

УДК 550.348. (571.642)

СИРЕТОКСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ в ОКТЯБРЕ-НОЯБРЕ 2018 г. с $M_w=5.7$ и 6.0 (КУНАШИРСКИЙ ПРОЛИВ, о. ХОККАЙДО)

Е.П. Семёнова¹, Д.А. Сафонов²

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

²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, d.safonov@imgg.ru

Аннотация. В статье рассматривается серия землетрясений октября–ноября 2018 г. с магнитудами до $M_w=6.0$, произошедших в Кунаширском проливе северо-восточнее п-ова Сиретоко о-ва Хоккайдо. Очаговая область событий расположена в пределах южной окраины Охотской литосферной плиты. По данным каталога СФ ФИЦ ЕГС РАН, в Кунаширском проливе за две недели было зарегистрировано пять землетрясений с магнитудами $MLH \geq 5.0$, 16 – с магнитудами $4.0 < MLH < 5.0$ и 75 более слабых. Наиболее сильными по магнитуде и макросейсмическому эффекту оказались два землетрясения: 26 октября 2018 г. в 03^h04^m UTC с $M_w=5.7$ и 4 ноября 2018 г. в 19^h26^m UTC с $M_w=6.0$. Наибольший макросейсмический эффект этих событий, до 5 баллов шкалы MSK-64 и 4 баллов шкалы JMA, отмечался в населенных пунктах о-ва Хоккайдо, расположенных на побережье Кунаширского пролива и пролива Измены, а также на о. Кунашир. Механизмы очагов Сиретокских землетрясений классифицируются как взбросовые, ориентация нодальных плоскостей совпадает с простираем Курильской гряды и п-ова Сиретоко. Афтершоковые облака главных событий 26 октября и 4 ноября также вытянуты в СВ-ЮЗ направлении, совпадающем с простираем основных геологических структур и нодальных плоскостей.

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

Для цитирования: Семёнова Е.П., Сафонов Д.А. Сиретокские землетрясения в октябре-ноябре 2018 г. с $M_w=5.7$ и 6.0 (Кунаширский пролив, о. Хоккайдо) // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 340–353. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.30> EDN: FNAKYM

Введение. Среди окраинных дальневосточных морей Охотское море занимает промежуточное место между Беринговым и Японским морями, а его дно по геологическому строению напоминает гигантскую ступенчатую структуру. Охотское море является составной и наибольшей частью Охотской литосферной плиты, границы которой с Северо-Американской, Евразийской, Амурской и Тихоокеанской литосферными плитами характеризуются высокой сейсмичностью [1].

Охотское море считается областью преимущественно глубокофокусной сейсмичности, тем не менее, в шельфовой зоне Охотского моря отмечаются факты возникновения сейсмических очагов с нормальной глубиной [2]. За последнее столетие в приохотской зоне южных Курильских островов произошло 12 землетрясений с магнитудой $M \geq 5.6$ (рис. 1).

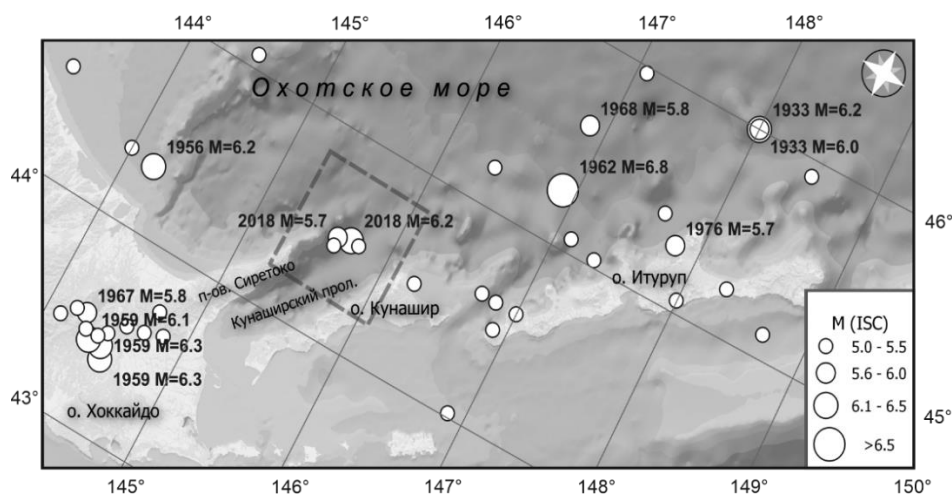


Рис. 1. Карта эпицентров неглубоких землетрясений с магнитудой $M=5.0$ – 6.8 в южной части Курило-Охотского региона с 1924 по 2018 г. по данным каталога ISC [3, 4]. Пунктиром показано положение эпицентральной зоны Сиретокских землетрясений (рис. 5)

Наибольшее количество землетрясений с глубиной очага до 30 км наблюдается у охотоморского побережья Хоккайдо и Южных Курил. Наиболее сильное из них Западно-Итурупское землетрясение произошло 07.05.1962 г. на глубине 25 км в районе Южно-Охотской котловины. Магнитуда землетрясения составляла $M=6.8$, вокруг эпицентра был отмечен ряд мелкофокусных очагов вблизи западного побережья Итурупа. Аналогичная сейсмическая обстановка наблюдается на северо-востоке о-ва Хоккайдо, где 30.01.1959 г. были зарегистрированы два землетрясения с 8-бальным эффектом в эпицентре [5, 6].

Согласно результатам многолетних наблюдений, землетрясения вблизи охотоморского побережья Курильских островов с очагами в земной коре происходят сравнительно редко, и исследование каждого такого события представляет несомненный интерес для понимания тектонических процессов внутри Охотской литосферной плиты.

В октябре-ноябре 2018 г. в юго-западной части Охотского моря, северо-восточнее п-ова Сиретоко, на глубине 10–20 км произошла серия сильных землетрясений с магнитудами до $M_w=5.7–6.0$. Согласно общей карте сейсмичности за 2018–2019 гг. [7], в этом районе преобладают события с промежуточной глубиной очага $h=70–300$ км, относящиеся к Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне, однако возможность возникновения приповерхностных землетрясений в непосредственной близости к Курильским островам и на самих островах уже отмечалась в работе [2].

В представленной статье изложены результаты наблюдений за сейсмичностью в районе Сиретокских землетрясений 2018–2019 гг. по материалам Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН [7] и Японского метеорологического агентства (далее JMA) [8].

Инструментальные данные. Наиболее сильными по магнитуде и макросейсмическому эффекту в серии Сиретокских землетрясений 2018 г. являются два сейсмических события: 26 октября 2018 г. с $M_w=5.6(\pm 0.1)$ (табл. 1) и 4 ноября 2018 г. с $M_w=5.9(\pm 0.1)$ (табл. 2).

Таблица 1. Параметры землетрясения 26 октября 2018 г. в 03^h04^m UTC по данным международных агентств и региональных сейсмологических центров

Агентство	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			Магнитуда (число станций)	Источник
		φ° , N	λ° , E	h , км		
SKHL (ОСО СД)	03 04 54.01	44.443	145.599	18.2	$MLH=5.7(18)$, $MPV=6.2(8)$, $K_C=12.4$, $MPVA=5.8(21)$, $MSH=6.3(5)$ $M_w=5.5$	[9]
NEIC	03 04 53.53	44.494	145.459	10	$M_w=5.6(39)$, $M_S20=5.1(283)$, $mb=5.8(782)$	[10]
EMSC	03 04 54.00	44.520	145.550	10	$M_w=5.6$	[11]
GS RAS	03 04 53.40	44.479	145.490	15	$MPSP=5.7(83)$, $MS=5.4(45)$	[12]
ISC	03 04 53.16	44.585	145.645	5	$MS=5.2(184)$, $mb=5.7(613)$	[13]
GFZ	03 04 55.23	44.505	145.517	10	$mb=5.4(46)$	[14]
GCMТ	03 04 57.5	44.590	145.680	12	$M_w=5.7(167)$	[15]
JMA	03 04 53.33	44.526	145.657	20.4	$M_j=5.5(40)$, $M_w=5.7(40)$	[8]

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

Таблица 2. Параметры землетрясения 4 ноября 2018 г. 19:26 UTC по данным международных агентств и региональных сейсмологических центров

Агентство	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			Магнитуда (число станций)	Источник
		φ° , N	λ° , E	h , км		
SKHL (YSS)	19 26 01.33	44.526	145.653	32	$ML=6.0$, $MPVA=5.6$, $MPV=6.2$, $MS=5.9$, $K_C=11.5$	Фонды SKHL
SKHL (ОСО СД)	19 26 04.1	44.512	145.684	14.3	$MLH=6.2\pm 0.3(9)$, $MPV=6.7\pm 0.4(5)$, $K_C=13.3\pm 0.8(3)$, $MPVA=6.0\pm 0.6(15)$, $MSH=6.2\pm 0.5(2)$, $M_w=5.9$	[9]

Агентство	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			Магнитуда (число станций)	Источник
		φ° , N	λ° , E	h , км		
NEIC	19 26 03.38	44.548	145.655	9	$M_w=5.9(48)$, $M_s20=5.6(959)$, $mb=6.2(993)$	[10]
EMSC	19 26 03.6	44.55	145.63	10	$M_w=5.9$	[11]
GS RAS	19 26 03.7	44.496	145.652	24	$MPV(A)=6.2(112)$, $MS=5.8(5.8)$	[12]
ISC	19 26 04.3	44.605	145.648	14.8	$MS=5.6(615)$, $mb=6.2(753)$	[13]
GFZ	19 26 04.0	44.560	145.681	10	$M_w=6.0(40)$, $mb=5.8(40)$	[14]
GCMТ	19 26 06.4	44.600	145.680	12	$M_w=6.0(175)$	[15]
JMA	19 26 01.7	44.608	145.807	20.3	$M_j=6.2(40)$, $M_w=6.0(40)$	[8]

Примечание. SKHL (YSS) – региональный информационно-обрабатывающий центр «Южно-Сахалинск». Остальные коды приведены в Примечании к табл. 1.

Результаты определения параметров двух крупнейших Сиретокских землетрясений 2018 г. (табл. 1, 2) показали несущественные расхождения в оценках международными и российскими сейсмологическими центрами координат эпицентра, глубины очага и магнитуд.

В СФ ФИЦ ЕГС РАН определение параметров землетрясений традиционно проводилось в рамках имеющегося программного обеспечения. На первом этапе, на основе программного комплекса DIMAS [16], адаптированного для действующей сейсмической сети, был выполнен оперативный расчет параметров очага. На втором этапе, на базе ПО MGP [17], полученные определения были уточнены с учетом добавленных данных.

По данным каталога СФ ФИЦ ЕГС РАН, с 26 октября 2018 г. на протяжении двух недель в Кунаширском проливе было зарегистрировано пять землетрясений с магнитудой $MLH \geq 5.0$. Из-за приуроченности главных и сопоставимых по силе подземных толчков к п-ову Сиретоко (Хоккайдо) эта серия землетрясений получила название Сиретокские землетрясения 2018 года.

За три с половиной месяца наблюдений, по данным того же каталога СФ ФИЦ ЕГС РАН, северо-восточнее п-ова Сиретоко было зарегистрировано 16 повторных толчков с магнитудами $4.0 < MLH < 5.0$ и 75 более слабых. По данным каталога JMA [8], здесь за тот же период зарегистрировано 350 землетрясений. Все землетрясения серии зафиксированы на глубинах до 34 км, характерных для коровой сейсмичности.

Механизмы очагов Сиретокских землетрясений 2018 г.

С использованием программы ISOLA [18, 19] был получен тензор сейсмического момента центроида землетрясений 26 октября и 4 ноября [9]. В табл. 3 с параметрами отдельных землетрясений Сиретокской серии были внесены решения по имеющимся механизмам главных толчков и их афтершоков.

Механизмы очагов сильнейших Сиретокских землетрясений [9], определенные независимо агентством NIED [20] и Сахалинским филиалом ФИЦ ЕГС РАН [18, 19], классифицируются как взбросовые. Нодальные плоскости механизмов ориентированы на СВ–ЮЗ.

Таблица 3. Параметры отдельных землетрясений Сиретокской серии по данным агентства JMA, параметры механизмов очагов по NIED и IMGG

№	Дата	Время ч мин с	φ° , с.ш.	λ° , в.д.	H , км	M_w/M_j	T		P		NPI			Источник механизма
							PL	AZ	PL	AZ	STK	DP	SLIP	
1	26.10.2018	03:04:53	44.53	145.66	20	5.6/5.5	84	155	5	308	35	40	86	NIED
							70	236	9	119	14	57	69	IMGG
2	26.10.2018	03:06:19	44.44	145.63	21	- /5.0	–	–	–	–	–	–	–	–
3	26.10.2018	03:14:37	44.53	145.67	24	- /4.6	–	–	–	–	–	–	–	–
4	26.10.2018	21:29:50	44.56	145.67	21	3.8/3.6	70	331	19	127	44	64	99	NIED
5	04.11.2018	19:26:01	44.61	145.81	20	6.3/6.0	66	161	17	295	1	31	57	NIED
							80	228	6	103	6	51	80	IMGG
6	05.11.2018	03:46:00	44.49	145.67	22	3.8/3.7	58	152	26	294	217	73	108	NIED
7	05.11.2018	13:16:02	44.59	145.69	21	4.0/4.1	83	333	7	138	42	54	92	NIED
8	06.11.2018	03:42:11	44.51	145.74	20	3.9/3.8	80	138	9	294	19	36	83	NIED
9	06.11.2018	11:42:24	44.58	145.71	22	3.7/3.6	86	256	3	116	24	48	87	NIED
10	08.11.2018	16:12:32	44.59	145.75	20	3.8/3.8	76	32	7	270	13	39	108	NIED
11	09.11.2018	16:08:58	44.53	145.77	22	4.4/4.4	66	142	21	292	3	26	64	NIED
12	14.02.2019	07:25:21	44.53	145.75	21	4.0/4.1	80	187	5	307	29	41	78	NIED

Очаговые зоны находились в условиях ВЮВ-ЗСЗ субгоризонтального сжатия, примерно соответствующего направлению движения тихоокеанской плиты до погружения под островную гряду. В то же время ориентация нодальных плоскостей совпадает с простиранием Курильской гряды и п-ова Сиретоко (рис. 1).

Стереогаммы механизмов главных толчков и сильных афтершоков даны ниже по тексту в описании сейсмического режима Сиретокских землетрясений.

Сейсмический режим в эпицентральной зоне Сиретокских землетрясений 2018–2019 гг. Для изучения сейсмического режима в эпицентральной зоне Сиретокских землетрясений были использованы каталоги СФ ФИЦ ЕГС РАН [7] и ЖМА [8]. На рис. 2 представлены графики повторяемости, кумулятивные и плотностные, выполненные по данным каталога Японского метеорологического агентства (а) и каталогов Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН – оперативной обработки Регионального информационно-обрабатывающего центра (РИОЦ) «Южно-Сахалинск» и окончательной обработки отдела сводной обработки сейсмологических данных (ОСО СД).

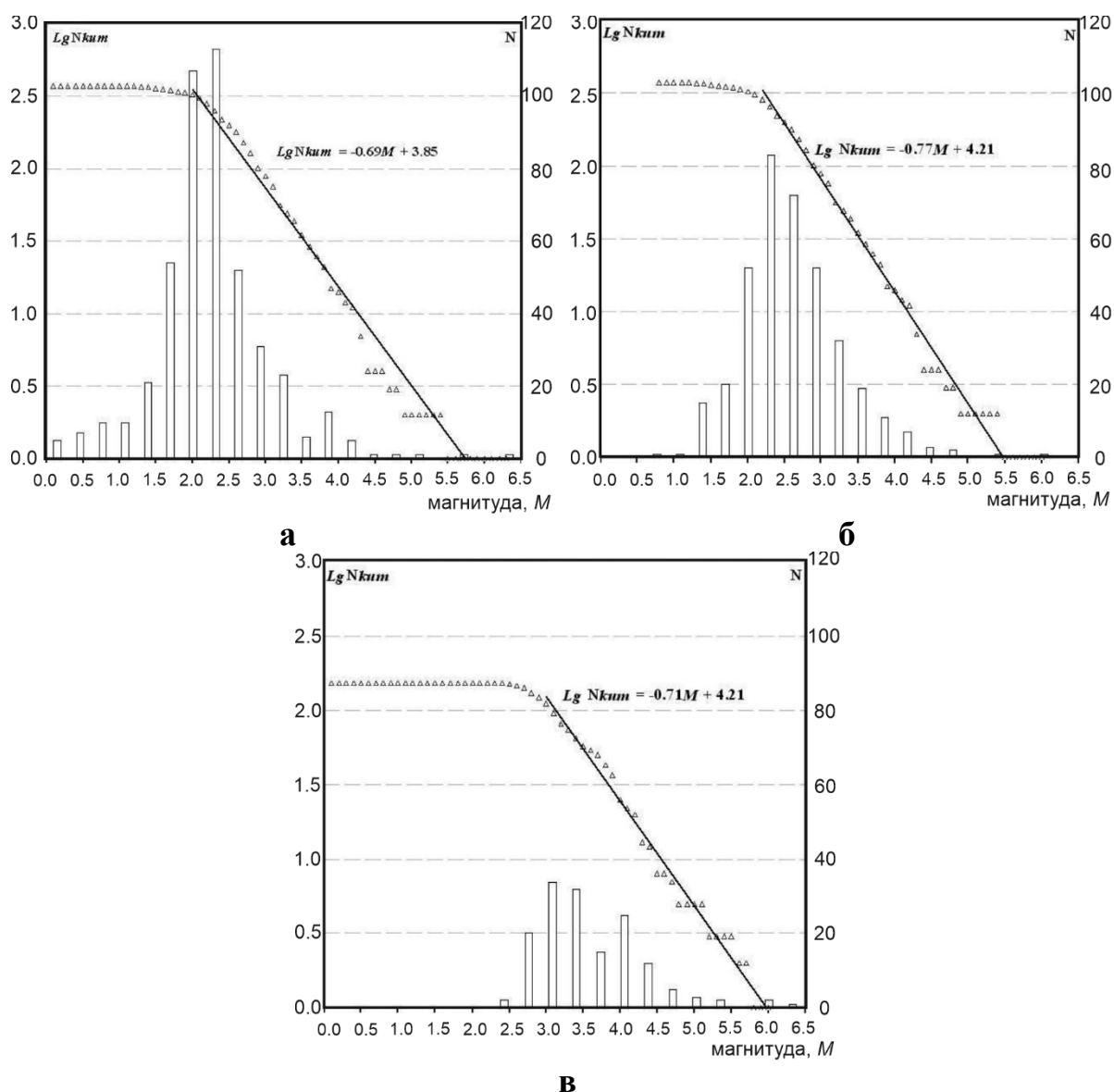


Рис. 2. Графики повторяемости: кумулятивный (ось слева) и плотностной (ось справа) по данным каталогов Японского метеорологического агентства (а), РИОЦ «Южно-Сахалинск» СФ ФИЦ ЕГС РАН (б) и ОСО СД СФ ФИЦ ЕГС РАН (в)

Как видно из графиков на рис. 2 и табл. 4, наиболее информативными – по объему данных каталога и уровню представительности зарегистрированных землетрясений – для наблюдений за

динамикой сейсмического процесса являются каталоги Японского метеорологического агентства и оперативный каталог РИОЦ «Южно-Сахалинск».

Таблица 4. Данные о наполняемости каталогов землетрясений РИОЦ «Южно-Сахалинск», ОСО СД СФ ФИЦ ЕГС РАН и Японского метеорологического агентства

Каталог землетрясений	N	$M_{\text{ПР}}$
РИОЦ «Южно-Сахалинск» СФ ФИЦ ЕГС РАН	372	2.2–2.3
ОСО СД СФ ФИЦ ЕГС РАН	153	3.0
ЖМА	462	2.0–2.1

Примечание. $M_{\text{ПР}}$ – представительная магнитуда из графиков повторяемости на рис. 2, N – число событий каталога за 2018–2019 гг. в эпицентральной зоне.

Однако, каталог РИОЦ «Южно-Сахалинск» подготовлен в режиме оперативной обработки и, таким образом, для наблюдения за динамикой сейсмического процесса было разумнее использовать данные окончательного каталога ЖМА.

По данным ЖМА, в эпицентральной зоне Сиретокских землетрясений с 26 октября 2018 г. до конца 2019 г. было зарегистрировано 447 землетрясений. На рис. 3 сейсмический процесс Сиретокских землетрясений можно условно разделить на два основных этапа, каждый из которых связан с возникновением сильного землетрясения 26 октября или 4 ноября 2018 года. Продолжительность первого этапа, начавшегося 26 октября, когда в 03^h04^m UTC произошло землетрясение с магнитудой $M_j=5.5$ ($M_w=5.7$), составила около девяти дней. Следующий этап был спровоцирован более сильным толчком 4 ноября с магнитудой $M_j=6.3$ ($M_w=6.0$).

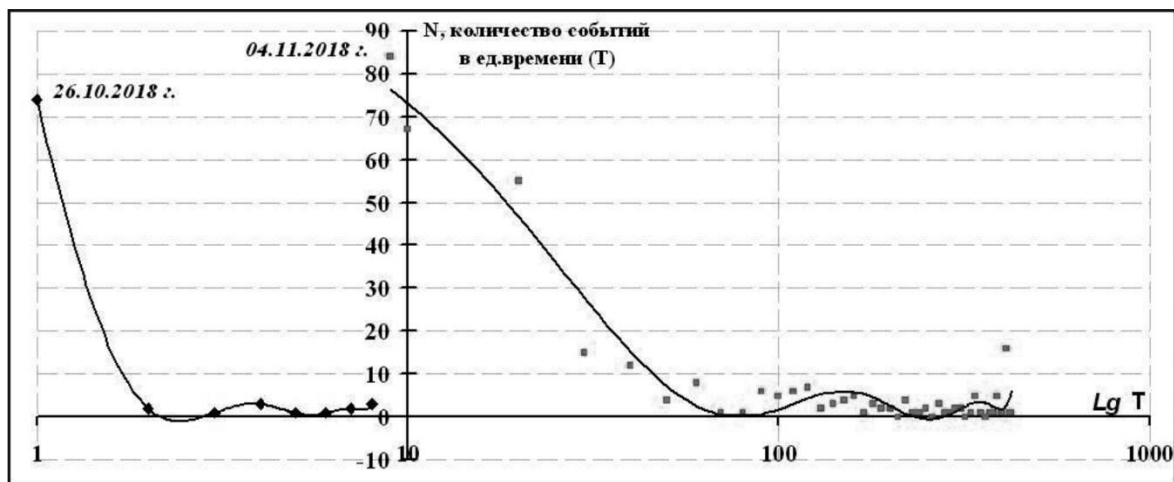


Рис. 3. Диаграмма динамики развития сейсмического процесса Сиретокских землетрясений посуточно по данным каталога ЖМА. На горизонтальной оси – время в днях в логарифмическом масштабе, вертикальная ось – количество землетрясений в сутки

Рис. 4 а, б отражает динамику распределения сейсмической энергии Сиретокских землетрясений в 2018–2019 гг. На рисунках обозначены повторные толчки с магнитудой от $M_j=4.0$ и выше.

Равнозначные значения выделявшейся ежесуточно сейсмической энергии были достигнуты через девять дней после момента возникновения землетрясения 26 октября 2018 г., характеризовавшего начало серии, непосредственно перед возникновением второго сильного толчка 4 ноября, и спустя 270 дней с ее начала, вероятно, достигнув своих фоновых показателей.

Основные события первого этапа были связаны с возникновением землетрясения 26 октября в 03^h04^m UTC с магнитудой $M_j=5.5$, после которого было зарегистрировано еще три повторных толчка с магнитудами $M_j \geq 4$. Более сильный толчок произошел 4 ноября в 19^h26^m UTC. Он имел магнитуду $M_j=6.3$ и также сопровождался небольшой серией повторных толчков. 14 февраля в зоне Сиретокских землетрясений произошло небольшое землетрясение с магнитудой $M_j=4.1$, последующие афтершоки не внесли какого-либо заметного оживления в процесс.

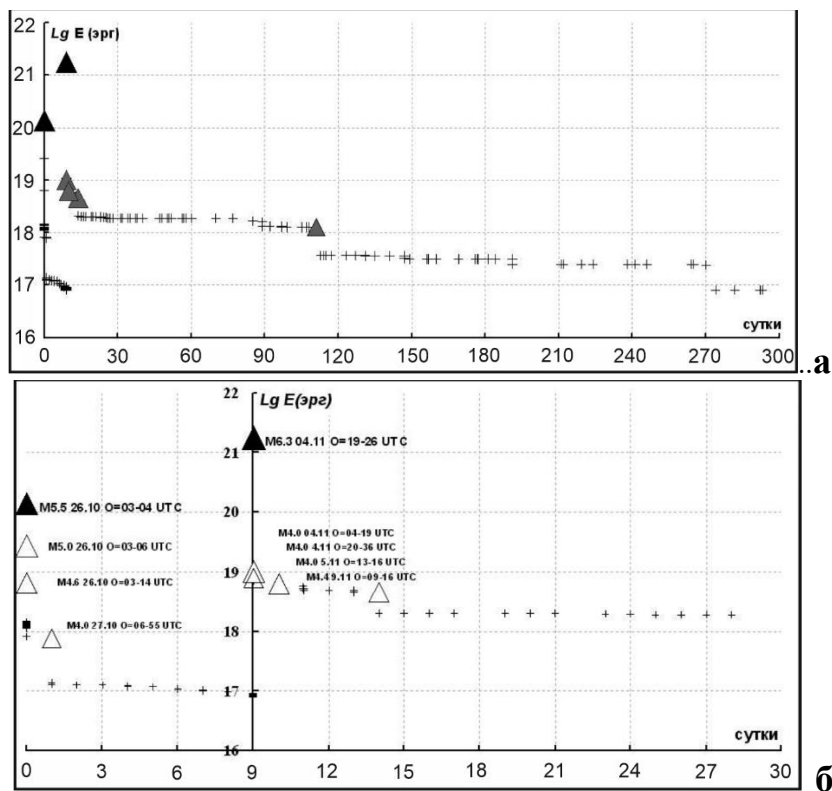


Рис. 4. Графики распределения логарифма сейсмической энергии $Lg(E, Дж)$ от Сиретокских землетрясений в течение 300 дней с начала серии 26 октября 2018 г. (а) и в течение 30 дней с этой же даты (б). M на рисунке соответствует магнитуде M_j агентства JMA

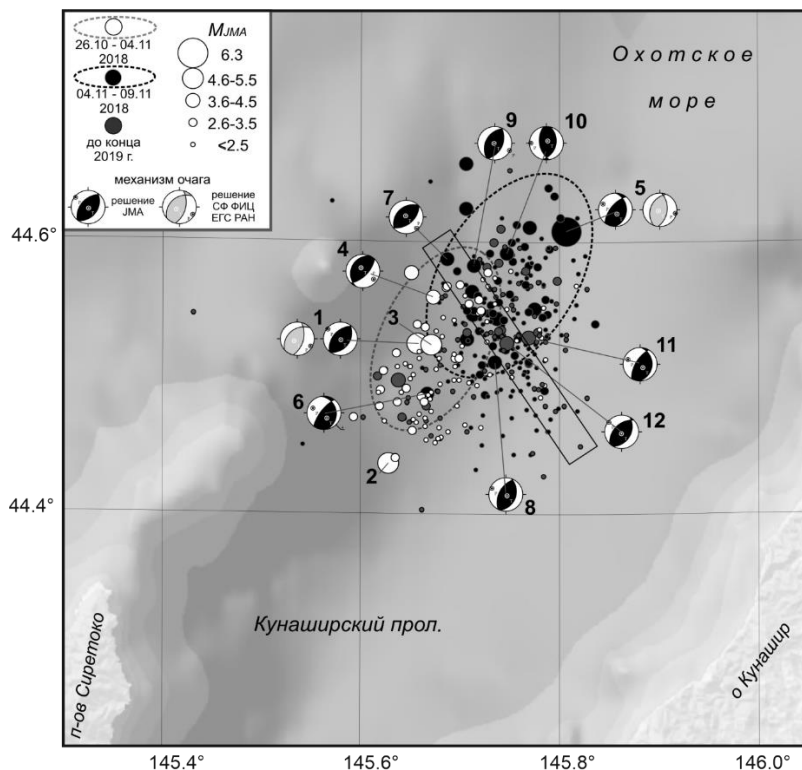


Рис. 5. Карта эпицентров Сиретокских землетрясений и их афтершоков в 2018–2019 гг. по данным агентства JMA

Пунктирными эллипсами показано основное положение афтершоков первого и второго этапов развития сейсмического процесса. Прямоугольником выделена концентрация слабых афтершоков (пояснения в тексте). Цифра рядом с диаграммой механизма очага соответствует номеру в табл. 3.

Спустя 2 минуты после возникновения землетрясения 26 октября 2018 г. в 03^h04^m UTC с магнитудой $M_j=5.5$ ($M_{w\text{per}}=5.6$, $K_C=12.4$) (№ 1 на рис. 5) произошло второе событие с магнитудой $M_j=5.0$. Из-за наложения записей этих землетрясений обработка второго события была значительно затруднена, потому нет оценок моментной магнитуды, а положение эпицентра второго события находится вне основного афтершокового облака (№ 2 на рис. 5). При этом данные СФ ФИЦ ЕГС РАН подтверждают наличие второго события, хотя его эпицентр смещен не к югу от первого землетрясения, как на рис. 5, а к востоку, а энергетическая оценка ($K_C=12.5$) несколько завышена. В течение первых суток зарегистрировано еще два относительно сильных события с магнитудами $M_j=4.6$ (№ 3 на рис. 5) и $M_j=4.0$ (№ 4 на рис. 5), для последнего агентством NIED получен механизм очага, близкий к механизму первого события. Всего в период с 26 октября по 4 ноября по данным JMA отмечено 94 афтершока первого события. Как видно из рис. 5, афтершоки первого этапа с магнитудами от $M_j=2.5$ и выше группируются вокруг первого события в области размером 8x14 км.

Второй этап начался 4 ноября 2018 г. в 19^h26^m UTC, когда было зарегистрировано землетрясение с магнитудой $M_j=6.3$ ($M_{w\text{per}}=5.9$, $K_C=13.3$) (№ 5 на рис. 5). В первые сутки этого этапа произошло еще три повторных толчка с магнитудами $M_j=4.0-4.1$. 9 ноября был зарегистрирован последний сильный афтершок с магнитудой $M_j=4.4$. Всего по данным JMA на этом этапе с 19^h26^m 4 ноября по 9 ноября зарегистрировано 184 афтершока. Для пяти афтершоков второго этапа агентством NIED определены механизмы очага. С учетом вероятных вариаций и обычно низкой точности параметров механизма очага столь слабых событий, их можно считать идентичными механизмам главных толчков. Эпицентр основного события второго этапа лежит на северо-востоке афтершоковой области, облако афтершоков с $M_j \geq 2.5$ в основном попадает в пределы эллипса 11x18 км, смещенного северо-восточнее области афтершоков первого этапа.

С 5 ноября до конца 2018 г. в оконтуренных на рис. 5 афтершоковых областях продолжался слабый сейсмический процесс, было зарегистрировано еще 50 землетрясений, магнитудой не превышавших $M_j=3.3$. За 2019 г. в афтершоковой области отмечено еще 50 землетрясений, включая афтершок 14 февраля с $M_j=4.1$ (№ 12 на рис. 5).

Интересной особенностью афтершокового процесса стала концентрация слабых событий второго и последующего этапов вдоль линии, диагональной относительно вытянутости основного афтершокового облака (прямоугольник на рис. 5). С учетом того, что нет механизмов очага, подтверждающих наличие сейсморазрыва такой ориентации, эта концентрация афтершоков может быть артефактом обработки слабых землетрясений в условиях одностороннего расположения сети сейсмостанций о. Хоккайдо. С другой стороны, эта концентрация афтершоков разделяет облака первого и второго этапов сейсмического процесса, а потому может являться результатом наличия секущего разлома, усложнившего вспарывание главного сейсморазрыва и разбившего очаг на два субочага, реализовавшихся с задержкой в семь дней.

Главная ось эллипсов афтершоков совпадает по ориентации с простираемением нодальных плоскостей механизмов как главных событий, так и большей части афтершоков на рис. 5, кроме события 10, нодальные плоскости которого ориентированы меридионально, но это можно объяснить и довольно вероятной для такого слабого события ($M_j=3.8$) погрешностью определения.

Глубина афтершоков по данным JMA лежит большей частью в пределах 12–28 км. Отсутствие четкого распределения афтершоков по глубине не позволяет выделить падение плоскости сейсморазрыва и предположить главную нодальную плоскость механизмов очагов главных толчков.

По данным СФ ФИЦ ЕГС РАН, в афтершоковой области с 26 октября 2018 г. по конец 2019 г. было зарегистрировано 116 событий. Возникновение сильного землетрясения 4 ноября расширило и сместило облако афтершоков первого этапа Сиретокских землетрясений к юго-западу на ≈ 10 км. При этом сохранились пространственное разделение афтершоков на два этапа и общая вытянутость облаков афтершоков каждого этапа, как и на рис. 5.

Макросейсмические проявления. В таблице 5 приводятся макросейсмические данные об интенсивности сотрясений от землетрясений 26 октября и 4 ноября 2018 г. в населенных пунктах островов Кунашир, Шикотан, Итуруп. Эпицентральные расстояния Δ (км) рассчитаны относительно решения, предложенного GS RAS.

Таблица 5. Макросейсмические данные о проявлениях землетрясений 26 октября и 4 ноября 2018 г. в населенных пунктах Курильских островов

№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E
26 октября 2018 г.					2 балла				
4–5 баллов					8	Курильск (Итуруп)	200	45.230	147.880
1	Южно-Курильск (Кунашир)	49	45.037	145.853	4 ноября 2018 г.				
4 балла					5 баллов				
2	Лагунное (Кунашир)	45	44.056	145.781	1	Лагунное (Кунашир)	51	44.056	145.781
3	Горячий пляж (Кунашир)	52	43.999	145.795	2	Южно-Курильск (Кунашир)	55	44.037	145.853
4	Менделеево (Кунашир)	55	43.954	145.681	3	Горячий пляж (Кунашир)	58	43.999	145.795
5	Головнино (Кунашир)	79	43.737	145.520	4	Менделеево (Кунашир)	62	43.954	145.681
3 балла					5	Головнино (Кунашир)	87	43.737	145.520
6	Малокурильское (Шикотан)	117	43.870	146.834	3 балла				
2–3 балла					6	Малокурильское (Шикотан)	116	43.870	146.834
7	Горный (Итуруп)	165	44.930	147.570					

По результатам макросейсмических наблюдений установлено, что наибольшая интенсивность сотрясений от землетрясения 4 ноября достигала 5 баллов по шкале MSK-64 в населенных пунктах о-ва Кунашир. Землетрясение ощутили все, кто находился внутри помещений, некоторые жители выбегали из домов. Неустойчивые предметы опрокидывались, висячие предметы интенсивно раскачивались, дребезжала посуда, окна и двери распахивались. Беспокоились животные. Под открытым небом землетрясение ощутили немногие.

Данные СФ ФИЦ ЕГС РАН дополнены материалами Японского метеорологического агентства о макросейсмических проявлениях по шкале JMA в муниципальных образованиях о-ва Хоккайдо [21, 22] и внесены в отдельную табл. 6.

Таблица 6. Макросейсмические данные о проявлении Сиретокских землетрясений 26 октября и 4 ноября 2018 г. на о-ве Хоккайдо

№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E
26 октября 2018 г.					4	Ozora Town	138	43.912	144.173
3 балла					5	Kitami City	163	43.8	143.9
1	Shari Town	97	43.92	144.67	6	Shibecha Town	106	43.65	145.12
2	Shibecha Town	154	43.30	144.60	7	Betsukai Town	130	43.400	145.167
3	Rausu Town	57	44.02	145.19	8	Nemuro City	132	43.33	145.58
2 балла					2 балла				
4	Abashiri	118	44.01	144.25	9	Nakashibetsu Town	121	43.55	144.97
5	Kiyosato Town	105	43.833	144.600	10	Abashiri	127	44.01	144.25
6	Koshimizu Town	112	43.850	144.467	11	Bihoro Town	148	43.826	144.10
7	Ozora Town	128	43.917	144.167	12	Tsubetsu Town	160	43.700	144.033
8	Nakashibetsu Town	111	43.55	144.97	13	Kiyosato Town	115	43.833	144.600
9	Kitami City	153	43.8	143.9	14	Koshimizu Town	122	43.850	144.467
10	Teshikaga Town	140	43.483	144.467	15	Kushiro City	119	42.983	144.383
11	Shibecha Town	96	43.65	145.12	16	Kushiro Town	120	43.98	144.38
12	Betsukai Town	112	43.400	145.117	17	Akkeshi Town	176	43.05	144.85
13	Nemuro City	124	43.33	145.58	18	Yubetsu Town	167	44.224	143.616
1 балл					19	Teshikaga Town	150	43.483	144.467
14	Bihoro Town	138	43.826	144.10	1 балл				
15	Tsubetsu Town	150	43.700	144.033	20	Kunneppu Town	178	43.733	143.733
16	Kushiro City	189	42.983	144.383	21	Saroma Town	161	44.016	143.779
17	Akkeshi Town	166	43.05	144.85	22	Hamanaka	165	43.083	145.133
18	Hamanaka	156	43.083	145.133	23	Tsurui Village	180	43.233	144.317
19	Tsurui Village	169	43.233	144.317	24	Shiranuka Town	217	42.950	144.067
20	Shiranuka Town	134	43.950	144.067	25	Monbetsu City	186	44.36	143.35
21	Engaru Town	170	44.067	143.533	26	Engaru Town	178	44.067	143.533
22	Yubetsu Town	160	44.224	143.616	27	Okoppe Town	209	44.467	143.117
4 ноября 2018 г.					28	Wassamu Town	266	44.021	142.418
4 балла					29	Kenbuchi Town	268	44.096	142.367
1	Shibecha Town	106	43.65	145.12	30	Sarufutsu Village	296	45.33	142.11
2	Rausu Town	67	44.02	145.19	31	Toyotomi Town	315	45.1	141.78
3 балла					32	Obihiro City	268	42.9	143.2
3	Shari Town	148	43.55	144.40					

На рис. 6 показана карта-схема макросейсмических проявлений на Курильских островах и о. Хоккайдо землетрясения 26 октября 2018 г. в 03:04 UTC (а) и 4 ноября 2018 г. в 19:26 UTC (б) в соответствии с данными табл. 5 и табл. 6. Наибольший макросейсмический эффект от этих землетрясений отмечался в населенных пунктах о-ва Хоккайдо, расположенных на побережье Кунаширского пролива и пролива Измены (рис. 6).

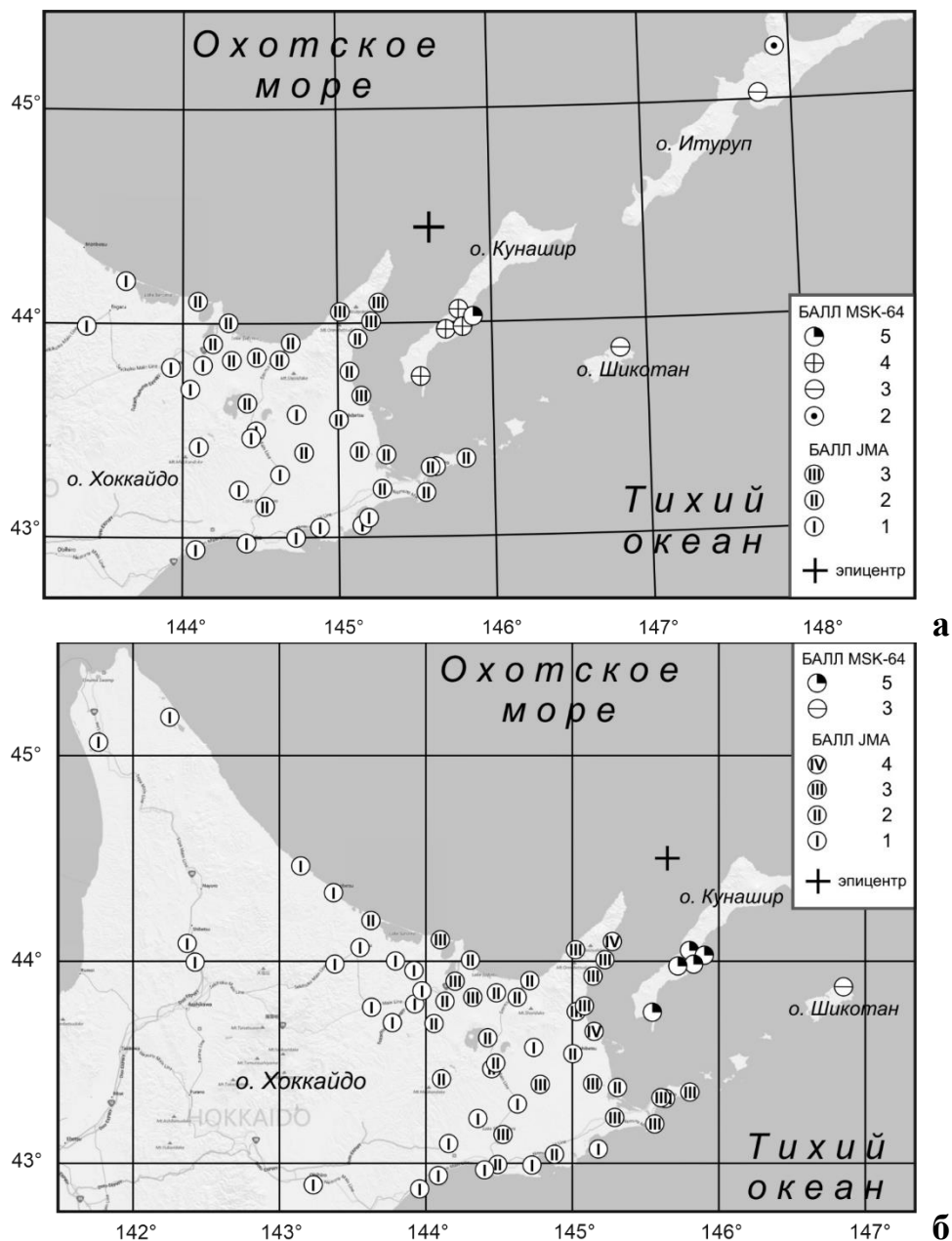


Рис. 6. Карта-схема макросейсмических проявлений землетрясения 26 октября 2018 г. в 03:04 UTC (а) и 4 ноября 2018 г. в 19:26 UTC (б) с данными табл. 5 и табл. 6

В целом, изучение макросейсмических проявлений Сиретокских землетрясений 2018 г., как и многих курило-охотских землетрясений, сопряжено с определенными трудностями, которые вызваны следующими обстоятельствами [23]:

1. Эпицентральные зоны располагаются на дне Охотского моря и Тихого океана и недоступны для непосредственного изучения.
2. Низкая плотность населения Курильских островов ограничивает набор макросейсмических данных.
3. Из-за отсутствия площадных наблюдений трудно уверенно определить форму и ориентацию изосейст.

Тем не менее, для одного из главных толчков Сиретокских землетрясений 2018 г. на основе имеющегося набора макросейсмических данных Сахалинского филиала, дополненного данными Японского метеорологического агентства, были рассчитаны коэффициенты затухания в зависимости интенсивности сотрясений в населенных пунктах от расстояния (рис. 7). Перевод данных макросейсмической шкалы JMA к шкале MSK-64 осуществлялся по формуле [24]:

$$I_{MSK-64}=0.5+1.5 I_{JMA}.$$

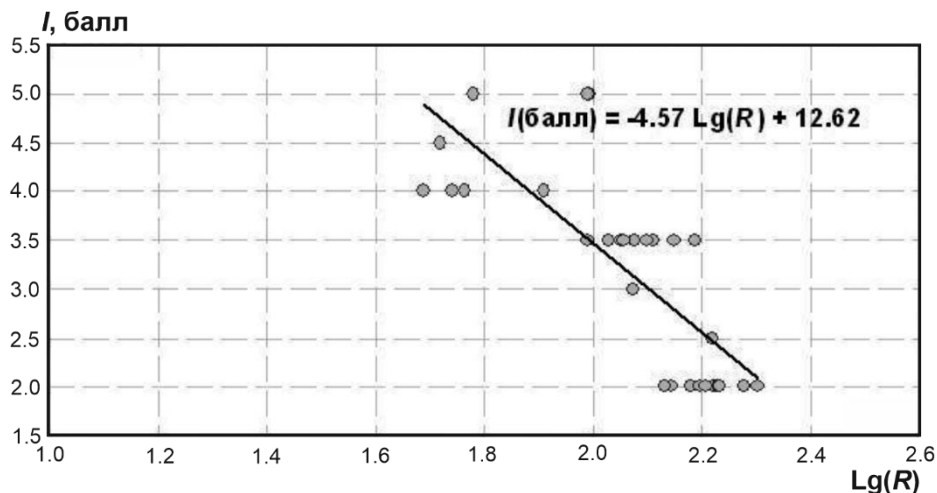


Рис. 7. График затухания интенсивности сотрясений Сиретокского землетрясения 26 октября. По горизонтальной оси – логарифм гипоцентрального расстояния R при $h=18$ км, по вертикальной – интенсивность сотрясений по данным табл. 5 и табл. 6

Полученный коэффициент затухания $\nu=4.57$ (рис. 7) по данным к землетрясению 26 октября с магнитудой $M_w=5.7$ оказался близким к принятому для южно-курильских землетрясений значению $\nu=4.5$ [25, 26].

Тектоническая позиция в эпицентральной зоне Сиретокских землетрясений 2018 г. Приохотскую зону Курильской островной дуги М.И. Стрельцов [27, 28] характеризовал как систему продольных по отношению к островам разрывов, прослеживающихся в северо-восточном ($30\text{--}40^\circ$) направлении на многие десятки километров. Появившись в начале миоцена, система продольных разломов продолжает оставаться активной на протяжении всей последующей истории геологического развития приохотской зоны Курильской островной дуги, определяя ориентировку геологических структур. Располагаясь кулисообразно, они опережают сейсмически активный Срединно-Курильский глубинный разлом. Неглубокофокусные землетрясения возникают здесь сравнительно редко, и поэтому продольные разрывы сейсмологически практически не охарактеризованы.

Исследуя тектоническую природу мелкофокусной сейсмичности в Охотском море на основании данных каталогов землетрясений в Охотском море за период 1735–2010 гг. и результаты интерпретации регионального профилирования МОГТ, авторы работы [29] допускали, что возникновение здесь мелкофокусной сейсмичности связано со сползанием и сдавливанием верхней или всей коры в тылу Курило-Камчатской дуги, но при этом не исключено, что некоторый вклад в сейсмичность вблизи островов вносят землетрясения встречной сейсмофокальной зоны Тараканова.

Заключение. В октябре-ноябре 2018 г. в акватории Кунаширского пролива, северо-восточнее п-ова Сиретоко, на глубинах 10–20 км произошла серия сильных землетрясений с магнитудами до $M_w=6.0$. Из них наиболее сильными по магнитуде и макросейсмическому эффекту были землетрясения 26 октября с $M_w=5.7$ и 4 ноября с $M_w=6.0$. С 26 октября 2018 г. на протяжении двух недель в Кунаширском проливе было зарегистрировано еще пять землетрясений с магнитудой $MLH \geq 5.0$. Сейсмический процесс Сиретокских землетрясений 2018–2019 гг. можно разделить на два основных этапа, каждый из которых был связан с возникновением сильного землетрясения 26 октября или 4 ноября и сопровождался своей последовательностью повторных толчков.

Механизмы очагов сиретокских землетрясений классифицируются как взбросовые. Очаговая зона находилась в условиях ВЮВ-ЗСЗ субгоризонтального сжатия, примерно соответствующего направлению движения тихоокеанской плиты до ее погружения под островную грядку.

Землетрясения с очагами в земной коре вблизи охотоморского побережья Курильских островов происходят сравнительно редко и соответственно представляют несомненный интерес для понимания тектонических процессов внутри Охотской литосферной плиты.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках темы НИР АААА-А20-120060890034-7 госзадания № 075-01271-23 ФИЦ ЕГС РАН с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

Л и т е р а т у р а

1. Ломтев В.Л., Веселов О.В., Козлов Д.Н., Кочергин А.В., Кочергин Е.В., Лютая Л.М., Семакин В.П., Сеначин В.Н., Сеначин М.В., Паровышний В.А., Патрикеев В.Н., Тихонов И.Н. Особенности строения и геодинамики тектоносферы северо-западной части Тихого океана и дальневосточных морей. – Владивосток: Дальнаука, 2016. – 148 с.
2. Тараканов Р.З., Ким Ч.У., Сухомлинова Р.И. Особенности строения фокальных зон Курило-Камчатского и Японского регионов // Сейсмичность и глубинное строение Сибири и Дальнего Востока. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. – С. 99–109.
3. International Seismological Centre. (2023). ISC-GEM Earthquake Catalogue. <https://doi.org/10.31905/d808b825>
4. Di Giacomo D., Engdahl E.R., Storchak D.A. The ISC-GEM Earthquake Catalogue (1904-2014): status after the Extension Project // Earth System Science Data. – 2018. – V. 10, № 4. – P. 1877–1899. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-10-1877-2018>
5. Иващенко А.И., Ким Чун Ун, Бондаренко Г.А. Сейсмичность поверхностных землетрясений Охотского моря // Сейсмическое районирование шельфа. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. – С. 22–37.
6. Поплавская Л.Н., Оскорбин Л.С. Сейсмическая активность земной коры шельфовых зон Охотского моря // Сейсмическое районирование Курильских островов, Приамурья и Приморья. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 120–127.
7. Фокина Т.А., Сафонов Д.А., Костылев Д.В. Сейсмичность Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.) – С. 154–170. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.13> EDN: YUDPGA
8. Japan Meteorological Agency. (2023). – URL: <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
9. Дорошкевич Е.Н. (отв. сост.); Пиневич М.В., Швидская С.В. Каталог землетрясений Курило-Охотского региона за 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>
10. National Earthquake Information Center and Data Center for Sismology, Denver. (2023). [Site]. – URL: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/national-earthquake-information-center-neic>
11. European Mediterranean Seismological Centre. (2023). [Site]. – URL: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake>
12. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2018. (2023) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2018/
13. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
14. Helmholtz Centre Potsdam. (2023). – URL: <https://geofon.gfz-potsdam.de/>
15. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2023). [Site]. – URL: <https://www.globalcmt.org>
16. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34.
17. Поплавская Л.Н., Бобков А.О., Кузнецова В.Н., Нагорных Т.В., Рудик М.И. Принципы формирования и состав алгоритмического обеспечения регионального центра обработки сейсмологических наблюдений (на примере Дальнего Востока) // Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР. Методические работы ЕССН. – М.: Наука, 1989. – С. 32–51.
18. Sokos E., Zahradnik J. Evaluating centroid-moment-tensor uncertainty in the New version of ISOLA Software // Seismological Research Letters. – 2013. – V. 84, N 4. – P. 656–665.

19. Сафонов Д.А., Коновалов А.В. Использование программы ISOLA для определения тензора сейсмического момента землетрясений Курило-Охотского и Сахалинского регионов // Тихоокеанская геология. – 2017. – Т. 36. – № 3. – С. 102–112.
20. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. (2023). [Site]. – URL: <http://www.fnet.bosai.go.jp>
21. Earthquake.tenki.jp. (2023). [Site]. – URL: <https://earthquake.tenki.jp/bousai/earthquake/detail/2018/10/26/2018-10-26-12-05-06.html>
22. Earthquake.tenki.jp. (2023). [Site]. – URL: <https://earthquake.tenki.jp/bousai/earthquake/detail/2018/11/05/2018-11-05-04-26-17.html>
23. Поплавская Л.Н. Теоретические изосейсты курильских и охотоморских землетрясений // Сейсмическое районирование Курильских островов, Приамурья и Приморья. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 55–61.
24. ГОСТ Р 53166-2008. Землетрясения. Воздействие природных внешних условий на технические изделия. Общая характеристика. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 20 с.
25. Оскорбин Л.С., Поплавская Л.Н., Шумилина Л.С. и др. Макросейсмические данные о Парамуширском землетрясении 28 февраля 1973 г // Теоретические и экспериментальные исследования по проблеме цунами. – М.: Наука. – 1977. – С. 177–185.
26. Шебалин Н.В. Коэффициенты уравнения макросейсмического поля по регионам // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 30.
27. Стрельцов М.И. Об эшелонном расположении структур в южной части Курильской островной дуги // Геотектоника. – 1970 – № 1. – С. 108–116.
28. Стрельцов М.И. Дислокации южной части Курильской островной дуги: Автореферат дис. на соиск. уч. степ. к-та г.-м. наук. АН СССР. / Сиб. отдел. Ин-т геологии и геофизики. – Новосибирск, 1970. – 24 с.
29. Тихонов И.Н., Ломтев В.Л. Мелкофокусная сейсмичность Охотского моря и ее вероятная тектоническая природа // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2014. – Т. 41, № 1. – С. 19–38.

SIRETOKO EARTHQUAKES in OCTOBER–NOVEMBER 2018 with $M_w=5.7$ and 6.0
(KUNASHIR STRAIT, HOKKAIDO ISLAND)

E.P. Semenova¹, D.A. Safonov²

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

²*Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, d.safonov@imgg.ru*

Abstract. The article presents the results of a study of earthquakes with magnitudes $M_w=5.7–6.0$ that occurred in October–November 2018 in the Kunashir Strait northeast of the Siretoko Peninsula (Hokkaido). The origin area of the earthquakes belongs to the southern edge of the Okhotsk lithospheric plate. According to the catalog of the Sakhalin branch of Geophysical Survey RAS, five earthquakes with magnitudes $M \geq 5.0$ have happened in Kunashir Peninsula, 16 earthquakes had magnitudes $4.0 < M < 5.0$ and 75 events were weak. The article is devoted to the study of two strongest earthquakes: October 26, 2018 with $M_w=5.7$ and November 4, 2018 with $M_w=6.0$. Strong macroseismic effect, $I=5$ by MSK-64 scale and $I=4$ by JMA scale, was registered in Hokkaido settlements located near the coast of Kunashir Strait and Izmeny Strait and on Kunashir Island. The focal mechanisms are classified as a reverse-fault, the orientation of nodal planes coincides with the strike of the Kuril Ridge and the Siretoko Peninsula. The area of aftershocks corresponds to the NE-SW direction and coincides with the direction of the main geological structures.

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

For citation: Semenova, E.P., & Safonov, D.A. (2023). [Siretoko earthquakes in October–November 2018 with $M_w=5.7$ and 6.0 (Kunashir Strait, Hokkaido Island)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 340–353. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.30> EDN: FNAKYM

R e f e r e n c e s

1. Lomtev, V.L., Veselov, O.V., Kozlov, D.N., Kochergin, A.V., Kochergin, E.V., Liutaia, L.M., Semakin, V.P., Senachin, V.N., Senachin, M.V., Parovyshnyi, V.A., Patrikeev, V.N., & Tikhonov, I.N. (2016). *Osobennosti stroeniia i geodinamiki tektonosfery severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana i dal'nevostochnykh morei* [Peculiarities of the structure and geodynamics of the tectonosphere of the north-west Pacific and the Far East seas]. Vladivostok, Russia: Dal'nauka, 148 p. (In Russ.).

2. Tarakanov, R.Z., Kim, Ch.U., & Sukhomlinova, R.I. (1976). *Osobennosti stroeniia focal'nykh zon Kurilo-Kamchatskogo i Iaponskogo regionov* [Peculiarities of the structure of the focal zones of the Kurilo-Kamchatka and Japan regions]. In *Seismichnost' i glubinnoe stroenie Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Seismicity and deep structure of Siberia and the Far East] (pp. 99–109). Vladivostok, Russia: DVNTs AN SSSR. (In Russ.).
3. International Seismological Centre. (2023). ISC-GEM Earthquake Catalogue. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/d808b825>
4. Di Giacomo, D., Engdahl, E.R., & Storchak, D.A. (2018). The ISC-GEM Earthquake Catalogue (1904–2014): status after the Extension Project. *Earth System Science Data*, 10(4), 1877–1899. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-10-1877-2018>
5. Ivashchenko, A.I., Kim Chun Un, & Bondarenko, G.A. (1990). *Seismichnost' poverkhnostnykh zemletriasenii Okhotskogo moria* [Seismicity of surface earthquakes in the Sea of Okhotsk]. In *Seismicheskoe raionirovanie shel'fa* [Seismic zoning of the shelf] (pp. 22–37). Vladivostok, Russia: DVO AN SSSR. (In Russ.).
6. Poplavskaiia, L.N., & Oskorbin, L.S. (1977). *Seismicheskaiia aktivnost' zemnoi kory shel'fovykh zon Okhotskogo moria* [Seismic activity of the Earth's crust in the shelf zones of the Sea of Okhotsk]. In *Seismicheskoe raionirovanie Kuril'skikh ostrovov, Priamur'ia i Primor'ia* [Seismic zoning of the Kuril Islands, Priamurye and Primorye regions] (pp. 120–127). Vladivostok, Russia: DVNTs AN SSSR. (In Russ.).
7. Fokina, T.A., Safonov, D.A., & Kostylev, D.V. (2023). [Seismicity of Priamurye and Primorye, Sakhalin and Kurilo-Okhotsk regions in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 154–170. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.13> EDN: YUDPGA
8. Japan Meteorological Agency. (2023). Retrieved from <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
9. Doroshkevich, E.N., Pinevich, M.V., & Shvidskaia, S.V. (2023) [Catalog of earthquakes in the Kurilo-Okhotsk region in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.gsras.ru/zse/app-26.html> (In Russ.).
10. National Earthquake Information Center and Data Center for Sismology, Denver. (2023). Retrieved from <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/national-earthquake-information-center-neic>
11. European Mediterranean Seismological Centre. (2023). Retrieved from <https://www.emsc-csem.org/Earthquake>
12. GS RAS. (2023). Bulletin of Teleseismic Stations, 2018. Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2018/
13. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin.. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
14. Helmholtz Centre Potsdam. (2023). Retrieved from <https://geofon.gfz-potsdam.de/>
15. Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Catalog Search. (2023). Retrieved from <https://www.global-cmt.org>
16. Droznin, D.V., & Droznina, S.Y. (2011). Interactive DIMAS software for seismic signal processing. *Seismic Instruments*, 47(3), 215–224.
17. Poplavskaiia, L.N. (1989). *Printsipy formirovaniia i sostav algoritmicheskogo obespecheniia regional'nogo tsentra obrabotki seismologicheskikh nabliudenii (na primere Dal'nego Vostoka)* [Principles of formation and composition of algorithmic support of the regional center for processing of seismological observations (on the example of the Far East)]. In *Seismologicheskie nabliudenii na Dal'nem Vostoke SSSR. Metodicheskie raboty ESSN* [Seismological observations in the Far East of the USSR. Methodological works of ESSN] (pp. 32–51). Moscow, Russia: Nauka. (In Russ.).
18. Sokos, E., & Zahradnik, J. (2013). Evaluating centroid-moment-tensor uncertainty in the new version of ISOLA software. *Seismological Research Letters*, 84(4), 656–665.
19. Safonov, D.A., & Konovalov, A.V. (2017). Using the ISOLA software to determine the seismic tensor moment of the Kurilo-Okhotsk and Sakhalin earthquakes. *Russian Journal of Pacific Geology*, 36(3) 102–112. (In Russ.).
20. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. (2023). Retrieved from <http://www.fnet.bosai.go.jp>
21. Earthquake.tenki.jp. (2023). Retrieved from <https://earthquake.tenki.jp/bousai/earthquake/detail/2018/10/26/2018-10-26-12-05-06.html>
22. Earthquake.tenki.jp. (2023). Retrieved from <https://earthquake.tenki.jp/bousai/earthquake/detail/2018/11/05/2018-11-05-04-26-17.html>
23. Poplavskaiia, L.N. (1977). *Teoreticheskie izoseisty kuril'skikh i okhotomorskikh zemletriasenii* [Theoretical isoseists of the Kuril and Sea of Okhotsk earthquakes]. In *Seismicheskoe raionirovanie Kuril'skikh ostrovov, Priamur'ia i Primor'ia* [Seismic zoning of the Kuril Islands, Priamurye and Primorye] (pp. 55–61). Vladivostok, Russia: DVNTs AN SSSR. (In Russ.).

24. GOST R 53166-2008. (2009). [Earthquakes. The impact of natural external conditions on technical products. General characteristics]. Moscow, Russia: Standardinform Publ., 20 p.
25. Oskorbin, L.S. (1977). *Makroseismicheskie dannye o Paramushirskom zemletriasenii 28 fevralia 1973 g* [Macroseismic data on Paramushirsk earthquake of February 28, 1973] *Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniia po probleme tsunami* [Theoretical and experimental research on the tsunami problem]. Moscow, Russia.: Nauka. 177–185. (In Russ.).
26. Shebalin, N.V. (1977). *Koeffitsienty uravneniia makroseismicheskogo polia po regionam* [Coefficients of the macroseismic field equation by region]. In *Novyi katalog sil'nykh zemletriasenii na territorii SSSR s drevneishikh vremen do 1975 g.* [New catalog of the strong earthquakes on the territory of the USSR since ancient times till 1975]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 30 p. (In Russ.).
27. Strel'tsov, M.I. (1970). [On the echelon arrangement of structures in the southern part of the Kuril island arc]. *Geotektonika* [Geotectonics], 1, 108–116. (In Russ.).
28. Strel'tsov, M.I. (1970). *Dislokatsii iuzhnoi chasti Kuril'skoi ostrovnoi dugi: Avtoreferat dis. na soisk. Uch. step. kand. g.-m. nauk* [Dislocations of the Southern Kuril Island Arc: Ph.D. geol. and miner. sci. diss.]. Novosibirsk, Russia: Sib. otdel. In-t geologii i geofiziki Publ., 24 p. (In Russ.).
29. Tikhonov, I.N., & Lomtev, V.L. (2014). [Shallow-focus seismicity of the Sea of Okhotsk and its probable tectonic nature]. *Voprosy inzhenernoi seismologii* [Seismic Instruments], 41(1) 19–38. (In Russ.).