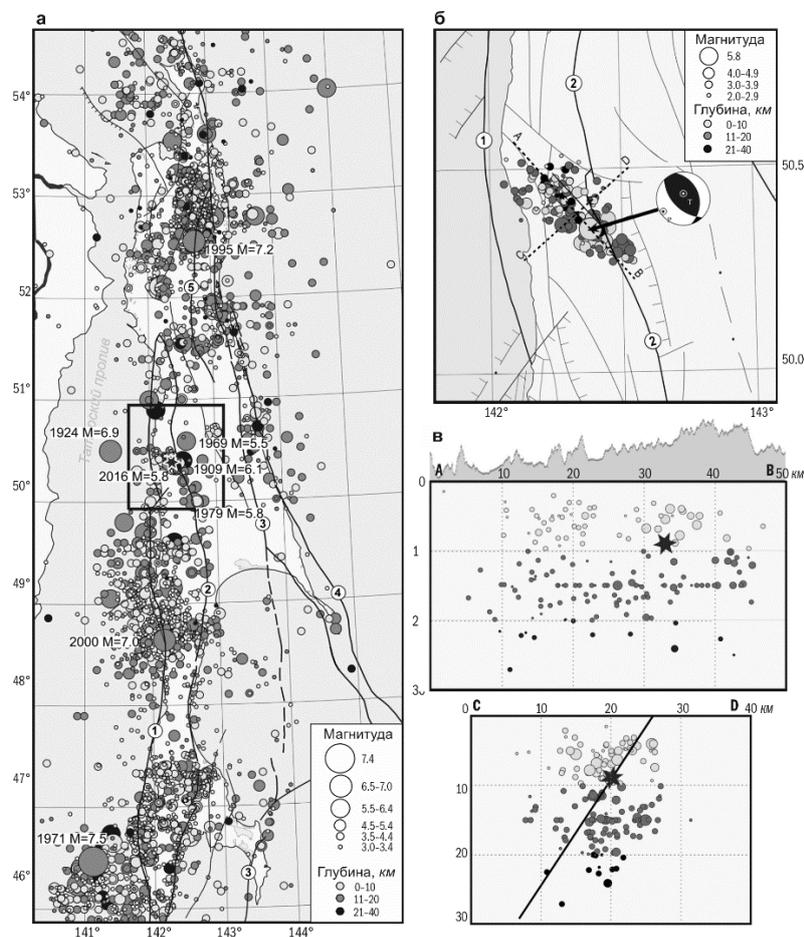


Рис. 2. Историческая сейсмичность о. Сахалин и положение афтершокового облака Онорского землетрясения 14 августа 2016 г. (из работы [8] с дополнениями)

а) Сейсмичность о. Сахалин за период 1905–2016 гг. с $M > 3.0$ по данным [4, 13, 19].

б) Механизм очага Онорского землетрясения 14 августа 2016 г. и карта эпицентров афтершоков.

в) Вертикальные разрезы очаговой зоны по линиям АВ и CD

Схема разломов приведена согласно В.В. Харахинову [20]: 1 – Западно-Сахалинский, 2 – Центрально-Сахалинский, 3 – Хоккайдо-Сахалинский, 4 – Пограничный, 5 – Верхне-Пильтунский. Звездочкой показано положение очага землетрясения 14 августа 2016 г. Прямоугольником выделен район исследований.

Таблица 2. Параметры механизма очага Онорского землетрясения 14 августа 2016 г. и его афтершоков

№ п/п	Дата д.м.г	t_0 ч мин с	M_w	Оси главных напряжений				Нодальные плоскости						Тип сейсмодислокации
				T		P		$NP1$			$NP2$			
				PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
1	14.08.2016	11 15 12	5.6	73	1	10	237	135	56	73	343	37	113	взброс
2	15.08.2016	08 23 06	4.8	74	320	7	75	149	40	68	357	53	108	взброс
3	16.08.2016	21 15 45	4.3	68	314	11	72	140	38	58	359	59	113	взброс
4	17.08.2016	14 03 17	4.7	85	171	1	64	158	44	97	329	47	84	взброс
5	17.08.2016	15 50 30	4.2	83	284	6	74	160	39	84	347	51	94	взброс
6	20.08.2016	02 07 15	3.9	77	358	4	248	147	50	75	351	42	108	взброс
7	27.08.2016	19 44 23	4.1	71	112	14	251	171	60	103	325	32	68	взброс

Помимо этого, было осуществлено моделирование очага по методу [21] на основе широкополосных записей объемных волн 20 телесейсмических станций мировой сети GSN в диапазоне эпицентральных расстояний $\Delta=20-100^\circ$ [5, 8]. Использовались записи P -волн на вертикальных каналах ВНЗ в диапазоне 0.002–1.0 Гц. В качестве рабочей принята подвижка юго-западного падения $DP=57^\circ$ нодальной плоскости $NP1$ ($STK=144^\circ$), дающая наилучшее совпадение реальных и модельных сейсмограмм. Реконструкция смещений в плоскости разрыва производилась по сетке размером 10×7 узлов (по простиранию и по падению соответственно) с шагом сетки 5 км. Моделирование показало, что смещения распространялись во все стороны от гипоцентра, длительность вспарывания составила $T=13$ с. Временная функция в очаге имеет ярко выраженный пик на 6-ой секунде. В интервале глубин 5–10 и 20–25 км выделяются области максимальных смещений, величины которых достигают 8 см. Значимые смещения в очаге землетрясения проявились на расстоянии 30 км по простиранию и 25 км по падению. Величина модельного сейсмического момента составила $M_0=1 \times 10^{18}$ Нм, что соответствует моментной магнитуде $M_w=5.81$ [5, 8]. Поскольку это значение ближе к определениям других агентств, оно принято за основное.

Очаг землетрясения приурочен к оперяющему разлому, одной из вторичных структур Центрально-Сахалинского взбросо-надвига, секущему участок Западно-Сахалинских гор в направлении побережья. Восстановленные смещения в очаге землетрясения позволили рассчитать ко-сейсмические смещения земной поверхности эпицентральной зоны и установить, что активным блоком разлома является восточное крыло, испытывавшее поддвиг под западное [8].

Макросейсмические проявления. Для проведения макросейсмического обследования в эпицентральной зоне Онорского землетрясения была направлена группа сотрудников СФ ФИЦ ЕГС РАН. По результатам опроса населения было установлено, что наибольшая интенсивность сотрясений достигала 5–6 баллов по шкале MSK-64 [22] в ближайшем к эпицентру с. Онор ($\Delta=28$ км). Отмечалось осыпание штукатурки с потолка, падение предметов, выплескивание воды из сосудов, трещины в кирпичных печах (один случай полного разрушения печи), разрушение печных труб. Поступили сведения об упавшей тяжелой люстре и перевернувшейся бочке с водой во дворе. Отмечены случаи перекоса пристроек без фундамента и летних кухонь. Все разрушения произошли в старых и ветхих домах. Землетрясение сопровождалось сильным гулом, хорошо ощущалось вне домов. Население села Онор было сильно напугано.

Сотрясения силой 5 баллов были зарегистрированы к югу от эпицентра в с. Пильво и к северу-востоку в с. Ясное (рис. 3), что позволило оценить радиус изосейсты $I=5$ баллов и положение макросейсмического эпицентра, которое в этом случае не должно сильно отклоняться от инструментального эпицентра.

Всего в результате обследования получены данные о макросейсмических проявлениях в 44 населенных пунктах острова (табл. 3, рис. 3).

Таблица 3. Макросейсмические данные об Онорском землетрясении 14 августа 2016 г.

№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E
5–6 баллов					3–4 балла				
1	Онор	29	50.19	142.69	23	Тымовское	59	50.85	142.66
5 баллов					24	Воскресеновка	65	50.90	142.67
2	Пильво	37	50.04	142.18	25	Мгачи	78	51.05	142.28

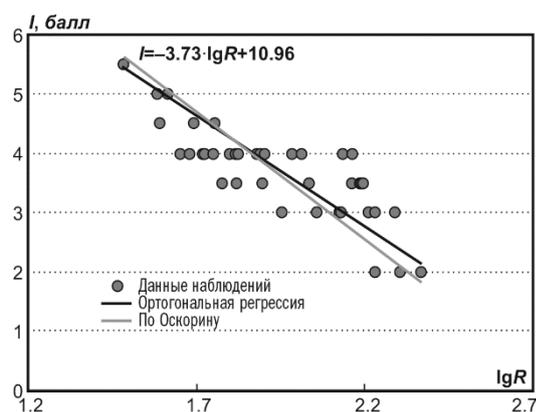


Рис. 4. Затухание интенсивности сотрясений Онорского землетрясения 14 августа 2016 г. с расстоянием от гипоцентра. Показан результат аппроксимации в сравнении с макросейсмической формулой для о. Сахалин Л.С. Оскорбина [23]

Как видно из рис. 4, затухание макросейсмической интенсивности Онорского землетрясения, $\nu=3.7$, несколько меньше принятого для региона значения $\nu=4.3$ согласно формуле Л.С. Оскорбина [23], однако общее распределение балльности в зависимости от расстояния до гипоцентра для землетрясения магнитудой $M_w=5.8$ вполне соответствует ожиданиям.

На основе коэффициента затухания, полученного по методу, описанному в работе [24], рассчитаны и построены теоретические изосейсты, показанные на общей схеме пункты-баллы (рис. 3). В качестве макросейсмического эпицентра взят инструментальный эпицентр, большая ось эллипса изосейст совпадает с простиранием нодальной плоскости $NP1$ (144°) (табл. 2), принятой в качестве рабочей по результатам моделирования [8]. Размер очага оценен по области максимальных смещений в плоскости сейсморазрыва и принят равным 30×20 км, соответственно эллипсы изосейст увеличены на 5 км по главной оси и уменьшены на 5 км по

его малой оси. Расчетные изосейсты хорошо отражают макросейсмическое поле Онорского землетрясения. Некоторое увеличение интенсивности сотрясений зафиксировано к югу от эпицентра в направлении г. Поронайска, в то время как севернее очага зарегистрированные значения балльности оказались несколько ниже расчетных. Область уверенной ощущаемости землетрясения (3 балла) составила ~ 100 тыс. км².

Историческая сейсмичность. Наиболее сильное и первое из известных в исследуемом районе землетрясение произошло [25] 22 января 1909 г. (рис. 2 а), ощущалось в населенных пунктах от г. Поронайск до г. Александровск-Сахалинский, сильнее всего в с. Онор – 7 баллов. Исходя из сходства макросейсмических проявлений с последующими событиями, был сделан вывод, что очаг землетрясения находился северо-западнее с. Онор в зоне Центрально-Сахалинского взбросо-надвига западного падения, а его магнитуда, по более поздним уточненным оценкам, составила $MLH=6.1$ [19]. Землетрясение сопровождалось множеством афтершоков, отмечавшихся населением около полутора лет.

В 1912 г. примерно в том же районе произошло еще одно сильное землетрясение с магнитудой $MLH=5.5$. Событие примерно одинаково ощущалось в г. Александровске-Сахалинском, пгт Тымовское и с. Онор с интенсивностью 5–6 баллов [25].

Следующее сильное землетрясение ($MLH=5.5$) в исследуемом районе произошло 22 июля 1959 г. (рис. 2 а). Его макросейсмические проявления были подробно обследованы и опубликованы в работе [26]. Сила сотрясений в с. Онор была близка к 7 баллам. Возникновение данного землетрясения связывают с подвижкой по Центрально-Сахалинскому разлому [25]. Афтершоковая активность регистрировалась в течение года.

28 июля 1979 г. произошло сейсмическое событие, локализованное несколько южнее очагов предыдущих землетрясений, его магнитуда составила $MLH=5.8$ (рис. 2 а). В ближайших к эпицентру населенных пунктах – с. Победино, г. Смирных, с. Бошняково – интенсивность сотрясений оценивалась в 5 баллов, в с. Онор – 4–5 баллов [27]. Для этого землетрясения, локализованного в зоне Центрально-Сахалинского взбросо-надвига, был определен механизм очага. Тип сейсмодислокации – взбросо-сдвиг, реализовавшийся в условиях диагонального СВ–ЮЗ сжатия.

22 декабря 1984 г. немного севернее от эпицентра предыдущего события произошло еще одно землетрясение с $MLH=5.2$. Событие вызвало в с. Онор колебания интенсивностью до 7 баллов. Для этого землетрясения был также определен механизм очага, оказавшийся взбросо-сдвигом в условиях горизонтального широтного сжатия [28].

После события 1984 г. происходили более слабые землетрясения с MLH до 4.4. Одно из последних таких событий произошло 29 октября 2015 г., его локальная магнитуда составила $ML=4.2$. Приблизительно за один месяц до возникновения землетрясения 14 августа 2016 г. в его эпицентральной зоне зарегистрирован форшок с локальной магнитудой $ML=3.5$.

Сейсмотектоническая позиция. Онорское землетрясение 2016 г. произошло вблизи западного побережья центральной части о. Сахалин в зоне скалывания между двух крупных региональных разломных зон субмеридионального простирания – Западно- и Центрально-Сахалинской (рис. 2). Кинематика Центрально-Сахалинского разлома характеризуется взбросо-надвиговой природой западного падения. Сейсмическая активность разломной зоны в настоящее время невысока, однако по результатам палеосейсмологических исследований она способна генерировать землетрясения с $M=7.0-7.5$ [29]. Западно-Сахалинская складчатость относится к молодой антиклинатории, которая вытянута вдоль восточного побережья Татарского пролива. Она проявляется в виде сети тесно связанных между собой сбросов и взбросов. Сейсмическая активность Западно-Сахалинской разломной зоны достаточно высока. В ее пределах в предшествующие десятилетия наблюдалось несколько сильных землетрясений, в том числе Углегорское 2000 г. с $M=7.0$ и Невельское 2007 г. с $M=6.2$.

Система субмеридиональных разломов Сахалина рассматривается в качестве границы между Евразийской (Амурской) и Североамериканской (Охотской) литосферными плитами [30]. По данным GPS/ГЛОНАСС наблюдений, скорость схождения плит в центральной части острова относительно Евразии достигает 8 мм/год [31]. Преобладающие деформации вследствие схождения плит реализуются в пределах островной суши в условиях диагонального СВ–ЮЗ сжатия со скоростью $4-5 \text{ мм/год}$. В условиях общего сжатия более молодой и активный Западно-Сахалинский антиклинаторий надвигается на менее активные, но более жесткие и устойчивые древние видоизмененные реликтовые антиклинатории [32]. Надвиг происходит по достаточно широкой зоне многочисленных субпараллельных разрывов типа взбросов, взбросо-надвигов и надвигов. Онорское землетрясение пространственно тяготеет к одному из таких разрывов северо-западного простирания.

Закключение. 14 августа 2016 г. в $11^{\text{h}}15^{\text{m}}$ по всемирному времени в центральной части о. Сахалин произошло сильное землетрясение $M_w=5.8$, ощущавшееся в близлежащих населенных пунктах с интенсивностью до 5–6 баллов по шкале MSK-64. Наибольшая интенсивность сотрясений зарегистрирована в ближайшем к эпицентру с. Онор.

В течение двух недель после землетрясения региональными сетями сейсмических станций было зарегистрировано более 130 афтершоков. Выявлено необычно большое число сильных ($M \geq 4.0$) афтершоков и недостаток более слабых ($M=3.0-4.0$). Афтершоковая область вытянута в СВ–ЮВ направлении. В очаге землетрясения реализовались субгоризонтальные напряжения сжатия СВ–ЮЗ ориентации, тип подвижки – взброс с незначительной сдвиговой компонентой. В качестве рабочей принята подвижка юго-западного падения. Очаг землетрясения приурочен к одной из вторичных структур Центрально-Сахалинского взбросо-надвига, секущему участку Западно-Сахалинских гор в направлении побережья. Активным блоком разлома является восточное крыло, испытывавшее подвиг под западное.

По результатам макросейсмического обследования рассчитаны и построены теоретические изосейсты, показанные на общей схеме пункт-балл.

Редкое сильное землетрясение вызвало широкий интерес у специалистов и позволило испытать несколько новых методик и технических решений, получить новую информацию о сейсмичности и тектонике Сахалинского региона.

Л и т е р а т у р а

1. Закупин А.С., Левин Ю.Н., Богинская Н.В., Жердева О.А. Развитие метода среднесрочного прогноза на примере Онорского землетрясения на Сахалине ($M_w=5.8$, 14 августа 2016 г.) // Геология и геофизика. – 2018. – Т. 59. – №. 11. – С. 1904–1911.
2. Прытков А.С., Сафонов Д.А., Закупин А.С. Онорское землетрясение 14 августа 2016 г. $M_w=5.8$ (о. Сахалин) // Геосистемы переходных зон. – 2018. – Т. 2. – №. 3. – С. 154–164.
3. Степнов А.А., Коновалов А.В., Гаврилов А.В., Манайчев К.А. Автоматическая система на базе EARTHWORM для расчёта параметров очага локальных землетрясений в режиме реального времени // Сейсмические приборы. – 2016. – Т. 52. – N 4. – С. 14-32.
4. EQAlert. (2022). – URL: Retrieved from <https://eqalert.ru/#/>

5. Konovalov A.V., Stepnov A.A., Safonov D.A., Kozhurin A.I., Pavlov A.S., Gavrilov A.V., Manaychev K.A., Tomilev D.Ye., Takahashi H., Ichiyonagi M. The $M_w=5.8$ 14 August 2016 middle Sakhalin earthquake on a boundary between Okhotsk and Eurasian (Amurian) plates // *Journal of Seismology*. – 2018. – V. 22, № 4. – P. 943–955.
6. Семенова Е.П., Сафонов Д.А., Костылев Д.В., Левин Ю.Н. Онорское землетрясение с $M_w=5.8$ 14 августа 2016 г. (центральный Сахалин). Инструментальные наблюдения в эпицентральной зоне // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы XII Международной сейсмологической школы*. – Обнинск. ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 328–332.
7. Kitov I.O., Turuntaev S.B., Konovalov A.V., Stepnov A.A., Pupatenko V.V. Use of Waveform Cross Correlation to Reconstruct the Aftershock Sequence of the August 14, 2016, Sakhalin Earthquake // *Seismic Instruments*. – 2019. – V. 55. – N 5. – P. 544–558.
8. Прытков А.С., Сафонов Д.А., Полец А.Ю. Модель очага Онорского землетрясения 14 августа 2016 г. $M_w=5.8$ (о. Сахалин) // *Тихоокеанская геология*. – 2018. – Т. 37, № 5. – С. 112–119.
9. Earthworm software and community site. (2022). – URL: <http://www.earthwormcentral.org>
10. Havskov J., Ottemoller L. SEISAN earthquake analysis software // *Seismological Research Letters*. – 1999. – V. 70. – N. 5. – P. 532–534.
11. United States Geological Survey. (2022). Search Earthquake catalog. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>
12. European-Mediterranean Seismological Centre. (2022). Real Time Seismicity. – URL: <http://www.emsc.csem.org/Earthquake/>
13. Geophysical Survey RAS. (2022). Catalogs. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/new/catalog/>
14. International Seismological Centre. (2022). <https://doi.org/10.31905/D808B830>
15. German Research Center for Geosciences. (2022). – URL: <http://geofon.gfz-potsdam.de/>
16. Global Centroid-Moment-Tensor project. (2022). – URL: <https://www.globalcmt.org/>
17. Региональный каталог землетрясений о. Сахалин, 1905–2005 / Отв. ред. Л.Н. Поплавская. – Южно-Сахалинск, ИМГиГ ДВО РАН, 2006. – 104 с.
18. Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. – М.: Научный мир, 2010. – 276 с.
19. Sokos E., Zahradnik J. Evaluating Centroid-Moment-Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software // *Seismological Research Letters*. – 2013. – V. 84. – P. 656–665.
20. Сафонов Д.А., Коновалов А.В. Использование программы ISOLA для определения тензора сейсмического момента землетрясений Курило-Охотского и Сахалинского регионов // *Тихоокеанская Геология*. – Т. 36, № 3. – С. 102–112.
21. Kikuchi M., Kanamori H. Inversion of complex body waves-III // *Bulletin of the Seismological Society of America*. – 1991. – V. 81. – P. 2335–2350.
22. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
23. Оскорбин Л.С. Уравнения сейсмического поля сахалинских землетрясений // *Сейсмическое районирование Сахалина*. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 34–22.
24. Коновалов А.В., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А., Ломтев В.Л. Невельские землетрясения 2 августа 2007 г. и сейсмическая обстановка на юго-западной окраине о. Сахалин // *Тихоокеанская геология*. – 2015. – Т. 34, № 6. – С. 57–73.
25. Соловьев С.Л., Оскорбин Л.С., Ферчев М.Д. Землетрясения на Сахалине. – М.: Наука, 1967. – 180 с.
26. Федоров Е.Е., Багдасарова А.М. Онорское землетрясение 22 июня 1959 г. // *Труды СахКНИИ*. – 1961. – № 10. – С. 177–181.
27. Землетрясения в СССР в 1979 году. – М.: Наука, 1982. – 272 с.
28. Землетрясения в СССР в 1984 году. – М.: Наука, 1987. – 334 с.
29. Стрельцов М.И., Кожурин А.И. Активные разломы и катастрофические землетрясения Сахалина (Апреловский активный разлом, результаты тренченга). – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2002. – 4 с.
30. Chapman M.E., Solomon S.C. North American-Eurasian plate boundary in northeast Asia // *Journal of Geophysical Research*. – 1976. – V. 81. – P. 921–930.
31. Василенко Н.Ф., Прытков А.С. Моделирование взаимодействия литосферных плит на о. Сахалин по данным GPS наблюдений // *Тихоокеанская геология*. – 2012. – Т. 31, № 1. – С. 42–48.
32. Мельников О.А. Структура и геодинамика Хоккайдо-Сахалинской складчатой области. – М.: Наука, 1987. – 95 с.

ONOR EARTHQUAKE on August 14, 2016, $M_w=5.8$ (Sakhalin Island)
D.A. Safonov¹, E.P. Semenova²

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

²*Sakhalin branch GS RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, semenova@seismo.sakhalin.ru*

Abstract. On August 14, 2016 at 11^h15^m UTS there was a strong earthquake with $M_w=5.8$ in the central part of the Sakhalin Island, which was felt in nearby settlements with an intensity of up to $I_i=5-6$ by the MSK-64 scale. The greatest intensity of shaking was recorded in the village of Onor, closest to the epicenter. Within 2 weeks after the earthquake, more than 130 aftershocks were registered by regional seismic stations. The aftershock zone is extended in the NW-SE direction. Subhorizontal compressional stresses of the NE-SW orientation were realized in the earthquake foci. The type of movement in the source is a reverse-fault with a slight strike-slip component. The fault plane with the south-western dip direction was adopted as an operational. The earthquake source belongs to one of the secondary structures of the Central Sakhalin oblique-reverse fault, which cuts through a section of the Western Sakhalin Mountains in the direction of the western coast. The active block of the fault is the eastern wing, underthrusting under the western one. Based on the results of the macroseismic inspection, theoretical iso-seists are calculated and constructed. Such a rare strong earthquake aroused wide interest among specialists and allowed them to test several new methods and technical solutions, as well as obtain new information about the seismicity and tectonics of the Sakhalin region. This article presents a comprehensive overview of seismological information on this earthquake, mainly based on the results of earlier publications.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.27 **EDN:** ITXNSF

For citation: Safonov, D.A., Semenova, E.P. (2022). [Onor earthquake on August 14, 2016, $M_w=5.8$ (Sakhalin Island)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes of Northern Eurasia], 25(2016–2017), 294–303. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.27. EDN: ITXNSF

References

1. Zakupin, A.S., Boginskaya, N.V., Zherdeva, O.A., & Levin, Yu.N. (2018). Development of medium-term prediction methods: A case study of the August 14, 2016 Onor ($M_w=5.8$) earthquake on Sakhalin. *Russian Geology and Geophysics*, 59(11), 1526–1532. (In Russ.). doi: 10.1016/j.rgg.2018.10.012
2. Prytkov, A.S., Safonov, D.A., & Zakupin, A.S. (2018). Onor earthquake of August 14, 2016, $M_w=5.8$ (Sakhalin Island). *Geosystems of Transition Zones*, 2(3), 154–164 (In Russ.). doi: 10.30730/2541-8912.2018.2.3.154-164
3. Stepnov, A.A., Konovalov, A.V., Gavrilov, A.V., & Manaychev, K.A. (2017). The EARTHWORM-based real time system for source parameter determination of local earthquakes. *Seismic Instruments*, 53(4), 267–279. doi: 10.3103/S0747923917040107
4. EQAlert. (2022). Retrieved from <https://eqalert.ru/#/>
5. Konovalov, A.V., Stepnov, A.A., Safonov, D.A., Kozhurin, A.I., Pavlov, A.S., Gavrilov, A.V., Manaychev, K.A., Tomilev, D.Ye., Takahashi, H., & Ichyanagi, M. (2018). The $M_w=5.8$ 14 August 2016 middle Sakhalin earthquake on a boundary between Okhotsk and Eurasian (Amurian) plates. *Journal of Seismology*, 22(4), 943–955. doi: 10.1007/s10950-018-9744-y
6. Semenova, E.P., Safonov, D.A., Kostylev, D.V., & Levin, Yu.N. (2017). [Onor earthquake with $M_w=5.8$ on August 14, 2016 (central Sakhalin). Instrumental observations in the epicentral zone]. In *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh. Materialy XII Mezhdunarodnoj seismologicheskoy shkoly* [Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Proceedings of the XII International Seismological Workshop] (pp. 328–332). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
7. Kitov, I.O., Turuntaev, S.B., Konovalov, A.V., Stepnov, A.A., & Pupatenko, V.V. (2019). Use of Waveform Cross Correlation to Reconstruct the Aftershock Sequence of the August 14, 2016, Sakhalin Earthquake. *Seismic Instruments*, 55(5), 544–558. doi: 10.3103/S0747923919050074
8. Prytkov, A.S., Safonov, D.A., & Polets, A.Y. (2018). Model of the source of the Onor earthquake on August 14, 2016 with $M_w=5.8$ (Sakhalin Island). *Russian Journal of Pacific Geology*, 12(5), 443–449 (In Russ.). doi: 10.1134/S1819714018050093
9. Earthworm software and community site. (2022). Retrieved from <http://www.earthwormcentral.org>
10. Havskov, J., & Ottemöller, L. (1999). SEISAN earthquake analysis software. *Seismological Research Letters*, 70(5), 532–534.
11. United States Geological Survey. (2022). Search Earthquake catalog. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>
12. European-Mediterranean Seismological Centre. (2022). Real Time Seismicity. Retrieved from <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/>
13. United Geophysical survey RAS. (2022). Catalogs. Retrieved from <http://www.gsras.ru/new/catalog/>
14. International Seismological Centre. (2022). Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>

15. German Research Center for Geosciences. (2022). Retrieved from <http://geofon.gfz-potsdam.de/>
16. Global Centroid-Moment-Tensor project. (2022). Retrieved from <https://www.globalcmt.org/>
17. Sokos, E., & Zahradník, J. (2013). Evaluating centroid moment tensor uncertainty in the new version of ISOLA software. *Seismological Research Letters*, 84, 656–665. doi: 10.1785/0220130002
18. Safonov, D.A. & Konovalov, A.V. (2017). [Moment tensor inversion in the Kuril-Okhotsk and Sakhalin regions using ISOLA software]. *Tihookeanskaja geologija* [Pacific Geology], 36(3), 102–112. (In Russ.).
19. Poplavskaya, L.N. (2006). *Regionalnyy katalog zemletryaseniy o. Sakhalin, 1905–2005* [Regional earthquake catalog of Sakhalin Island, 1905–2005]. Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMGIG DVO RAN Publ., 104 p. (In Russ.).
20. Harahinov, V.V. (2010) *Neftegazovaja geologija Sahalinskogo regiona* [Oil and gas geology of the Sakhalin region]. Moscow, Russia: Nauchnyj Mir Publ., 276 p. (In Russ.).
21. Kikuchi, M., & Kanamori, H. (1991). Inversion of complex body waves-III. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 81, 2335–2350. doi: 10.1785/BSSA0810062335
22. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
23. Oskorbin, L.S. (1977). *Uravneniya seysmicheskogo polya sakhalinskikh zemletryaseniy* [Seismic field equations for the Sakhalin earthquake]. In *Seysmicheskoe rayonirovanie Sakhalina* [Seismic zoning of Sakhalin] (pp. 34–45). Vladivostok, Russia: DVNTs AN SSSR Publ. (In Russ.).
24. Konovalov, A.V., Nagornyykh, T.V., Safonov, D.A., & Lomtev, V.L. (2015). Nevelsk earthquakes of August 2, 2007 and seismic setting in the southeastern margin of Sakhalin Island. *Russian Journal of Pacific Geology*, 9(6), 451–466. doi: 10.1134/S1819714015060056
25. Solovyov, S.L., Oskorbin, L.S., & Ferchev, M.D. (1967). *Zemletriaseniia na Sakhaline* [Earthquakes in Sakhalin]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 180 p. (In Russ.).
26. Fedorov, E.E., & Bagdasarova, A.M. (1961). [Onor Earthquake of June 22, 1959]. *Trudy SakhKNII* [Proceedings of SakhCRI], 10, 177–181. (In Russ.).
27. *Zemletriaseniia v SSSR v 1979 godu* [Earthquakes in the USSR in 1979]. (1982). Moscow, Russia: Nauka Publ., 272 p. (In Russ.).
28. *Zemletriaseniia v SSSR v 1984 godu* [Earthquakes in the USSR in 1984]. (1987). Moscow, Russia: Nauka Publ., 334 p. (In Russ.).
29. Strel'cov, M.I., & Kozhurin, A.I. (2002). *Aktivnye razlomy i katastroficheskie zemletrjaseniia Sahalina (Aprelovskij aktivnyj razlom, rezul'taty trenchenga)* [Sakhalin active faults and catastrophic earthquakes (April active fault, trencheng results)]. Yuzhno-Sahalinsk, Russia: IMGIG DVO RAN Publ., 4 p. (In Russ.).
30. Chapman, M.E., & Solomon, S.C. (1976). North American-Eurasian plate boundary in northeast Asia. *Journal of Geophysical Research*, 81(5), 921–930. doi: 10.1029/JB081i005p00921
31. Vasilenko, N.F., & Prytkov, A.S. (2012). GPS-based modeling of the interaction between the lithospheric plates in Sakhalin. *Russian Journal of Pacific Geology*, 6(1), 35–41. doi: 10.1134/S1819714012010137
32. Mel'nikov, O.A. (1987). *Struktura i geodinamika Hokkajido-Sahalinskoj skladchatoy oblasti* [Structure and Geodynamics of the Hokkaido-Sakhalin Fold Region]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 95 p. (In Russ.).