

КУРИЛО-ОХОТСКИЙ РЕГИОН

Т.А. Фокина¹, Д.А. Сафонов^{1,2}, Е.Н. Дорошкевич¹, Д.В. Костылев¹¹Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, fokina@seismo.sakhalin.ru²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, d.safonov@imgg.ru

Аннотация. Представлен обзор сейсмичности Курило-Охотского региона за 2014 год. Параметры землетрясений получены на основе данных сети сейсмических станций Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН с привлечением данных сопредельных сейсмологических центров. 83.6 % землетрясений локализовано в верхнем глубинном интервале с $h \leq 80$ км, 13.5 % – в промежуточном слое с $h=81-300$ км, 2.9 % – в нижнем интервале глубин $h > 300$ км; максимальная глубина гипоцентра составила $h=559$ км. Приведены результаты анализа сейсмической обстановки в 2014 г. в сравнении с данными за 2001–2013 гг. как по региону в целом, так и по отдельным сейсмоактивным районам. Для 30 землетрясений получены сведения о макросейсмическом эффекте на территории России. Максимальная интенсивность сотрясений не превышала $I=5$ баллов. Для 50 землетрясений есть сведения об интенсивности их проявления на территории Японских островов, где максимальное значение составило $I_i=6-7$ баллов по шкале MSK-64. Самое сильное землетрясение региона произошло в центральной части Охотского моря 18 сентября в 04^h17^m на глубине $h=529$ км с $MSH=6.2$, механизм его очага классифицируется как взрез с небольшой правосторонней сдвиговой компонентой вдоль субвертикальной плоскости северо-восточного простирания. Сейсмичность региона в 2014 г. можно считать умеренной, число землетрясений с магнитудой $M^p \geq 4.5$ и их суммарная сейсмическая энергия не превышают средние величины за 13-летний период, уровень сейсмичности региона по методике «СОУС'09» отнесен к категории «фондовый средний». Распределение гипоцентров землетрясений и их механизмы очагов показывают, что большинство землетрясений Курило-Охотского региона связаны с процессом поддвига Тихоокеанской океанической литосферной плиты под Охотоморскую плиту.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмичность, сейсмическая станция, магнитуда, Курильская островная дуга, сейсмическая энергия.

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.15

Для цитирования: Фокина Т.А., Сафонов Д.А., Дорошкевич Е.Н., Костылев Д.В. Курило-Охотский регион // Землетрясение Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 62–171. doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.15

Региональная сеть. В начале 2014 г. сейсмическая сеть Курило-Охотского региона состояла из четырех стационарных станций – «Северо-Курильск» (SKR), «Курильск» (KUR), «Южно-Курильск» (YUK), «Малокурильское» (SHO), а также двух выносных пунктов станции «Северо-Курильск» («Плато» и «Шумшу») и трех выносных пунктов станции «Южно-Курильск» («Головнино» (GLVR), «Лагунное» (LAGR), «Туман» (GRPR)). Сведения о станциях и регистрирующей аппаратуре приведены в Приложении [1], карта магнитудной представительности региона показана на рис. 1.

Представленная региональная сейсмическая сеть, совместно со станциями Приамурья и Приморья [2] и Сахалина [3], обеспечила на значительной части Курило-Охотского региона регистрацию без пропусков землетрясений с расчетной магнитудой $M^p > 4.0$ ($K_C > 9$). Худшая представительность регистрации без пропусков землетрясений с $M^p \geq 4.5$ ($K_C \geq 10$) обеспечивалась в 2014 г. на территории Онекотан-Матуанского района (№ 2) и в северо-восточной части Охотского моря, а наилучшая, с $M^p \geq 3.5$ ($K_C \geq 8$), – на небольшом участке юго-западной части Охотского моря, находившемся до 22 марта 2014 г. в окружении трех региональных станций. К сожалению, 22 марта станция «Малокурильское» (SHO) была полностью уничтожена пожаром, ее работа была восстановлена только в декабре 2015 г.

Методика обработки сейсмологических данных описана в [4–16]. Для определения параметров землетрясений региона традиционно использовались записи всей сейсмической сети СФ ГС РАН [1, 2, 3], а также бюллетени телесейсмических станций ГС РАН [17], Japan Meteorological Agency (JMA) [18] и ISC [19]. Граница северо-восточной части региона оставалась в рамках изменений 2004 г., когда эта территория вошла в зону ответственности Камчатского филиала ГС РАН, а юго-западная часть (о. Хоккайдо и Японское море), исключенная тогда же из зоны ответственности СФ ГС РАН [20, 21], в 2014 г. была вновь включена в нее. Основные параметры землетрясений рассчитывались в программе MGPW, разработанной в СФ ГС РАН, при использовании годографа

Р.З. Тараканова [7]. Механизмы очагов рассчитывались по программе FOCMEC [12–13]. Также для анализа в данной статье привлечены параметры тензора сейсмического момента, определенного в рамках сотрудничества с ИМГиГ ДВО РАН с использованием программы ISOLA [14–16].

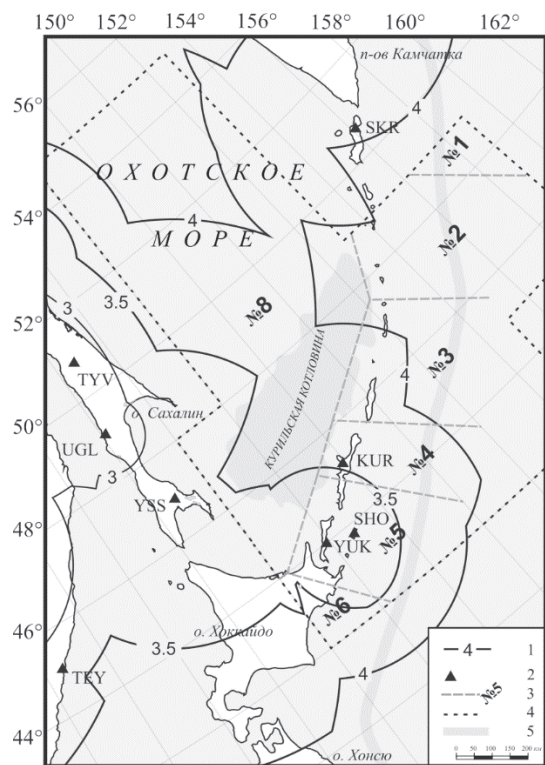


Рис. 1. Карта магнитудной представительности M^P_{\min} землетрясений Курило-Охотского региона с 1 января по 22 марта 2014 г.

1 – изолиния M^P_{\min} ; 2 – сейсмическая станция; 3 – граница и номер района соответственно; 4 – граница региона; 5 – ось глубоководного Курило-Камчатского желоба.

(83.6 %) локализованы в верхнем глубинном интервале с $h \leq 80$ км, 137 (13.5 %) – в промежуточном слое с $h = 81–300$ км, 29 (2.9 %) – в нижнем интервале глубин $h > 300$ км. 607 землетрясений (59.9 %) произошли в слое $31 \text{ км} \leq h \leq 60 \text{ км}$, 268 (26.5 %) – $31 \text{ км} \leq h \leq 40 \text{ км}$. Распределение всех землетрясений по глубине приведено на рис. 2.

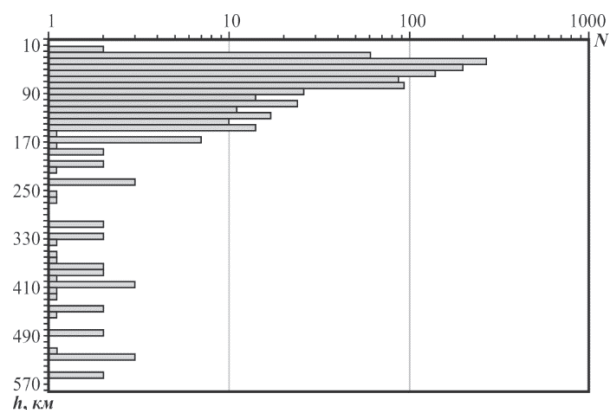


Рис. 2. Распределение землетрясений Курило-Охотского региона 2014 г. по глубине гипоцентров h , км

Для единой магнитудной классификации землетрясений используются расчетные магнитуды M^P . Если для мелкофокусных ($h \leq 80$ км) толчков определена магнитуда MLH по стандартной методике [22], то ее значение берется в качестве единой магнитудной оценки. Для всех остальных землетрясений производится пересчет или из класса K_C , или из магнитуд MPV , $MPVA$, MSH , $MSHA$ по формулам связи, установленным С.Л. Соловьёвым и О.Н. Соловьёвой [10–11], расположенным ниже в порядке предпочтения:

– для событий с глубиной $h \leq 80$ км:

$$M^P = MLH;$$

$$M^P = (K_C - 1.2) / 2;$$

$$M^P = (MSH - 1.71) / 0.75;$$

$$M^P = (MPV - 2.5) / 0.65;$$

$$M^P = (MSHA - 1.71) / 0.75;$$

$$M^P = (MPVA - 2.5) / 0.65;$$

– для событий с $h > 80$ км:

$$M^P = (MSH - 1.71) / 0.75;$$

$$M^P = (MPV - 2.5) / 0.65;$$

$$M^P = (K_C - 1.2) / 2;$$

$$M^P = (MSHA - 1.71) / 0.75;$$

$$M^P = (MPVA - 2.5) / 0.65.$$

Энергия землетрясений (в Дж) оценивалась по формуле Гутенберга–Рихтера из [23]:

$$\lg E = 4.8 + 1.5 \cdot M^P.$$

Сейсмичность региона. В региональный каталог [24] включены параметры 1013 землетрясений с $M^P = 2.5–6.0$. Гипоцентры 847 землетрясений

Для 30 землетрясений получены сведения об их макросейсмическом эффекте на территории России (Курильских островах и п-ове Камчатка), максимальная интенсивность сотрясений не превышала $I_i = 5$ баллов по шкале MSK-64 [24, 25]. Для 50 землетрясений есть сведения об интенсивности на территории Японских островов [19, 25], максимальное значение которой составило $I_i = 6–7$ баллов по шкале MSK-64 [24, 25]. Гипоцентры ощутимых землетрясений находились в глубинном диапазоне $h = 34–403$ км, 56 из них зафиксировано на глубине менее 80 км.

Всего с использованием двух методик (полярности первых вступлений и инверсии

волновых форм (ИВФ) [12–16]) получены решения механизмов очагов 38 землетрясений региона [26] (для шести событий по два решения – независимо обоими методами, в этих случаях учитывалось решение по ИВФ).

Самое сильное землетрясение региона произошло 18 сентября в 04^h17^m на глубине $h=529$ км с $M^p=6.0$, $MSH=6.2$, $MLH=4.5$, $M_w(\text{рег})=5.3$. Его эпицентр находился в центральной части Охотского моря, макросейсмический эффект не отмечен. Механизм очага классифицируется относительно поверхности как взрез с небольшой правосторонней сдвиговой компонентой вдоль субвертикальной плоскости северо-восточного простирания.

В табл. 1 представлено распределение землетрясений Курило-Охотского региона по расчетной магнитуде M^p , их суммарная сейсмическая энергия ΣE по районам региона в поверхностном ($h \leq 80$ км) и глубоком ($h > 81$ км) сейсмоактивных слоях в 2014 г., а также средние значения этих параметров за период 2001–2013 гг. На рис. 3 показаны изменение ежегодного числа землетрясений региона с $M^p \geq 4.5$ и их суммарная сейсмическая энергия за 2001–2014 гг.

Таблица 1. Распределение землетрясений по магнитудам M^p по районам Курило-Охотского региона в 2014 г., их суммарная сейсмическая энергия ΣE и средние значения этих параметров за период 2001–2013 гг.

№	Район	M^p								N_{Σ}			$\Sigma E, 10^{12}$ Дж		
		≤ 4.2	4.5	5	5.5	6	7	8	8.5	$M^p \geq 4.5$	Сред.	.	$M^p \geq 4.5$	Сред.	
<i>h ≤ 80 км</i>															
1	Парамуширский	4	6	–	1	–	–	–	–	11	7	–	7.45	7.19	–
2	Онекотан-Матуанский	31	11	–	–	–	–	–	–	42	11	42	5.91	4.00	7154
3	Симушир-Урупский	91	32	4	1	–	–	–	–	128	37	53	33.83	28.57	5208
4	Северо-Итурупский	165	17	5	2	–	–	–	–	189	24	24	54.78	48.38	402
5	Кунашир-Шикотанский	338	19	7	2	–	–	–	–	366	28	30	47.90	38.62	190
6	о. Хоккайдо	87	12	6	1	–	–	–	–	106	19	–	30.31	27.02	–
7	Японское море	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
8	Охотское море	5	–	–	–	–	–	–	–	5	–	–	0.15	–	–
	Всего	721	97	22	7	–	–	–	–	847	126	–	180.33	153.78	–
	Среднее за 2001–2013 гг.	499	28	7	3	1	0.4	0.2	–	529	174	–	13230	13208	–
<i>h > 80 км</i>															
1	Парамуширский	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	Онекотан-Матуанский	6	8	2	1	–	–	–	–	16	10	8	21.64	21.19	239
3	Симушир-Урупский	20	10	1	–	2	–	–	–	33	13	19	68.93	67.66	644
4	Северо-Итурупский	4	2	3	–	–	–	–	–	9	5	9	7.62	7.34	138
5	Кунашир-Шикотанский	48	4	3	1	–	–	–	–	56	8	17	19.26	18.05	457
6	о. Хоккайдо	10	3	4	–	–	–	–	–	17	7	–	10.10	9.61	–
7	Японское море	3	1	1	1	–	–	–	–	7	4	–	7.74	7.47	–
8	Охотское море	15	6	5	1	1	–	–	–	28	13	15	94.35	93.68	450811
	Всего	106	34	19	4	3	–	–	–	166	60	–	229.64	225.01	–
	Среднее за 2001–2013 гг.	106	22	12	3	1	0.5	0.2	0.1	146	77	–	36287	36284	–

Примечание. Распределение землетрясений по магнитудам построено для следующих диапазонов: $M^p \leq 4.2$; $M^p = 4.5 \rightarrow M = 4.3-4.7$; $M^p = 5.0 \rightarrow M = 4.8-5.2$; $M^p = 5.5 \rightarrow M = 5.3-5.7$ и т.д. В столбцах «Сред.» указаны средние значения параметров за период 2001–2013 гг.

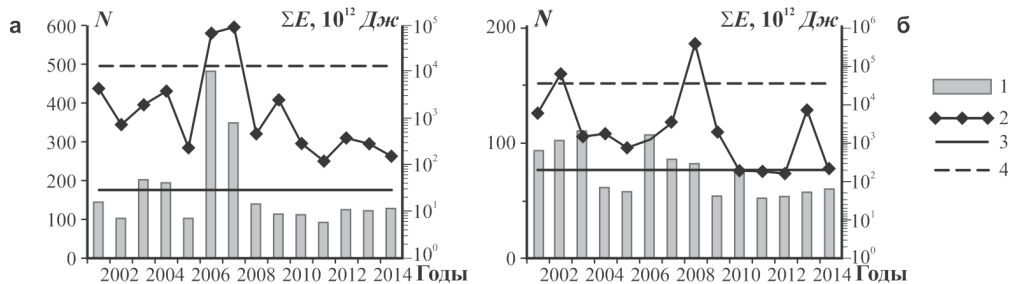


Рис. 3. Распределение числа мелкофокусных (а) и глубокофокусных (б) землетрясений с $M^p \geq 4.5$ и величины суммарной сейсмической энергии ΣE Курило-Охотского региона за 2001–2014 гг.

1 – число землетрясений N ; 2 – сейсмическая энергия ΣE ; 3 – среднее число землетрясений по данным за 2001–2013 гг.; 4 – средняя величина энергии за период 2001–2013 гг.

Карта эпицентров и механизмов очагов землетрясений Курило-Охотского региона в 2014 г. приведена на рис. 4. Как обычно, основная часть эпицентров располагается вдоль западного склона Курило-Камчатского глубоководного желоба, глубина гипоцентров возрастает в северо-западном направлении.

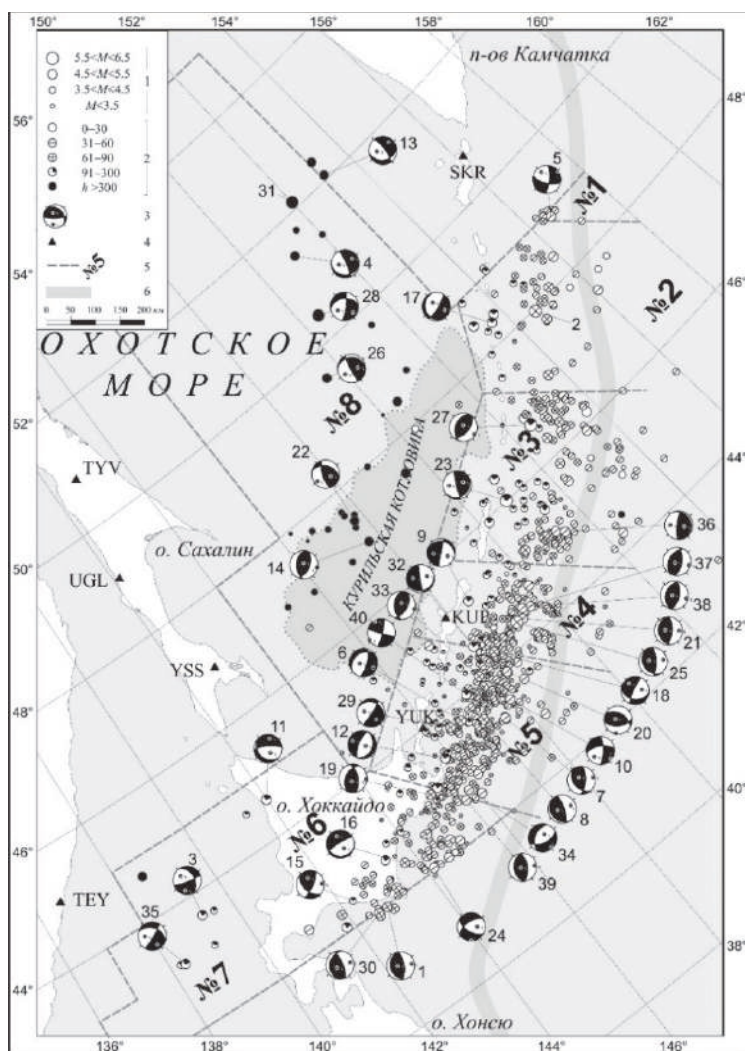


Рис. 4. Эпицентры и механизмы очагов землетрясений Курило-Охотского региона в 2014 г.

1 – магнитуда M^P ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – диаграмма механизма очага в проекции на нижнюю полусферу, зачернена область сжатия; 4 – сейсмическая станция; 5 – граница и номер района соответственно; 6 – граница зоны ответственности сети СФ ФИЦ ЕГС РАН; 7 – ось глубоководного Курило-Камчатского желоба.

Общее число мелкофокусных землетрясений в 2014 г. ($N=847$) в 1.6 раза выше среднего значения за 2001–2013 гг. ($N_{ср}=529$), тогда как их суммарная сейсмическая энергия в 73 раза ниже среднего значения за указанный период. Число представительных по региону мелкофокусных землетрясений с $M^P \geq 4.5$ ($N=126$) в 1.4 раза ниже среднего значения за 2001–2013 гг., а их суммарная сейсмическая энергия почти в 86 раз меньше среднего значения за предыдущие 13 лет. Данные по представительным землетрясениям свидетельствуют о невысоком уровне сейсмичности в регионе в 2014 г. (табл. 1, рис. 3 а), тогда как небольшое увеличение в 2014 г. (в 1.6 раза) общего числа мелкофокусных землетрясений, по сравнению со средним значением за 2001–2013 гг., может быть связано с улучшением условий регистрации землетрясений в 2014 г., по сравнению со средними.

Число глубокофокусных ($h > 80$ км) землетрясений также выше (в 1.1 раза), а их суммарная сейсмическая энергия в 158 раз ниже соответствующих средних значений за 2001–2013 гг.; число землетрясений с $M^P \geq 4.5$ меньше в 1.3 раза, а их суммарная сейсмическая энергия в 161 раз меньше средних показателей за указанный период (табл. 1, рис. 3 б).

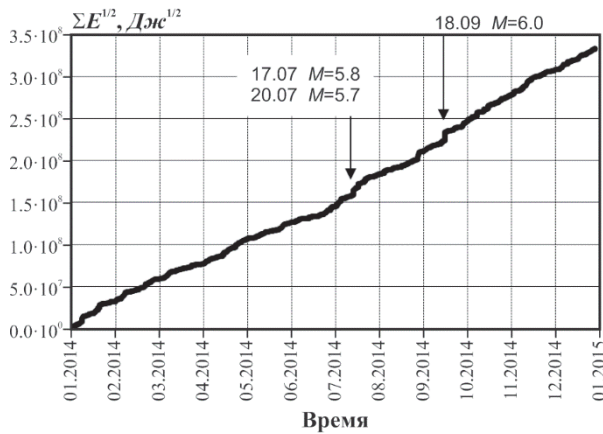


Рис. 5. График Бенъоффа для землетрясений Курило-Охотского региона за 2014 г.

$MSH=6.0$, $M_w(\text{рег})=5.0$, $h=102$ км (23 на рис. 4) и ощущавшееся на о. Итуруп с интенсивностью в 3 балла. Механизм его очага – типичный для этих глубин взрез с юго-западным простиранием субвертикальной плоскости. Второе событие – мелкофокусное, произошедшее 20 июля в $18^{\text{h}}32^{\text{m}}$ с $MLH=5.7$, $M_w(\text{рег})=6.3$, $h=75$ км (25 на рис. 4) восточнее о. Итуруп и ощущавшееся в населенных пунктах Итурупа, Кунашира и Шикотана с интенсивностью от 2 до 5 баллов [25]. Оно стало следствием пологого надвига в условиях сжатия, перпендикулярного островной дуге.

Вторая «ступень» соответствует упомянутому выше самому сильному землетрясению региона (28 на рис. 4), произошедшему 18 сентября в $04^{\text{h}}17^{\text{m}}$ на глубине $h=529$ км с $M^p=6.0$, $MSH=6.2$, $MLH=4.5$, $M_w(\text{рег})=5.3$.

Рассмотрим особенности сейсмического процесса в каждом из семи сейсмоактивных районов Курило-Охотского региона.

В Парамуширском районе (№ 1), в верхнем глубинном слое, зарегистрировано 11 землетрясений, из них семь с магнитудой $M^p \geq 4.5$ (табл. 1). Самое сильное землетрясение (5 на рис. 4) произошло 21 января в $10^{\text{h}}49^{\text{m}}$ и ощущалось в г. Северо-Курильск ($\Delta=202$ км) с интенсивностью 2 балла. Это единственное ощутимое землетрясение района. Механизм его очага может классифицироваться как сдвиг в условиях меридионального сжатия и широтного растяжения.

Сейсмичность **Онекотан-Матуанского (№ 2) района** была низкой. Зарегистрировано 42 мелкофокусных землетрясения, из них 11 с магнитудой $M^p \geq 4.5$, что в 3.8 раза меньше среднего значения за период 2001–2013 гг. Суммарная сейсмическая энергия в 1789 раз ниже среднего значения за указанный период (табл. 1). Сейсмичность этого района была очень высока в 2006–2007 гг., когда произошли два Симуширских землетрясения (15.11.2006 г. с $M_w=8.3$ и 13.01.2007 г. с $M_w=8.1$ [27]). И хотя эпицентры главных толчков в основном находились на территории района № 3, часть очаговой области находилась в районе № 2, поэтому средние показатели за указанный период столь высоки.

Сейсмическая активность в промежуточном слое также была невысока: зарегистрировано 16 землетрясений, из них 10 – с $M^p \geq 4.5$, что на два события больше среднего значения за период 2001–2013 гг., суммарная сейсмическая энергия землетрясений слоя в 11 раз меньше среднего ее значения за указанный период (табл. 1).

Самое сильное с $M^p=4.7$ и $K_c=10.6$ мелкофокусное землетрясение произошло 4 января в $16^{\text{h}}10^{\text{m}}$ ($h=79$ км). Самое сильное землетрясение с гипоцентром в промежуточном слое (2 на рис. 4) произошло 10 января в $18^{\text{h}}02^{\text{m}}$ с $h=84$ км, $M^p=5.6$, $MPV=6.1$. Макросейсмический эффект от этих землетрясений не зафиксирован.

Механизм очага определен для одного землетрясения (17 на рис. 4), произошедшего 26 апреля в $13^{\text{h}}55^{\text{m}}$ с $M^p=5.0$, $MSH=5.5$, $M_w(\text{рег})=4.9$, $h=144$ км, тип механизма – взрез с субвертикальной плоскостью восток–северо-восточного простирания.

На рис. 5 представлен график Бенъоффа, характеризующий ход сейсмического процесса в Курило-Охотском регионе в течение 2014 г. Примерно одинаковый наклон графика может свидетельствовать об отсутствии областей затишья или активизации перед сейсмическими событиями регионального масштаба, все происходящие землетрясения можно отнести к фоновой сейсмичности. Стрелками показаны самые сильные землетрясения года, вызвавшие «ступеньки» на графике.

Первая «ступень» соответствует двум событиям июля 2014 г. Первое из них – землетрясение в промежуточном глубинном слое с эпицентром восточнее о. Уруп, зарегистрированное 17 июля в $22^{\text{h}}32^{\text{m}}$ UTC¹ с $M^p=5.8$,

¹ Здесь и далее время возникновения землетрясения приводится в единицах UTC – всемирного координированного времени (Coordinated Universal Time)

В **Симушир-Урупском районе (№ 3)**, в верхнем глубинном слое, продолжался спад сейсмической активности, начавшийся после двух Симуширских землетрясений [27]). В 2014 г. здесь зарегистрировано 128 мелкофокусных землетрясения, из них 37 событий с $M^p \geq 4.5$, что в 1.4 раза меньше среднего значения за период 2001–2013 гг., суммарная сейсмическая энергия меньше в 182 раза среднего значения за указанный период (табл. 1).

Самое сильное мелкофокусное землетрясение (36 на рис. 4) произошло 14 ноября в 04^h16^m с $MLH=5.5$, $h=34$ км, ощущалось в пос. Рейдово (237 км) с интенсивностью 2–3 балла. Механизм очага несколько необычный для этого района и глубины – взрез с поднятым северо-западным и опущенным юго-восточным крылом.

В промежуточном глубинном слое $h=81$ –300 км зарегистрировано 33 землетрясения, из них 13 имеют магнитуду $M^p \geq 4.5$, что в 1.5 раза меньше среднего значения числа землетрясений за указанный период (табл. 1).

Два самых сильных землетрясения промежуточного слоя – 23 и 27 на рис. 4. О первом сказано выше, второе произошло 31 августа в 02^h15^m с $M_{W_{per}}=4.8$, $MSH=6.0$, эпицентр находился к востоку от о. Симушир, макросейсмический эффект не отмечен. Механизм очага – взброс, произошедший в условиях субгоризонтального ЮЮВ–ССЗ сжатия.

Макросейсмический эффект проявился от трех землетрясений, интенсивность сотрясений не превышала 3 баллов.

В **Северо-Итурупском районе (№ 4)** зарегистрировано 189 мелкофокусных землетрясений, 24 из них имели магнитуды $M^p \geq 4.5$, что совпадает со средним значением за период 2001–2013 гг. Суммарная сейсмическая энергия в восемь раз меньше среднего значения за указанный период (табл. 1). О самом сильном мелкофокусном землетрясении района (25 на рис. 4) написано выше.

В промежуточном слое зарегистрировано девять землетрясений, из них пять с $M^p \geq 4.5$, что в 1.8 раза меньше среднего значения за 2001–2013 гг., суммарная сейсмическая энергия в 19 раз меньше среднего значения за указанный период. Самое сильное землетрясение (18 на рис. 4) произошло 29 мая в 21^h58^m с $M^p=5.2$, $K_C=11.6$, $M_{W_{per}}=4.6$, $h=81$ км. Оно ощущалось в г. Курильск (114 км), пос. Рейдово (114 км) с интенсивностью в 2–3 балла, в пос. Южно-Курильск (195 км) – 2 балла. Механизм очага – взрез с правосторонней сдвиговой подвижкой вдоль вертикальной плоскости юго-западного простирания.

Всего в районе отмечено семь ощутимых землетрясений, интенсивность всех, кроме (25), не превышала 3–4 баллов. Механизмы очагов определены для семи землетрясений [26].

В **Кунашир-Шикотанском районе (№ 5)** общее число мелкофокусных землетрясений достигло $N=366$ (табл. 1), из них 28 – с $M^p \geq 4.5$, что на два события меньше среднего значения за период 2001–2013 гг. Суммарная сейсмическая энергия в 4.9 раза ниже среднего значения за указанный период.

Самое сильное мелкофокусное землетрясение (34 на рис. 4) произошло 5 ноября в 14^h01^m с $M^p=5.4$, $K_C=12.1$, $M_{W_{per}}=4.5$, $h=48$ км, ощущалось в пос. Головинно (120 км) с интенсивностью в 3 балла, в нескольких населенных пунктах – 2 балла. Механизм очага – сбросовый с небольшой сдвиговой компонентой.

В промежуточном слое зарегистрировано 56 землетрясений, число событий с $M^p \geq 4.5$ ($N=8$) в 2.1 раза меньше среднего значения за период 2001–2013 гг., а суммарная сейсмическая энергия – в 25 раз ниже среднего значения за указанный период.

Самое сильное землетрясение промежуточного слоя (40 на рис. 4) произошло 21 декабря в 16^h51^m с $M^p=5.5$, $K_C=12.1$, $M_{W_{per}}=4.6$, $h=101$ км. Оно ощущалось в Японии с интенсивностью в 2 балла. Механизм очага – сдвиг в условиях субширотного сжатия и субмеридионального растяжения.

Всего на территории района зарегистрировано 34 землетрясения, проявивших макросейсмический эффект. Из них в населенных пунктах Южных Курильских островов ощущались 15 землетрясений, максимальная интенсивность составила 3–4 балла. На территории Японии макросейсмический эффект достигал 6–7 баллов. Механизмы очагов определены для десяти землетрясений [26].

Район **о. Хоккайдо (№ 6)** с 2004 по 2013 г. был исключен из зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН, поэтому сопоставления параметров сейсмического режима с данными 2001–2013 гг. не проводится.

Здесь в верхнем интервале глубины $h \leq 80$ км было зарегистрировано 109 землетрясений, из них 19 – с $M^p \geq 4.5$; в интервале глубин $h = 81–300$ км – 17 землетрясений, семь – с магнитудой с $M^p \geq 4.5$ (табл. 1).

Самое сильное землетрясение произошло 8 июля в $09^h 05^m$ с $MLH = 5.4$, $h = 40$ км.

Макросейсмический эффект отмечен для 31 землетрясения, из них на территории России ощущались только два с интенсивностью, не превышающей 2 баллов. На территории Японии макросейсмический эффект достигал 6–7 баллов. Механизмы очагов определены для восьми землетрясений [26].

Японское море (№ 7) также в период 2004–2013 гг. не входило в зону ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН, поэтому сопоставления параметров сейсмического режима с данными 2001–2013 гг. не проводится.

В 2014 г. на территории района зарегистрировано семь землетрясений с глубиной от 95 до 306 км. Самое сильное (3 на рис. 4) произошло 11 января в $03^h 56^m$ с $h = 219$ км, $M^p = 5.3$, $M_{w\text{per}} = 4.8$, $MPV = 5.5$. Механизм очага – взрез с большой правосторонней компонентой вдоль суб-вертикальной плоскости восток–юго-восточного простирания.

Механизм очага определен также для землетрясения 35 на рис. 4, зарегистрированного 11 ноября в $23^h 23^m$ с $h = 262$ км, $M^p = 4.6$, $M_{w\text{per}} = 4.5$ и ощущавшегося в Японии с интенсивностью в 3 балла. Механизм очага этого события также взрез с правосторонним сдвигом вдоль вертикальной плоскости, однако простирание этой плоскости – ВСВ.

В **Охотском море (№ 8)** зарегистрировано пять слабых ($M^p < 4.5$) мелкофокусных и 28 глубокофокусных ($h = 137–559$ км) землетрясений, 13 из них – с $M^p \geq 4.5$, что на два события меньше среднего значения за период 2001–2013 гг. Суммарная сейсмическая энергия оставалась в 4812 раз меньше среднего значения за указанный период (табл. 1).

Самое сильное землетрясение (28 на рис. 4) упоминалось в начале этой статьи.

Макросейсмический эффект проявился от двух землетрясений. Одно из них (13 на рис. 4) произошло 12 марта в $18^h 18^m$ с $h = 403$ км, $M^p = 5.1$, $M_{w\text{per}} = 5.0$, $MSH = 5.5$ и ощущалось на территории Кроноцкого заповедника (п-ов Камчатка) с интенсивностью в 3–4 балла. Механизм очага – взрез с небольшой сдвиговой компонентой и меридионально ориентированной вертикальной плоскостью.

Второе ощутимое землетрясение произошло 9 декабря в $17^h 23^m$ с $h = 307$ км, $M^p = 5.2$, $MSH = 5.6$ и ощущалось тоже на п-ове Камчатка, в пос. Паужетка, с интенсивностью в 2 балла.

Механизмы очагов определены для семи землетрясений [26].

Заключение. Сейсмичность региона в 2014 г. можно считать умеренной, число землетрясений с магнитудой $M^p \geq 4.5$ и их суммарная сейсмическая энергия не превышают средних величин за 13-летний период. Это подтверждает и функция распределения сейсмической энергии Курило-Охотского региона по данным каталогов за 1962–2014 гг., приведенная в [28], где уровень сейсмичности региона в 2014 г. по методике «СОУС'09» отнесен к категории «фоновый, средний».

Пространственное распределение гипоцентров землетрясений и преимущественная ориентация осей напряжений максимального сжатия, ортогональная островной дуге, отражают тот факт, что большинство землетрясений Курило-Охотского региона вызвано процессом поддвига Тихоокеанской океанической литосферной плиты под Охотоморскую. В 2014 г. удалось определить механизмы очагов большого количества относительно сильных событий в зоне промежуточных глубин (60–300 км) с характерным для этих участков взрезом относительно поверхности и вертикальной нодальной плоскостью, ориентированной вдоль Курильской островной дуги. При этом отмечены события с поднятым как северо-западным, так и юго-восточным крылом разрыва, происходящие, вероятно, в нижнем и верхнем слое двойной сейсмофокальной зоны в условиях соответственно растяжения и сжатия.

Л и т е р а т у р а

1. Костылев Д.В. Сейсмические станции Курило-Охотского региона в 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
2. Костылев Д.В. Сейсмические станции Приамурья и Приморья в 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.

3. Костылев Д.В. Региональная сеть сейсмических станций Сахалина в 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
4. 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.
5. Миталёва Н.А., Бойчук А.Н. Землетрясения Курило-Охотского региона // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 144–154.
6. Поплавская Л.Н., Миталёва Н.А., Бобков А.О., Бойчук А.Н., Рудик М.И. Землетрясения Курило-Охотского региона // Землетрясения в СССР в 1990 году. – М.: Наука, 1996. – С. 91–100.
7. Тараканов Р.З. Новые годографы P и S - P -волн для Дальневосточного региона. – Владивосток: ДВО РАН. 2005. – 196 с.
8. Тараканов Р.З., Ким Чун Ун, Сухомлинова Р.И. Закономерности пространственного распределения гипоцентров Курило-Камчатского и Японского регионов и их связь с особенностями геофизических полей // Геофизические исследования зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. – М.: Наука, 1977. – С. 67–75.
9. Соловьёв С.Л., Соловьёва О.Н. Скорость колебания земной поверхности в объёмных волнах неглубокофокусных Курило-Камчатских землетрясений на расстояниях до 17° // Физика Земли. – 1967. – № 1. – С. 37–60
10. Соловьёв С.Л., Соловьёва О.Н. Соотношение между энергетическим классом и магнитудой Курильских землетрясений // Физика Земли. – 1967. – № 2. – С. 13–23.
11. Соловьёва О.Н., Соловьёв С.Л. Новые данные о динамике сейсмических волн неглубокофокусных Курило-Камчатских землетрясений // Проблемы цунами. – М.: Наука, 1968. – С. 75–97.
12. Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.C., Bollinger, G.A. A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data // Earthquake Notes. – 1984. – 55. – No. 3. – P. 15.
13. Сафонов Д.А., Коновалов А.В. Аprobация вычислительной программы FOCMEC для определения фокальных механизмов землетрясений Курило-Охотского и Сахалинского регионов // Тихоокеанская геология. – 2013. – 32. – № 3. – С. 102–117.
14. Sokos, E.N., Zahradnik, J. ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data // Computers & Geosciences. – 2008. – V. 34. – Issue 8. – P. 967–977.
15. 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.
16. 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.
17. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2014. (2020) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2014
18. Japan Meteorological Agency. – URL: <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
19. International Seismological Centre (2020), On-line Bulletin, <https://doi.org/10.31905/D808B830>
20. Фокина Т.А., Дорошкевич Е.Н., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А. Курило-Охотский регион // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 180–187.
21. Габсатарова И.П. Границы сейсмоактивных регионов с 2004 г. // Землетрясения России в 2004 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 139.
22. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1982. – 272 с.
23. Гутенберг Б., Рихтер К.Ф. Магнитуда, интенсивность, энергия и ускорение как параметры землетрясений (II) // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 72–119.
24. Дорошкевич Е.Н., Фокина Т.А. (отв. сост.), Пиневиц М.В., Швидская С.В. Каталог землетрясений Курило-Охотского региона за 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
25. Фокина Т.А., Лукаш Н.А. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населённых пунктах Курило-Охотского региона и прилегающих территорий в 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.
26. Сафонов Д.А., Богинская Н.В. (отв. сост.) Каталог механизмов очагов землетрясений Курило-Охотского региона за 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – Приложение на CD-ROM.

27. Рогожин Е.А., Левина В.И. Симуширские землетрясения 15 ноября 2006 г. (I) и 13 января 2007 г. (II) с $M_w=8.3$ и $M_w=8.1$ (Средние Курилы) // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 326–338.
28. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.В., Воропаев В.П. Оценка уровня сейсмической активности регионов России // Землетрясения России в 2014 году. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 67–73.

KURIL-OKHOTSK REGION

Fokina T.A.¹, Safonov D.A.^{1,2}, Doroshkevich E.N.¹, Kostylev D.V.¹

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

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

Abstract. The review of the Kuril-Okhotsk region seismicity in 2014 is presented. Earthquake parameters were obtained on the basis of the data of the seismic stations of Sakhalin branch GS RAS and the data of neighboring seismological Russian and foreign agencies. 83.6 % of earthquakes are located within the depth interval of $h \leq 80$ km, 13.5 % – within the intermediate layer $h=81-300$ km, 2.9 % of earthquakes have depths $h > 300$ km; the maximum depth of the hypocenter was $h=559$ km. The analysis of the seismic situation in 2014 in comparison with the data for 2001–2013 is carried out, a description of the seismic situation in seismically active regions is given. For 30 earthquakes information was obtained on the macroseismic effect in Russia, the maximum intensity did not exceed $I_i=5$; for 50 earthquakes there was information on the intensity in the territory of the Japanese Islands, the maximum value was $I_i=6-7$ by the MSK-64 scale. The strongest earthquake in the region occurred in the central part of the Sea of Okhotsk on September 18 at 04^h17^m with $h=529$ km and $MSH=6.2$. Its focal mechanism is classified as an incision with a small right-lateral strike-slip component along a subvertical plane of north-eastern strike. The seismicity of the region in 2014 can be considered as a moderate, the number of earthquakes with a magnitude $M^p \geq 4.5$ and their total seismic energy do not exceed the average values over a 13-year period, the level of seismicity of the region according to the SOUS'09 method is classified as a “background average”. The distribution of earthquake hypocenters and their focal mechanisms show that most of the earthquakes in the Kuril-Okhotsk region relate to the process of the subduction of the Pacific lithospheric plate under the Okhotsk Sea plate.

Keywords: earthquake, seismicity, seismic station, magnitude, Kuril Island arc, seismic energy.

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.15

For citation: Fokina, T.A., Safonov, D.A., Doroshkevich, E.N., & Kostylev, D.V. (2020). [Kuril-Okhotsk region]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014) 162–171. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.15

R e f e r e n c e s

1. Kostylev, D.V. (2020). [Seismic stations of Kuril-Okhotsk region in 2014]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
2. Kostylev, D.V. (2020). [Seismic stations of Amur and Primorye in 2014]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
3. Kostylev, D.V. (2020). [Regional network of seismic stations of Sakhalin in 2014]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
4. Poplavskaya, L.N., Bobkov, A.O., Kuznetsova, V.N., Nagornykh, T.V., & Rudik, M.I. (1989). [The principles of formation and structure of algorithmic providing the regional center of processing of seismological observations (on the example of the Far East)]. In *Seismologicheskiye nablyudeniia na Dal'nem Vostoke USSR. Metodicheskiye raboty ESSN* [Seismological observations in the Far East of the USSR. Methodical works of ESSN] (pp. 32–51). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
5. Mitalyova, N.A., & Bojchuk, A.N. (1988). [Earthquakes of the Kuril-Okhotsk Region]. In *Zemletryaseniia v SSSR v 1985 godu* [Earthquakes in the USSR, 1985] (pp. 144–154). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
6. Poplavskaya, L.N., Mitalyova, N.A., Bobkov, A.O., Bojchuk, A.N., & Rudik, M.I. (1996). [Earthquakes of the Kuril-Okhotsk Region]. In *Zemletryaseniia v SSSR v 1990 godu* [Earthquakes in the USSR, 1990] (pp. 91–100). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
7. Tarakanov, R.Z. (2005). *Novye godografy P i S–P–voln dlya Dal'nevostochnogo regiona* [New hodographs of P and S–P– waves for the Far Eastern region]. Vladivostok, Russia: FEB RAS Publ., 196 p.

8. Tarakanov, R.Z., Kim Chun Un, & Suhomlinova, R.I. (1977). [Regularities of the spatial distribution of the hypocenters of the Kuril-Kamchatka and Japanese regions and their relationship with the peculiarities of geophysical fields]. In *Geofizicheskie issledovaniya zony perekhoda ot Aziatskogo kontinenta k Tihomu okeanu* [Geophysical studies of the transition zone from the Asian continent to the Pacific Ocean] (pp. 67–75). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
9. Solov'yov, S.L., & Solov'yova, O.N. (1967). [Earth surface oscillation velocity in body waves of shallow focus Kuril-Kamchatka earthquakes at distances up to 17°]. *Fizika Zemli*. [Izvestiya. Physics of the Solid Earth], 1, 37–60. (In Russ.).
10. Solov'yov, S.L., & Solov'yova, O.N. (1967). [Relationship between the energy class and the magnitude of the Kuril earthquakes]. *Fizika Zemli*. [Izvestiya. Physics of the Solid Earth], 2, 13–23. (In Russ.).
11. Solov'yov, S.L., & Solov'yova, O.N. (1968). [New data on the dynamics of seismic waves of shallow focus Kuril-Kamchatka earthquakes]. In *Problemy tsunami*. [Tsunami problems] (pp. 75–97). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
12. Snoke, J.A. (1984). A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data. *Earthquake notes*, 55, 15.
13. Safonov, D.A., & Konovalov, A.V. (2013). [Testing the FOCMEC computing program to determine the focal mechanisms of earthquakes in the Kuril-Okhotsk and Sakhalin regions]. *Tihookeanskaya geologiya*. [Pacific geology], 32(3), 102–117. (In Russ.).
14. Sokos, E.N., & Zahradnik, J. (2008). ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data. *Computers & Geosciences*, 34(8), 967–977.
15. Sokos, E., & Zahradnik, J. (2013). Evaluating centroid moment tensor uncertainty in the new version of ISOLA software. *Seismological Research Letters*, 84(4), 656–665.
16. Safonov, D.A., & Konovalov, A.V. (2017). [Moment tensor inversion in the Kuril-Okhotsk and Sakhalin Regions using ISOLA software]. *Tihookeanskaya geologiya* [Pacific Ocean geology], 36(3), 102–112. (In Russ.).
17. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2014. (2020). Retrieved from ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2014
18. Japan Meteorological Agency. (2020). Retrieved from <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
19. International Seismological Centre (2020). On-line Bulletin, <https://doi.org/10.31905/D808B830>
20. Fokina, T.A., Doroshkevich, E.N., Nagornyh, T.V., & Safonov, D.A. (2010). [Kuril-Okhotsk Region]. In *Zemletryaseniia severnoi Evrazii v 2004 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2004] (pp. 180–187). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
21. Gabsatarova, I.P. (2007). [Borders of seismoactive regions of Russia since 2004]. In *Zemletryaseniya Rossii v 2004 godu*. [Earthquakes of Russia in 2004] (p. 139). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
22. *Instruktsiia o poriadke proizvodstva i obrabotki nabliudenii na seismicheskikh stantsiiakh Edinoi sistemy seismicheskikh nabliudenii SSSR* [Instructions on the procedure for the production and processing of observations at seismic stations of the Unified System of Seismic Observations of the USSR]. (1982). Moscow, Russia: Nauka Publ., 272 p. (In Russ.).
23. Gutenberg, B., & Richter, K.F. (1961). [Magnitude, intensity, energy and acceleration as parameters of earthquakes (II)]. In *Slabye zemletryaseniya*. [Weak earthquakes] (pp. 72–119). Moscow, Russia: IL Publ. (In Russ.).
24. Doroshkevich, E.N., Fokina, T.A., Pinevich, M.V., & Shvidskaya, S.V. (2020) [Catalog of earthquakes of Kuril-Okhotsk Region]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
25. Fokina, T.A., & Lukash, N.A. (2020). [The macroseismic effect of tangible earthquakes in the settlements of Kuril-Okhotsk Region in 2014]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
26. Safonov, D.A., & Boginskaya, N.V. (2020) [Catalog of the mechanisms of the foci of Kuril-Okhotsk Region earthquakes in 2014]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
27. Rogozhin, E.A., & Levina, V.I. (2013). [Simushir earthquakes on November 15, 2006 (I) and January 13, 2007 (II) with $M_w=8.3$ and $M_w=8.1$ (Middle Kuril Islands)]. In *Zemletryaseniia severnoi Evrazii v 2007 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2007] (pp. 326–338). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
28. Saltykov, V.A., Kravchenko, N.M., Poygina, S.G., & Voropaev, V.P. (2016). [Estimation of the level of seismic activity In Russian regions]. In *Zemletryaseniia Rossii, 2014 god* [Earthquakes In Russia, 2014] (pp. 67–73). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).