

Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2019 году

© 2020 Д. А. Сафонов*², Д. В. Костылев^{1,2}, Т. А. Фокина¹, Н. С. Коваленко¹¹Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск, Россия²Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

*E-mail: d.safonov@imgg.ru

Резюме. В работе представлен обзор сейсмичности южной части Дальнего Востока России: регионов Приамурья и Приморья, Сахалинского и Курило-Охотского, основанный на предварительных данных каталогов землетрясений Сахалинского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», полученных в 2019 г. Дана краткая характеристика сейсмичности регионов за прошедший год, показан ее уровень в сравнении с предыдущими годами, указаны наиболее сильные и интересные для изучения землетрясения. В сейсмическом отношении 2019 год выдался относительно спокойным во всех трех регионах, отсутствовали сейсмические события магнитудой более 6.2. Следует уделить внимание пониженному уровню сейсмической активности средних Курильских островов.

Ключевые слова: землетрясения, сейсмичность, сейсмическая активность, механизм очага землетрясения, Приамурье, Приморье, Сахалин, Курило-Охотский регион.

Для цитирования: Сафонов Д.А., Костылев Д.В., Фокина Т.А., Коваленко Н.С. Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2019 году. *Геосистемы переходных зон*, 2020, т. 4, № 2, с. 146–159.

<https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.2.146-159>

Seismicity of the South Far East of Russia in 2019

Dmitry A. Safonov*², Dmitry V. Kostylev^{1,2}, Tatjana A. Fokina¹, Natalya S. Kovalenko¹¹Sakhalin Branch of the FRC “United Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences”, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia²Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

*E-mail: d.safonov@imgg.ru

Abstract. This article presents an overview of the seismicity of the southern part of the Russian Far East, comprising Primorsky Krai, Sakhalin and Amur oblasts including Kuril-Okhotsk, based on preliminary data from the earthquake catalogues of the Sakhalin branch of the Federal Research Center “United Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences”, obtained in 2019. A brief description of the seismicity of the regions over the past year is provided, showing its level in comparison with the previous years and indicating the strongest and most seismically interesting earthquakes. In terms of seismicity, 2019 was relatively calm in all three regions, with no seismic events of magnitude greater than 6.2. Particular attention is drawn to the reduced level of seismic activity in the middle Kuril Islands.

Keywords: earthquakes, seismicity, seismic activity, earthquake focal mechanism, Amur region, Primorye, Sakhalin, Kuril-Okhotsk region.

For citation: Safonov D.A., Kostylev D.V., Fokina T.A., Kovalenko N.S. Seismicity of the South Far East of Russia in 2019. *Geosistemy perekhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2020, vol. 4, no. 2, pp. 146–159 (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.2.146-159>

Введение

Регистрацией сейсмических событий естественного и техногенного характера в южной части российского Дальнего Востока занимается Сахалинский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (СФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Южно-Сахалинск. Традиционно и согласно границам филиалов геофизической службы [Габсатарова, 2007] эта территория делится на три региона, различающихся по уровню и характеру сейсмичности: Курило-Охотский, включающий территорию Курильских островов, прилегающую часть Тихого океана, южную и центральную части охотоморской акватории, а также о. Хоккайдо и северную часть Японского моря; Сахалинский – о. Сахалин и прилегающие акватории Охотского, Японского морей и Татарского пролива; регион Приамурье и Приморье, включающий Приморский и большую часть Хабаровского края, Амурскую и Еврейскую автономную области, а также приграничные районы Китая и прибрежную часть морей (рис. 1).

Сводная обработка землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН проводится в два этапа. На первом составляется каталог землетрясений по оперативным данным (1–3 дня с момента события), на его основе формируется ежегодный отчет. На втором этапе (в текущем и следующем году) полученные результаты уточняются, дополняются, формируется окончательный каталог. Зоны ответственности филиала по оперативным и окончательным данным несколько различаются: окончательную обработку каталога землетрясений северных Курильских островов, входящих в зону оперативной обработки СФ ФИЦ ЕГС РАН (в связи с территорией ответственности сейсмостанции Южно-Сахалинск по контролю цунамигенных землетрясений, а также необходимостью своевременного оперативного информирования о чрезвычайных ситуациях в пределах всей Сахалинской области), производит Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН. Границы зоны ответственности показаны на рис. 1.

Регулярный обзор сейсмичности зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН публи-

куется в сборниках «Землетрясения России...» (например, [Фокина и др., 2018]) с отставанием в 2 года и, более детально, в ежегодном рецензируемом журнале «Землетрясения Северной Евразии» (например, [Фокина и др., 2019; Коваленко и др., 2019]) с отставанием в 6 лет. В 2019 г. авторы регулярных публикаций в упомянутых изданиях приняли решение оперативно знакомить заинтересованных специалистов с сейсмичностью южной части Дальнего Востока РФ [Сафонов и др., 2019] на основе оперативного каталога СФ ФИЦ ЕГС РАН с целью обратить внимание на наиболее интересные и заслуживающие изучения сейсмические события регионов. В работе показаны современные регистрационные возможности филиала. Перечислены наиболее сильные землетрясения по двум признакам: энергетическому (магнитудному) и макросейсмическому. Приводятся механизмы очагов сильных событий. Сравняется уровень сейсмичности региона в 2019 г. с уровнем в предыдущие годы. Наибольшее внимание уделяется району Курильской островной дуги, в связи с высоким уровнем его сейсмичности.

В практике обработки землетрясений Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН определяется большое количество энергетических характеристик землетрясений (магнитуд, энергетических классов). Для удобства в данной работе все они по переходным формулам [Фокина и др., 2019] сведены к магнитуде по поверхностной волне M_{LH} , обозначаемой далее просто M . Также в тексте упоминается энергетический класс С.Л. Соловьева [Соловьев, Соловьева, 1967] K_C и моментная магнитуда M_w , получаемая при определении тензора сейсмического момента очага землетрясений.

Сеть сейсмологических наблюдений СФ ФИЦ ЕГС РАН

В 2019 г. сеть станций сейсмологических наблюдений в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН не претерпела изменений по сравнению с предыдущим годом [Сафонов и др., 2019]. Она состояла из 44 пунктов инструментальных непрерывных наблюдений, включая 34 стационарных и 10 автономных

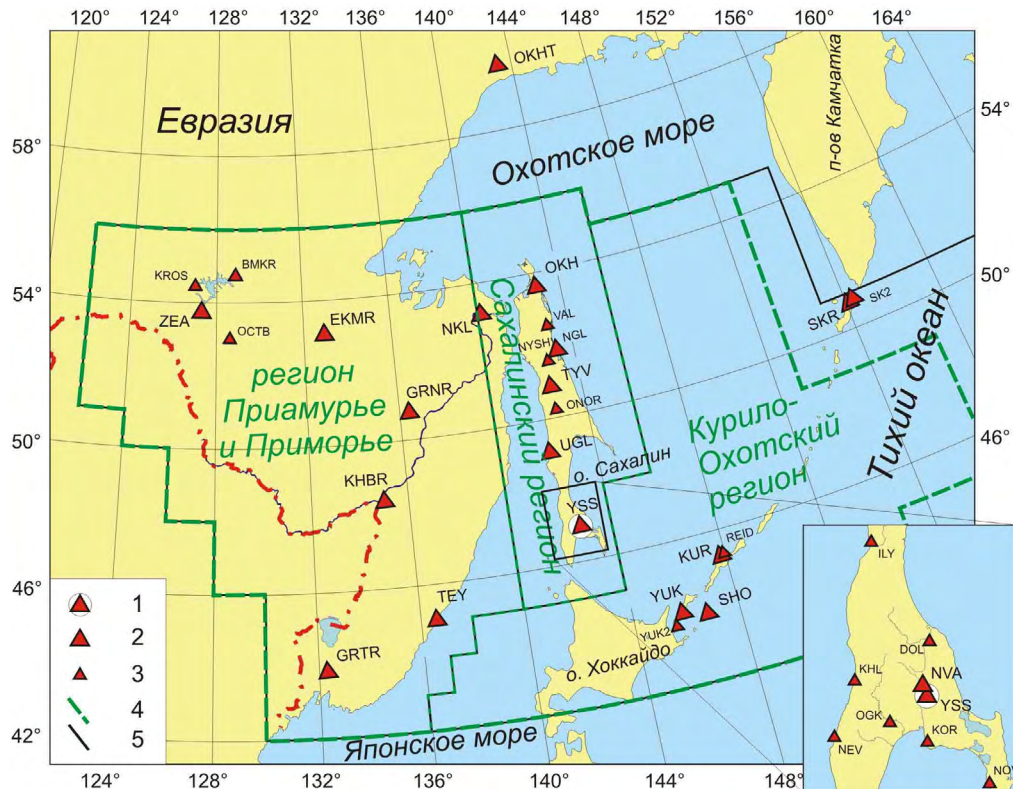


Рис. 1. Расположение стационарных сейсмических станций СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2019 г. 1 – информационно-вычислительный центр на станции «Южно-Сахалинск»; 2 – станции, оборудованные в качестве основного датчика широкополосными велосиметрами; 3 – станции, оборудованные в качестве основного датчика акселерометрами либо короткопериодными велосиметрами; 4 – зона ответственности СФ за данные окончательного каталога; 5 – зона ответственности СФ за данные оперативных наблюдений. На врезке – станция «Южно-Сахалинск» и выносные опорные пункты наблюдений южного Сахалина.

Figure 1. Stationary seismic stations of the SB FRC UGS RAS location-map in 2019. 1 – data-processing center at the “Yuzhno-Sakhalinsk” station; 2 – stations equipped with broadband velocimeters as the main sensor; 3 – stations equipped with accelerometers or short-period velocimeters as the main sensor; 4 – SB responsibility zone for the data of final catalog; 5 – SB responsibility zone for the data of operative observation. The sidebar shows the Yuzhno-Sakhalinsk station and remote observation points of southern Sakhalin.

полевых (локальная сеть на юге о. Сахалин).

На материковой части зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН (регион Приамурье и Приморье) расположено 10 стационарных пунктов наблюдений и один за границей этой зоны – сейсмостанция «Охотск» (ОКНТ) (рис. 1). Сейсмостанция «Кировский» (KROS) в 2018–2019 гг. не работала по техническим причинам. На о. Сахалин расположено 16 стационарных наблюдательных пунктов, из них 12 автоматических, в том числе 8 выносных пунктов опорной станции «Южно-Сахалинск» (YSS) (рис. 1, врезка). Регистрируемые данные всех выносных пунктов обрабатываются в реальном времени на сейсмостанции «Южно-Сахалинск». Помимо этого на юге острова действует локальная сеть из 10 автономных полевых станций для детального наблюдения

за сейсмичностью (комплект аналогичной аппаратуры есть и на станции «Южно-Сахалинск»), данные которой недоступны в режиме реального времени, их обрабатывают в СФ ФИЦ ЕГС РАН позднее по мере поступления. На Курильских островах находятся 7 стационарных наблюдательных пунктов, из них 4 автоматических. Все пункты оборудованы цифровой аппаратурой. Общее число сейсмометров составляет 61. Из них 25 – акселерометры, 22 – широкополосные велосиметры, 14 – короткопериодные велосиметры.

Отдельно стоит выделить сеть станций сильных движений (ССД) СФ ФИЦ ЕГС РАН. Наличие достаточно разветвленной сети акселерометров на Сахалине и южных Курильских островах позволяет СФ ФИЦ ЕГС РАН проводить оперативную оценку интенсивно-

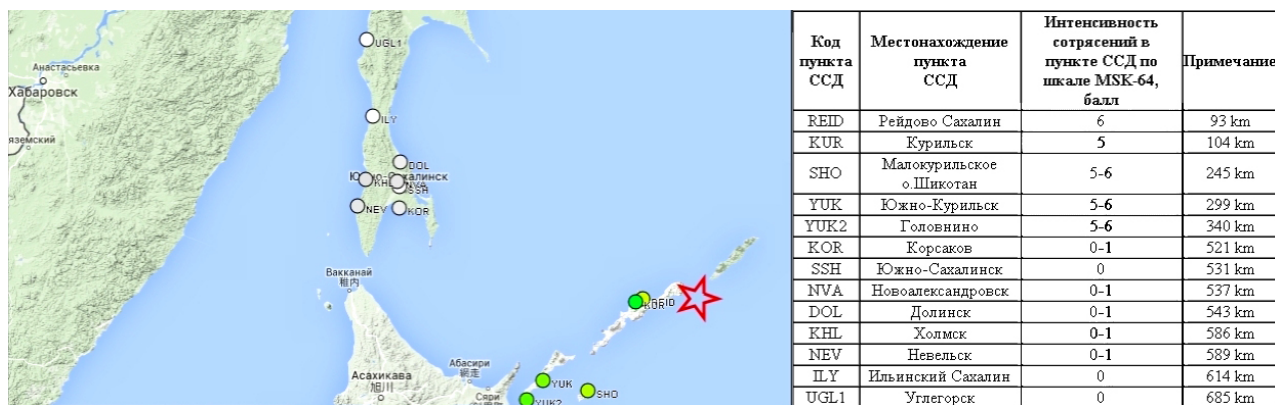


Рис. 2. Положение станций сильных движений и пример сейсмического события 13.02.2020 в районе южных Курильских островов (звезда – эпицентр) с оценкой макросейсмической интенсивности в пунктах наблюдений.

Figure 2. The position of the strong motion stations and an example of the 13.02.2020 seismic event in the area of the southern Kuril Islands (star – epicenter) with an estimate of the macroseismic intensity at the observation points.

сти произошедших землетрясений в режиме близком к реальному времени. Для этого при оперативной обработке землетрясения формируется отчет о параметрах события в каждом пункте установки ССД, производится расчет балльности по шкале MSK-64 [ГОСТ 34511-2018... , 2019] и результат представляется в графическом виде. Пример отчета о сильном событии (землетрясении 13 февраля 2020 г., $M = 7.0$) представлен на рис. 2.

Также в систему регистрации и обработки данных СФ ФИЦ ЕГС РАН в режиме реального времени включены данные станций ДВО РАН и ФИЦ ЕГС РАН на территории Дальневосточного федерального округа (17 станций) и данные семи станций Хоккайдского университета, расположенных в префектуре Хоккайдо (Япония).

Оценка регистрационных возможностей сейсмологической сети в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН и прилегающей территории, а также расположение сейсмических станций, включенных в систему сбора, приведены на рис. 3.

Текущая конфигурация сети сейсмических станций, с учетом установленного оборудования и привлечения

в оперативном режиме данных станций соседних регионов, позволяет обеспечить на большей части зоны ответственности возможность регистрации как минимум тремя сейсмостанциями (что необходимо для корректного определения эпицентра) землетрясений начиная с представительной магнитуды $M_{min} = 4.0$. Исключение составляют центральная часть Охотского, северная часть Японского моря, район средних Курильских островов и приграничная часть Приамурья, где представительной можно считать магнитуду

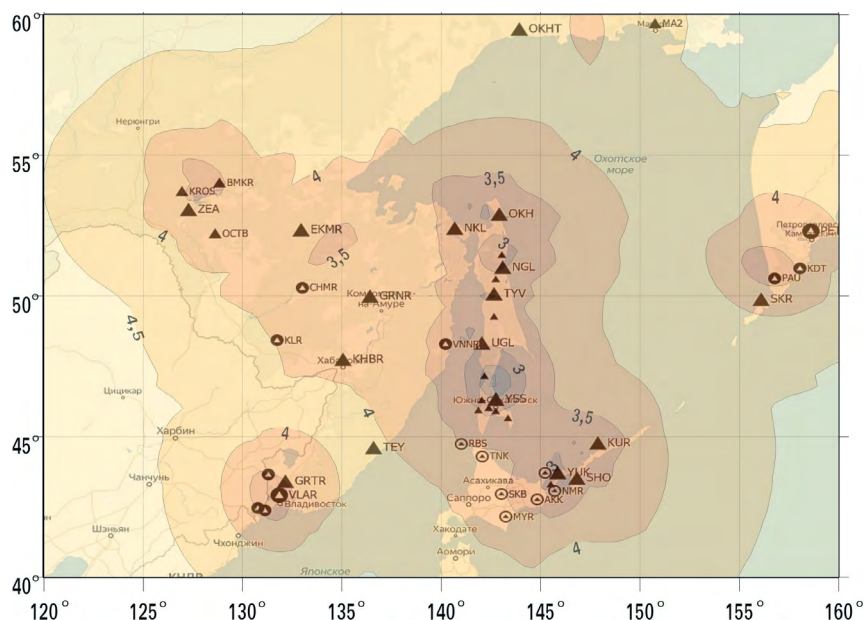


Рис. 3. Оценка регистрационных возможностей сети сбора данных СФ ФИЦ ЕГС РАН в зоне ответственности [Шулаков, Мурыськин, 2019]. Показаны изолинии M_{min} .

Figure 3. Assessment of the registration capabilities of the data collection network of the SB FRC UGS RAS in the responsibility zone [Shulakov, Murys'kin, 2019]. The M_{min} isolines are shown.

событий $M_{\min} = 4.5$. Благодаря более плотной сети сейсмостанций, а также доступу к короткопериодным станциям Хоккайдского университета, на части Южных Курил и территории Сахалинского региона порог уверенной регистрации составляет $M_{\min} = 3.5$.

Краткая характеристика отдельных землетрясений региона в 2019 г.

В данной работе используется информация о сейсмичности территории главным образом из оперативного каталога землетрясений СФ ФИЦ ЕГС РАН, пополняемого в течение 2–3 дней непосредственно после сейсмических событий. По итогам 2019 г. в нем содержатся параметры 1054 землетрясений, из которых 988 произошли в Курило-Охотском регионе, 50 – в Сахалинском регионе, 16 – в Приамурье и Приморье. Однако к моменту написания статьи были определены параметры всех землетрясений $M \geq 2.6$ с эпи-

центрами в Приамурье и Приморье (предварительный каталог по итогам года), так что их общее количество в данном регионе увеличилось до 32. Карта эпицентров событий показана на рис. 4.

На территории Приамурья и Приморья в 2019 г. с учетом предварительного каталога определены параметры 24 землетрясений с гипоцентрами в земной коре и 8 мантийных землетрясений с гипоцентрами в зоне субдукции Тихоокеанской литосферной плиты под территорию региона (рис. 4). В сейсмическом отношении 2019 год для региона Приамурья и Приморья выдался спокойным, без сильных ($M \geq 5.0$) землетрясений. По сравнению с многолетними значениями [Коваленко и др., 2019], последние три года (2017–2019 гг.) наблюдается снижение уровня сейсмической активности глубокофокусных ($H > 200$ км) землетрясений. Число и энергия коровых ($H = 10–40$ км) событий также остаются достаточно низкими, в 2019 г. меньше

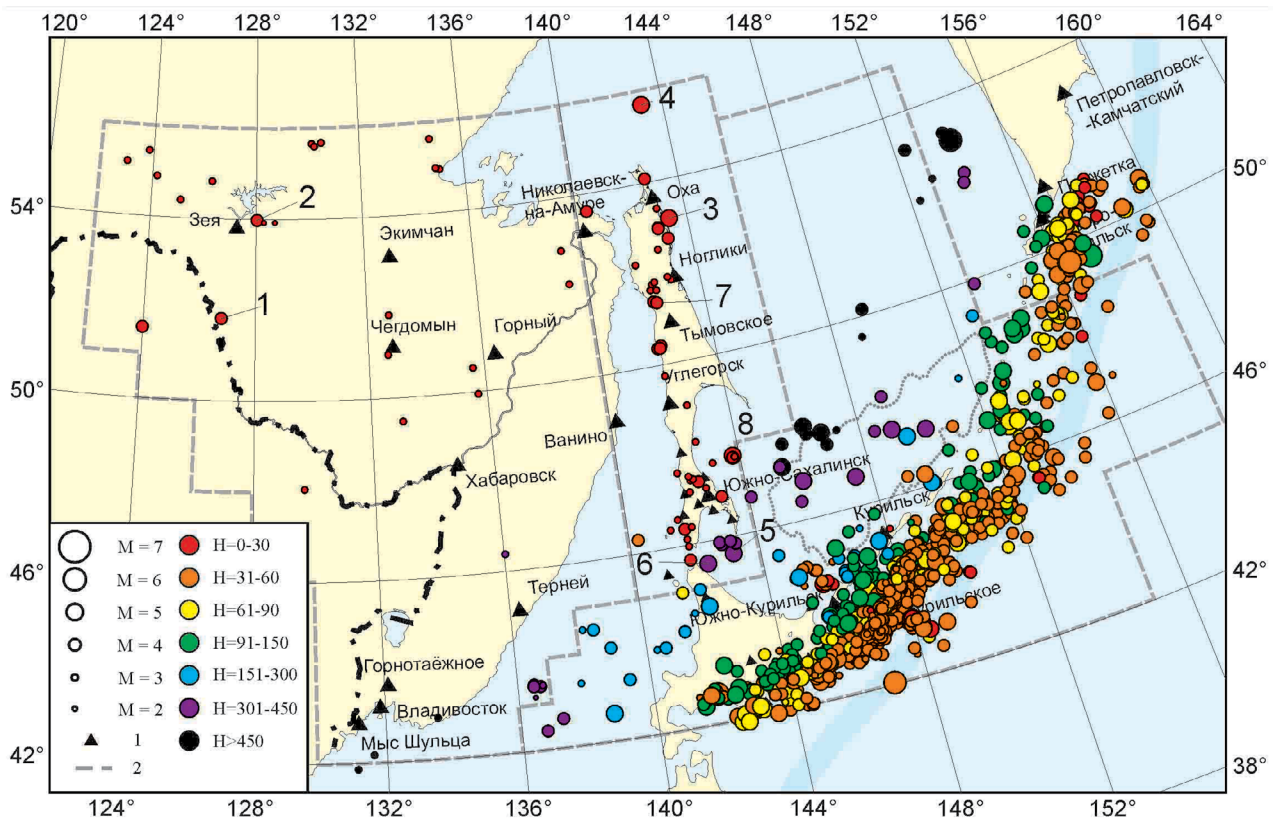


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2019 г. M – магнитуда по поверхностной волне $M_{\text{ЛН}}$, H – глубина гипоцентра, км; 1 – сейсмическая станция; 2 – границы регионов. Номера эпицентров согласно табл. 1.

Figure 4. Earthquakes' epicenters map in the SB FRC UGS RAS responsibility zone in 2019. M – surface wave magnitude $M_{\text{ЛН}}$, H – hypocenter depth, km; 1 – seismic station; 2 – region borders. Epicenters' numbers are in accordance with the table 1.

значений предыдущих 10 лет (рис. 5). Эпицентры наиболее значительных коровых землетрясений 2019 г. расположены в западной части региона (№ 1, 2 на рис. 4 и в табл. 1): 6 мая в 18:10 UTC ($M = 4.1$; $H = 10$ км) вблизи Российско-Китайской границы; 22 июля в 13:08 UTC ($M = 4.1$; $H = 12$ км) восточнее Зейского водохранилища, в хребте Соктахан. Данных об ощутимости землетрясений региона в 2019 г. не поступало.

Для Сахалинского региона 2019 год также был сейсмически спокойным, хотя по сравнению с 2018 г. количество и максимальная магнитуда зарегистрированных землетрясений оказались выше [Сафонов и др., 2019]. Региональной сейсмической сетью зарегистрированы и оперативно обработаны записи 50 землетрясений, 6 из которых мантийные – произошли в Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне под территорией Сахалинского региона. Из 44 коровых

землетрясений 10 вызвали ощутимые колебания в населенных пунктах о. Сахалин. Суммарная сейсмическая энергия коровых землетрясений ($H = 10-30$ км) близка к средним значениям прошедшего десятилетия (рис. 5), энергия глубокофокусных событий региона ($H > 250$ км) в 2019 г. несколько ниже средних многолетних значений. По энергетическому (магнитудному) критерию наиболее сильными в 2019 г. стали коровые события 23 июня в 21:01 UTC ($M = 4.9$; $H = 25$ км) с эпицентром на северо-восточном шельфе острова, 16 ноября в 22:30 UTC ($M = 4.6$; $H = 9$ км) с эпицентром в Охотском море севернее о. Сахалин (№ 3, 4 на рис. 4 и в табл. 1), а также два мантийных землетрясения с эпицентрами южнее о. Сахалин: 31 мая в 05:04 UTC ($M = 4.9$; $H = 305$ км; № 5 на рис. 4, табл. 1) и 28 августа в 01:29 UTC ($M = 4.7$; $H = 319$ км; № 6 на рис. 4, табл. 1), однако ощутимых сотрясений эти события

Таблица 1. Наиболее сильные землетрясения зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН по оперативным данным 2019 г.

Table 1. The most strong earthquakes of the SB FRC UGS RAS responsibility zone according to operational data 2019

№	Дата/Date	Время/time t_0	φ° , N	λ° , E	H , км	M	Интенсивность сотрясений в населенных пунктах, балл / Intensity, points
	day.mon.yr	h:min:s					
Регион Приамурье и Приморье / Amur-Primorye region							
1	06.05.2019	18:10:54.7	51.80	126.85	10	4.1	
2	22.07.2019	13:08:22.2	53.97	128.10	12	4.1	
Сахалинский регион / Sakhalin region							
3	23.06.2019	21:01:28.1	55.67	143.25	25	4.9	
4	16.11.2019	22:30:37.1	53.11	143.40	9	4.6	
5	31.05.2019	05:04:40.3	45.60	143.21	305	4.9	
6	28.08.2019	01:29:26.8	45.49	142.37	319	4.7	
7	8.06.2019	14:20:58.2	51.37	142.26	10	4.3	Арги-Паги, 3–4
8	6.08.2019	17:40:42.1	47.71	143.83	12	4.6	Макаров, 3–4; Стародубское, 3; Тихая, 2
Курило-Охотский регион / Kuril-Okhotsk region							
9	21.02.2019	12:22:39.9	42.63	141.91	54	5.6	
10	02.03.2019	03:22:55.2	42.01	147.05	50	6.0	Южно-Курильск, 3–4; Горячий Пляж, Малокурильское, 3
11	26.05.2019	22:10:21.1	50.15	156.82	70	5.8	Северо-Курильск, 4
12	12.06.2019	00:54:51.6	49.50	157.24	97	5.8	Северо-Курильск, 2
13	20.11.2019	08:26:06.4	53.01	154.16	525	6.2	
14	05.12.2019	12:38:26.0	49.55	156.50	60	5.9	Северо-Курильск, 4
15	03.12.2019	23:25:02.1	42.94	148.48	11	5.5	Малокурильское, 3–4
16	18.09.2019	02:54:26.3	44.34	148.34	55	4.3	Горный, Горячие Ключи, 4–5; Курильск, Рейдово, 4; Южно-Курильск, Горячий Пляж; Малокурильское, 2
17	23.11.2019	12:58:10.2	43.72	147.33	68	4.6	Малокурильское, 5; Южно-Курильск, Горячий Пляж, Лагунное, Головинно, 4; Крабозаводское, 3–4; Курильск, 2–3

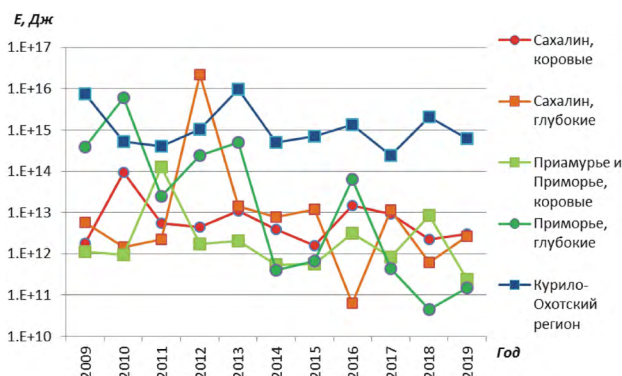


Рис. 5. Суммарная сейсмическая энергия землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2009–2019 гг.

Figure 5. Total seismic energy of the earthquakes in the SB FRC UGS RAS responsibility zone in 2009–2019.

не вызвали. Наибольшая интенсивность сотрясений зарегистрирована при землетрясениях 8 июня в 14:20 UTC ($M = 4.3$; $H = 9$ км; № 7 на рис. 4 и 7, табл. 1), вызвавшем колебания в 3–4 балла в пос. Арги-Паги в северной части острова, а также 6 августа в 17:40 UTC ($M = 4.6$; $H = 12$ км; № 8 на рис. 4 и 7, табл. 1) с эпицентром на юго-восточном шельфе

острова, вызвавшем колебания в 3–4 балла в пос. Макаров.

Из 988 землетрясений, определенных по оперативным данным на территории Курило-Охотского региона, 62 события вызвали ощутимые колебания в населенных пунктах островов (рис. 6 и 7).

Среди наиболее сильных событий по энергетическому критерию можно выделить следующие землетрясения:

21 февраля в 12:22 UTC ($M = 5.6$; $M_w = 5.6$; $H = 54$ км; № 9 на рис. 6, табл. 1; № 6 на рис. 8), в южной части о. Хоккайдо в очаговой зоне более сильного события 5 сентября 2018 г. с $M = 7.2$ [Сафонов и др., 2019]. Полученный механизм очага события 2019 г. можно охарактеризовать как сбросо-сдвиг в условиях меридионального растяжения. В населенных пунктах Сахалинской области это землетрясение не ощущалось;

2 марта в 03:22 UTC ($M = 6.0$; $M_w = 6.0$; $H = 50$ км; № 10 на рис. 6 и 7, табл. 1; № 8

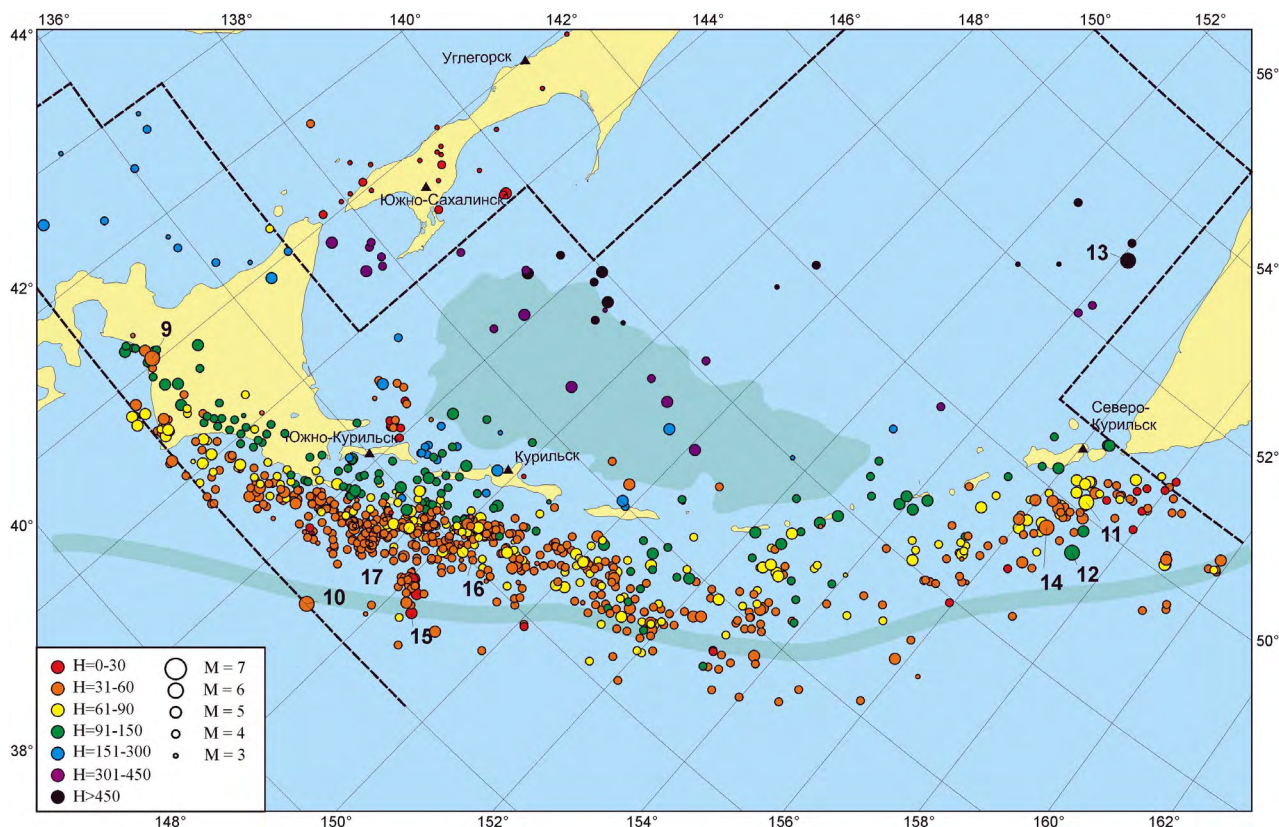


Рис. 6. Эпицентры землетрясений Курило-Охотского региона по данным оперативного каталога СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2019 г. Энергетические характеристики приведены к магнитуде по поверхностной волне $M_{ЛН}$. Номера эпицентров согласно табл. 1.

Figure 6. The earthquakes epicenters of the Kuril-Okhotsk region by the data of the SB FRC UGS RAS operative catalog in 2019. The energy characteristics are brought to the surface wave magnitude $M_{ЛН}$. Epicenters' numbers are in accordance with the table 1.

на рис. 8), на южной границе зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН восточнее о. Хоккайдо под внешним склоном глубоководного желоба. Согласно определенному механизму очага землетрясение стало следствием сбросо-сдвига в испытывающей изгиб Тихоокеанской литосферной плите на границе с Охотоморской литосферной плитой. Колебания интенсивностью до 3–4 баллов зарегистрированы в пос. Южно-Курильск;

26 мая в 22:10 UTC ($M = 5.8$; $H = 70$ км; № 11 на рис. 6 и 7, табл. 1), восточнее о. Парамушир. Вызвало колебания в 4 балла в г. Северо-Курильск;

12 июня в 00:54 UTC ($M = 5.8$; $H = 97$ км; № 12 на рис. 6 и 7, табл. 1), также в районе северных Курильских островов. Ощущалось с интенсивностью в 2 балла в г. Северо-Курильск.

20 ноября в 08:26 UTC ($M_w = 6.2$; $H = 525$ км; № 13 на рис. 6, табл. 1; № 41

на рис. 8), является наиболее сильным в 2019 г., произошло на большой глубине западнее п-ова Камчатка в очаговой области Охотоморского землетрясения 2013 г. [Чебров и др., 2013]. Механизм очага землетрясения относительно поверхности можно охарактеризовать как сдвиговый со значительной сбросовой компонентой. На Курильских островах это событие не ощущалось;

5 декабря в 12:38 UTC ($M = 5.9$; $H = 60$ км; № 14 на рис. 6 и 7, табл. 1) – еще одно сильное событие в районе северных Курильских островов. Вызвало колебания интенсивностью в 4 балла в г. Северо-Курильск.

Также можно отметить интересную серию землетрясений, произошедших в районе глубоководного желоба юго-восточнее о. Кунашир с 3 по 10 декабря. Началом серии послужило событие 3 декабря в 23:25 UTC ($M = 5.5$; $M_w = 5.3$; $H = 11$ км; № 15 на рис. 6 и 7, табл. 1; № 46 на рис. 8) с механизмом

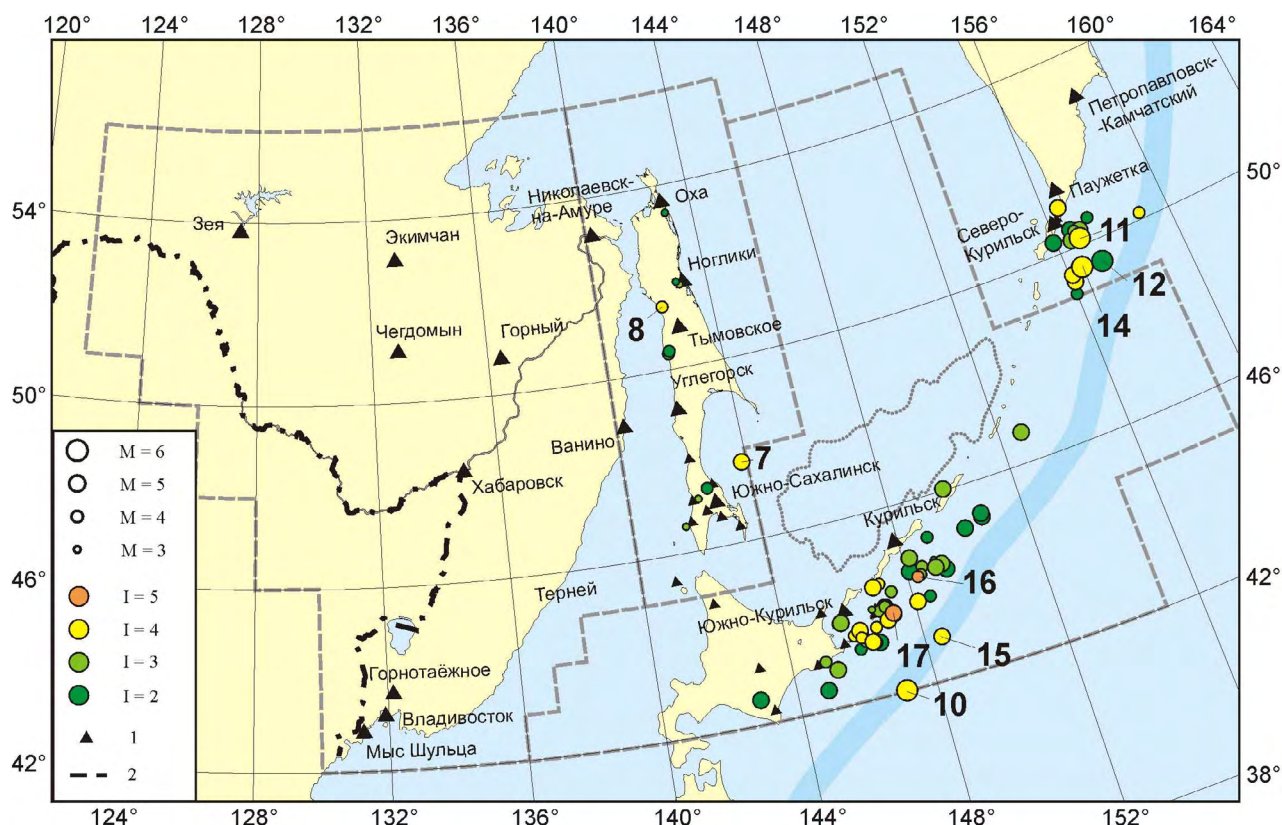


Рис. 7. Карта эпицентров ощутимых землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2019 г. по данным оперативного каталога. Энергетические характеристики приведены к магнитуде по поверхностной волне M_{LH} ; I – интенсивность сотрясений, балл; 1 – сейсмическая станция; 2 – граница региона. Номера эпицентров согласно табл. 1.

Figure 7. Appreciable earthquakes' epicenters map in the SB FRC UGS RAS responsibility zone by the data of the operative catalog in 2019. Energy characteristics are brought to the surface wave magnitude M_{LH} ; I – intensity of shaking; 1 – seismic station; 2 – region borders. Epicenters' numbers are in accordance with the table 1.

очага, квалифицируемым как взброс в условиях сжатия, перпендикулярного оси желоба, ощущавшееся в пос. Малокурильское с интенсивностью в 3–4 балла. В течение следующей недели примерно в том же районе зарегистрировано еще 7 событий магнитудного диапазона $M = 4.5–4.7$ и свыше десятка более слабых землетрясений, на островах эти события не ощущались.

Среди наиболее сильно ощущавшихся выделяются другие землетрясения:

18 сентября в 02:54 UTC ($M = 4.3$; $K_c = 13.0$; $H = 55$ км; № 16 на рис. 6 и 7, табл. 1). Вызвало сотрясения в 4–5 баллов в пос. Горный и Горячие Ключи на о. Итуруп. Значительная интенсивность макросейсмических проявлений необычна для столь слабой магнитуды на большом расстоянии населенных пунктов от гипоцентра. Возможно, магнитуда события требует переоценки, для сравнения приведено значение энергетического класса по С.Л. Соловьеву, примерно соответствующее магнитудному значению $M = 5.9$;

23 ноября в 12:58 UTC ($M = 4.6$; $M_w = 5.1$; $H = 68$ км; № 17 на рис. 6 и 7, табл. 1; № 44 на рис. 8). Наиболее сильные колебания интенсивностью в 5 баллов вызвало в пос. Малокурильское на о. Шикотан.

На рис. 7 показаны все землетрясения зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН, ощущавшиеся жителями (в пределах Российской Федерации). Как и следовало ожидать, в основном это достаточно сильные землетрясения, произошедшие на небольшой глубине в населенных районах главным образом на севере и юге Курильских островов.

Механизмы очагов землетрясений

Ежегодно составляется каталог механизмов очагов землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН, включающий несколько десятков, как правило, наиболее сильных событий регионов. С недавнего времени Сахалинский филиал в сотрудничестве с ИМГиГ ДВО РАН начал массовое определение тензора сейсмического момента очага землетрясения как более полной характеристики параметров очага, чем классический механизм в двухдипольном приближении.

Расчет тензора сейсмического момента осуществляется с использованием программного комплекса ISOLA [Sokos, Zahradník, 2013; Сафонов, Коновалов, 2014]. Для инверсии волновых форм использовались записи широкополосных велосиграфов, установленных на стационарных пунктах наблюдения СФ ФИЦ ЕГС РАН (рис. 1). Дополнительно привлекались записи сейсмических станций КФ ФИЦ ЕГС РАН, а также широкополосных станций сети F-net агентства NIED, Япония [NIED].

Всего в 2019 г. удалось получить решения тензора сейсмического момента очага для 55 землетрясений, включая 1 в регионе Приамурье и Приморье, 1 в Сахалинском регионе и 53 в Курило-Охотском регионе (рис. 7). Большинство землетрясений с определенными механизмами очага произошли в районе о. Хоккайдо, южных и центральных Курильских островов, что связано с достаточной плотностью сети широкополосных сейсмических станций (главным образом сети F-net на Хоккайдо) и общим высоким уровнем сейсмичности этого района.

На рис. 8 показаны тензоры сейсмического момента очагов в двухдипольном приближении (в проекции на нижнюю полусферу).

По данным о механизмах очагов за один год нельзя делать выводов о закономерностях сейсмотектоники региона, однако можно отметить, что характеристики землетрясений 2019 г. в основном укладываются в сложившиеся к настоящему времени представления о процессах, происходящих в зоне субдукции Тихоокеанской плиты под окраинные моря (Балакина, 1995; Astiz et al., 1988; Злобин и др., 2011; Christova, 2015; Сафонов, 2019; и др.). Выделяются характерные сбросы в зоне задугового изгиба плиты, в 2019 г. представленные событием № 8 на рис. 8; поддвиги в зоне контакта литосферных плит (№ 3, 4, 5, 9, 12, 23, 25); многочисленные взрезы зоны промежуточных глубин, где предполагается ее обратный изгиб (№ 15, 29, 32, 53, 54). Однако для интерпретации многих механизмов очагов произошедших в 2019 г. землетрясений поверхностного подхода с применением общей модели субдукционного процесса

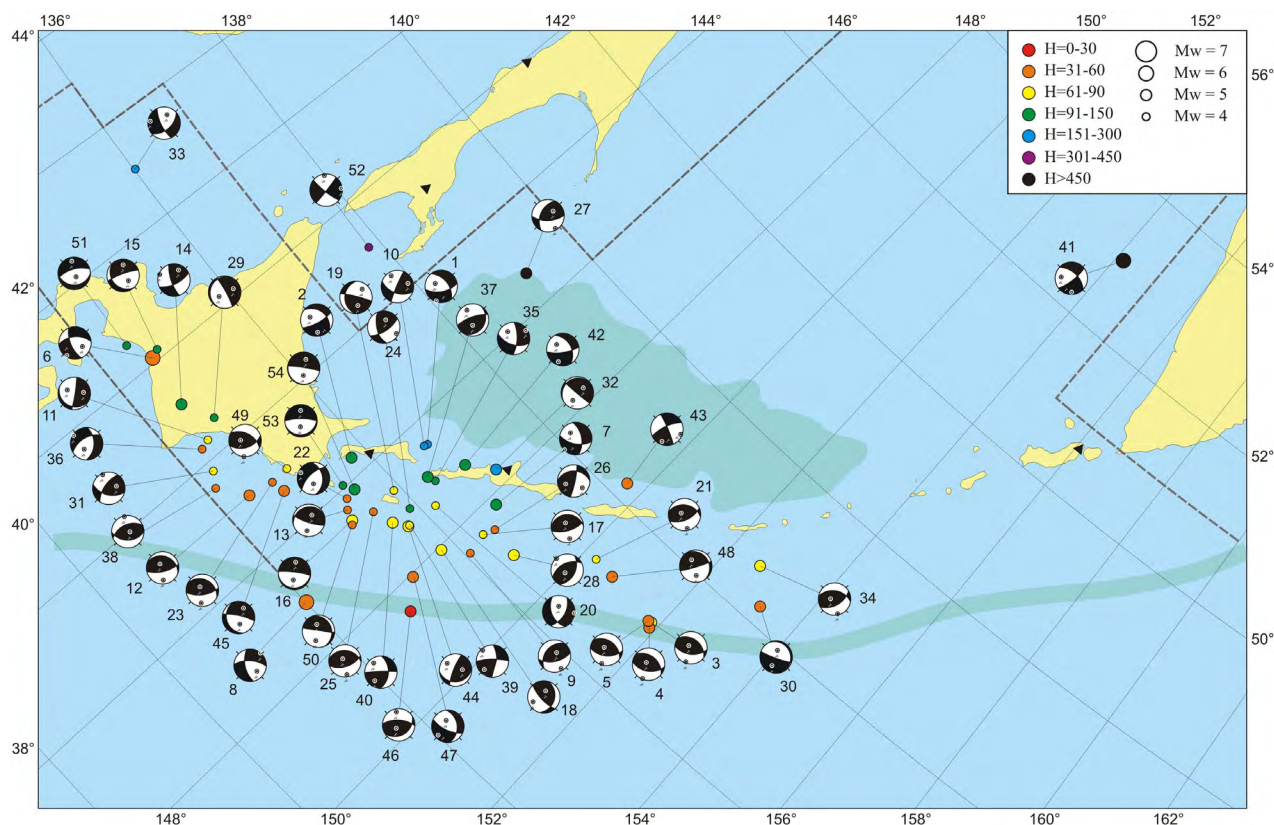


Рис. 8. Механизмы очагов землетрясений Курило-Охотского региона в 2019 г. по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН.
Figure 8. Earthquakes focal mechanisms of the Kuril-Okhotsk region in 2019 by the data of the SB FRC UGS RAS.

может оказаться недостаточно. Необходимо конкретное рассмотрение особенностей тектоники каждого района и сопоставление с исторической сейсмичностью и механизмами очагов, что находится за рамками целей данной работы.

Сейсмическая активность и график Беньофа

В целях сравнения сейсмичности зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2019 г. с наблюдениями предыдущих лет для Курило-Охотского региона был построен график накопления условной деформации по Беньофу [Benioff, 1951]:

$$e = \frac{\sum \sqrt{E}}{T} .$$

Как видно из рис. 9 а, б, в последнее десятилетие скорость накопления условной деформации в регионе была относительно стабильной, несколько выделяются наличием крупных сейсмических событий 2009, 2013, 2018 гг. Наклон графика в 2019 г. оста-

ется приблизительно постоянным, сравнимым с периодами 2010, 2014 и 2017 гг. Это говорит о том, что вся сейсмичность региона в 2019 г. относится к фоновой, не отмечено ни усиления, ни ослабления, что могло бы быть признаком изменения сейсмического режима в ожидании крупного регионального землетрясения. На рис. 9 б показаны некоторые описанные выше крупные землетрясения 2019 г., создавшие заметную ступень на графике Беньофа. В пределах всего региона их влияние на наклон графика незначительно.

На рис. 10 показан график повторяемости землетрясений Курило-Охотского региона, построенный для интервала 2009–2019, для сравнения на графике показаны значения магнитудных интервалов по данным 2018 и 2019 гг. Можно отметить некоторый дефицит сильных ($M = 5.5-6.0$) событий в 2019 г.

Пространственное распределение сейсмичности части территории Курило-Охотского региона в 2019 г. (рис. 11 а) и для десятилетнего интервала 2009–2018 гг. (рис. 11 б) отражено на картах сейсмической активности для энергетического уровня A_{10} ,

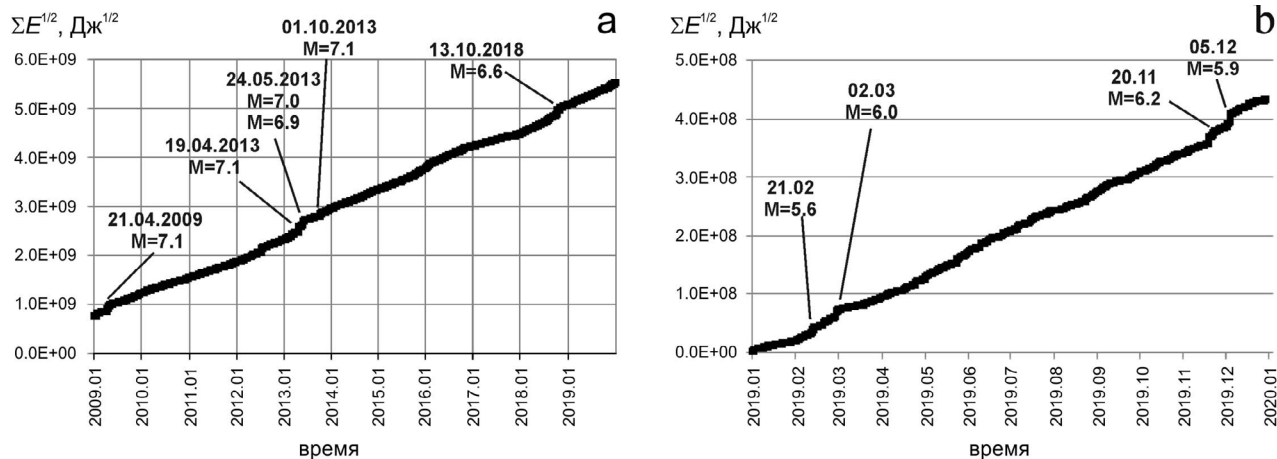


Рис. 9. График Беньофа для Курило-Охотского региона по данным каталогов СФ ФИЦ ЕГС РАН за 2009–2019 гг. (а) и оперативного каталога за 2019 г. (б).

Figure 9. Benioff diagrams for the Kuril-Okhotsk region by the data of the SB FRC UGS RAS catalogs for 2009–2019 (a) and the operative catalog for 2019 (b).

построенных методом суммирования с постоянной детальностью [Ризниченко, 1964]. Подобный метод удобен для представления сейсмичности регионов с неравномерным охватом территории сетями наблюдений. Помимо этого данная методика расчета слабее зависит от погрешностей определения магнитуды сильных землетрясений, чем методики расчета карт, основанных на сейсмической энергии или сейсмическом моменте, что с учетом значительных проблем Сахалинского филиала в точности определения магнитуд особенно важно. Детали построения описаны в [Сафонов и др., 2019].

В 2019 г., как и на протяжении всего периода сейсмических наблюдений, наиболее сейсмически активной остается зона контакта Тихоокеанской и Охотоморской литосфер-

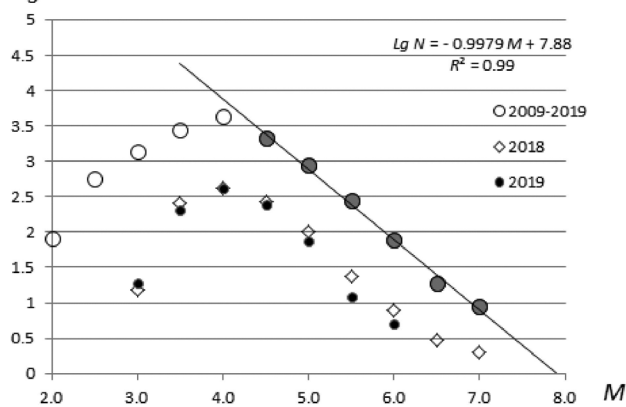


Рис. 10. График повторяемости землетрясений Курило-Охотского региона в 2009–2019 гг.

Figure 10. Gutenberg-Richter diagram of earthquakes repeatability in the Kuril-Okhotsk region in 2009–2019.

ных плит, находящаяся между глубоководным желобом и островной дугой (см. рис. 11 а). Области за- и преддуговой внутриплитовой сейсмичности, а также области погруженной Тихоокеанской плиты под Охотским морем существенно менее сейсмически активны. Впрочем, про глубокие области нельзя говорить с полной уверенностью, так как представительность каталога оценивалась вдоль поверхности и без учета глубины. Так, район сильных глубоких землетрясений к западу от п-ова Камчатка, судя по магнитуде происходящих здесь в последние годы событий, должен, по крайней мере, не уступать по активности наиболее сейсмичным областям Курильской дуги.

Из сравнения показателей коэффициента A_{10} в 2019 г. и в десятилетний период 2009–2018 можно сделать вывод, что в 2019 г. сейсмическая активность в районе северных и южных Курильских островов близка к среднему многолетнему уровню ($A_{10} = 1–2$). На средних Курилах сейсмическая активность в 4–10 раз ниже. Кроме того, напротив прол. Крузенштерна наблюдается область нулевых значений сейсмической активности, что отчасти связано с низкой представительной магнитудой каталога для этого района ($M_{\min} = 4.5$), так как эпицентры землетрясений ниже расчетного представительного уровня (рис. 5) здесь отмечены.

Согласно принятым критериям, сейсмическая активность в диапазоне 0.1–1 счита-

ется умеренной, выше 1 – высокой [Сейсмическое районирование... , 1978]. Таким образом, сейсмическую активность северных и южных Курил в 2019 г. можно считать высокой, что является обычным для данного региона, сейсмическая активность средних Курильских островов характеризуется как умеренная, местами как низкая.

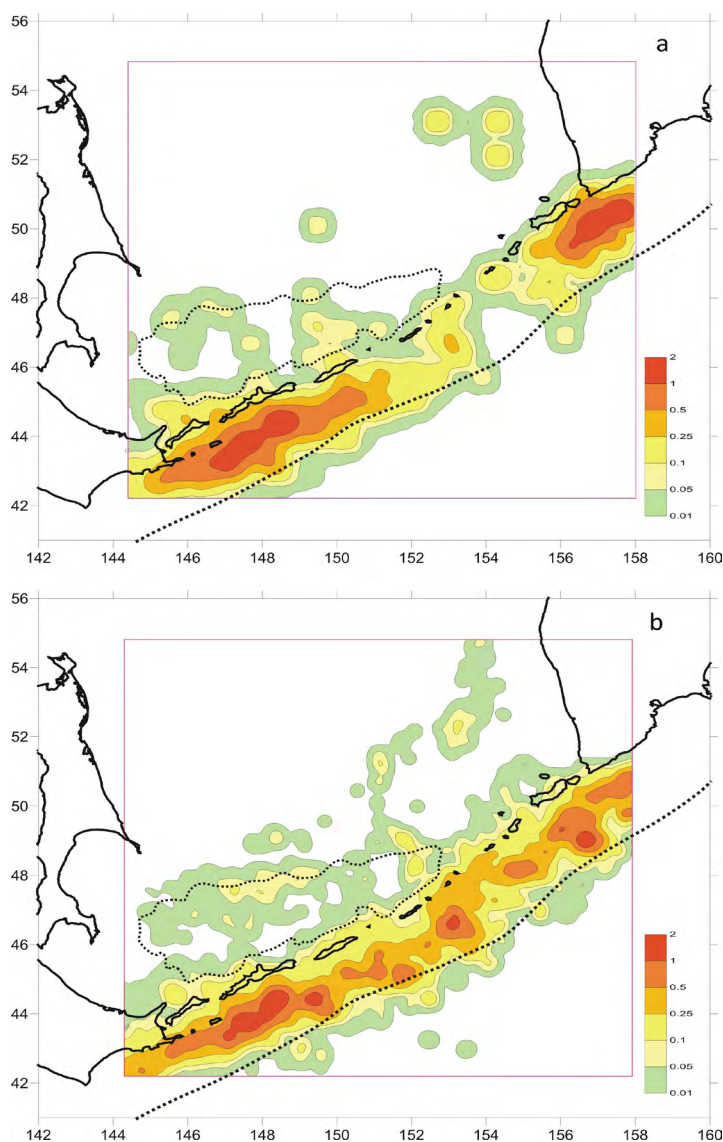


Рис. 11. Сейсмическая активность Курило-Охотского региона по данным каталога землетрясений СФ ФИЦ ЕГС РАН за 2019 г. (а) и за 2009–2018 гг. (б). Изолинии оконтуривают области, где ежегодное количество землетрясений энергетического класса $K_C = 10$ из расчета на 1000 km^2 равно либо превышает указанное значение. Пунктиром показан глубоководный желоб и контур Курильской котловины.

Figure 11. Seismic activity of the Kuril-Okhotsk region by the data of the earthquakes catalog of the SB FRC UGS RAS for 2019 (a) and for 2009–2018 (b). Isolines delineate the areas, where the annual number of earthquakes of the energy class $K_C = 10$ per 1000 km^2 is equal to or exceeds the specified value. The deep-sea trench and the Kuril basin contour are shown with a dotted line.

Заключение

В сейсмическом отношении 2019 год для территории зоны ответственности Сахалинского филиала ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН» выдался одним из наиболее спокойных за последнее десятилетие: отсутствовали сейсмические события магнитудой более $M = 6.2$. Все землетрясения, произошедшие в пределах соответствующих районов, можно отнести к фоновым событиям.

В Приамурье и Приморье количество и энергия землетрясений, как коровых, так и глубокофокусных, оказались ниже средних годовых значений за 2009–2018 гг. Ощутимых событий в 2019 г. не было отмечено вообще, что для относительно слабосейсмичного региона не является исключительным явлением.

В Сахалинском регионе произошло несколько представляющих интерес для изучения коровых событий с магнитудой $M = 4.6–4.9$ на шельфе острова, однако опасных колебаний они не вызвали. Общий уровень сейсмичности, исходя из количества и энергии произошедших землетрясений, можно охарактеризовать как умеренный.

В Курило-Охотском регионе продолжилась активизация в очагах сильных событий предыдущих лет: землетрясения на о. Хоккайдо с $M = 7.2$ в 2018 г. и глубокофокусного Охотоморского землетрясения 2013 г. $M = 8.3$ к западу от п-ова Камчатка. Однако новых сильных ($M > 6.5$) землетрясений в 2019 г. не отмечено. Сейсмическую активность северных и южных Курильских островов можно считать высокой на уровне средних многолетних значений. На средних Курильских островах сейсмическая активность умеренная, пониженная. Следует обратить внимание на район прол. Крузенштерна, где наметилось сейсмическое затишье с магнитуды представительности каталога СФ ФИЦ ЕГС РАН ($M_{\min} = 4.5$).

Список литературы

1. Балакина Л.М. 1995. Курило-Камчатская сейсмогенная зона – строение и порядок генерации землетрясений. *Физика Земли*, 12: 48–57.
2. Габсатарова И.П. 2007. Границы сейсмоактивных регионов с 2004 г. В кн.: *Землетрясения России в 2004 году*. Обнинск: ГС РАН, с. 139.
3. ГОСТ 34511-2018. 2019. *Землетрясения. Макросейсмическая шкала интенсивности*: Введ. 20.12.2018. М.: Стандартинформ, 27 с.
4. Злобин Т.К., Сафонов Д.А., Полец А.Ю. 2011. Распределение землетрясений по типам очаговых подвижек в Курило-Охотском регионе. *Докл. АН*, 440(4): 527–529.
5. Коваленко Н.С., Фокина Т.А., Сафонов Д.А. 2019. Приамурье и Приморье. *Землетрясения Северной Евразии*, 22 (2013 г.): 161–172. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН. doi:10.35540/1818-6254.2019.22.14
6. Ризниченко Ю.В. 1964. Метод суммирования землетрясений для изучения сейсмической активности. *Изв. АН СССР. Сер. геофизическая*, 7: 969–977.
7. Сафонов Д.А. 2019. Пространственное распределение тектонических напряжений в южной глубокой части Курило-Камчатской зоны субдукции. *Геосистемы переходных зон*, 3(2): 175–188. doi:10.30730/2541-8912.2019.3.2.175-188
8. Сафонов Д.А., Коновалов А.В. 2017. Использование программы ISOLA для определения тензора сейсмического момента землетрясений Курило-Охотского и Сахалинского регионов. *Тихоокеанская геология*, 36(3): 102–112.
9. Сафонов Д.А., Фокина Т.А., Коваленко Н.С. 2019. Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2018 году. *Геосистемы переходных зон*, 3(4): 364–376. <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.4.364-376>
10. *Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г.* 1980. Отв. ред. В.И. Бунэ, Г.П. Горшков. М.: Наука, 308 с.
11. Соловьев С.Л., Соловьева О.Н. 1967. Соотношение между энергетическим классом и магнитудой Курильских землетрясений. *Физика земли*, 2: 13–22.
12. Фокина Т.А., Коваленко Н.С., Костылев Д.В., Левин Ю.Н., Лихачева О.Н., Михайлов В.И. 2018. Приамурье и Приморье, Сахалин и Курило-Охотский регион. В кн.: *Землетрясения России в 2016 году*. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, с. 45–53.
13. Фокина Т.А., Сафонов Д.А., Костылев Д.В., Михайлов В.И. 2019. Сахалин. *Землетрясения Северной Евразии*, 22 (2013). Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 173–183. doi:10.35540/1818-6254.2019.22.15
14. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А., Кравченко Н.М., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Раевская А.А., Салтыков В.А., Чебров Д.В., Ландер А.В. 2013. Глубокое Охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой $M_w = 8.3$ – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 1(21): 17–24.
15. Шулаков Д.Ю., Мурыськин А.С. 2019. Спектральный подход к оценке регистрационных возможностей системы сейсмомониторинга Уральского региона. В кн.: *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы XIV Международной сейсмологической школы*. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, с. 111.
16. Astiz L., Lay T., Kanamori H. 1988. Large intermediate-depth earthquakes and the subduction process. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 53(1–2): 80–166. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(88\)90138-0](https://doi.org/10.1016/0031-9201(88)90138-0)
17. Benioff H. 1951. Earthquakes and rock creep. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 41(1): 31–62.
18. Christova C.V. 2015. Spatial distribution of the contemporary stress field in the Kurile Wadati-Benioff zone by inversion of earthquake focal mechanisms. *J. of Geodynamics*, 83: 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2014.11.001>
19. NIED – National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan. URL: <http://www.fnet.bosai.go.jp> (accessed 27.02.2020).
20. Sokos E., Zahradník J. 2013. Evaluating centroid moment tensor uncertainty in the new version of ISOLA software. *Seismological Research Letters*, 84: 656–665. <https://doi.org/10.1785/0220130002>

Об авторах

САФОНОВ Дмитрий Александрович (ORCID 0000-0002-2201-2016), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории сейсмологии, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, КОСТЫЛЕВ Дмитрий Викторович (ORCID 0000-0002-8150-9575), начальник отдела сейсмических стационаров, Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск, младший научный сотрудник лаборатории сейсмологии, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, ФОКИНА Татьяна Александровна, начальник отдела сводной обработки сейсмологических данных, Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск, КОВАЛЕНКО Наталья Семеновна, ведущий инженер отдела сводной обработки сейсмологических данных, Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск.

References

1. Astiz L., Lay T., Kanamori H. **1988**. Large intermediate-depth earthquakes and the subduction process. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 53(1–2): 80–166. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(88\)90138-0](https://doi.org/10.1016/0031-9201(88)90138-0)
2. Balakina L.M. **1995**. Kurilo-Kamchatskaia seismogennaia zona – stroenie i poriadok generatsii zemletriasenii [Kuril-Kamchatka seismogenic zone – the structure and generation order of earthquakes]. *Fizika Zemli = Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 12: 48–57. (In Russ.).
3. Benioff H. **1951**. Earthquakes and rock creep. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 41(1): 31–62.
4. Chebrov V.N., Kugaenko Yu.A., Vikulina S.A., Kravchenko N.M., Matveenko E.A., Mitiushkina S.V., Raevskaya A.A., Saltykov V.A., Chebrov D.V., Lander A.V. **2013**. [Deep earthquake in the Sea of Okhotsk 24.05.2013 with a magnitude $M_w=8.3$ – the strongest seismic event near Kamchatka coastline for the period of detailed seismological observations]. *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle = Bull. of Kamchatka Regional Association “Educational-Scientific Center”. Earth Sciences*, 1(21): 17–24. (In Russ.).
5. Christova C.V. **2015**. Spatial distribution of the contemporary stress field in the Kurile Wadati-Benioff zone by inversion of earthquake focal mechanisms. *J. of Geodynamics*, 83: 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2014.11.001>
6. Fokina T.A., Kovalenko N.S., Kostylev D.V., Levin Yu.N., Likhacheva O.N., Mikhailov V.I. **2018**. Priamurye and Primorye, Sakhalin and Kuril-Okhotsk region. In.: *Zemletriaseniia Rossii v 2016 godu = Earthquakes in Russia, 2016*. Obninsk: FITs EGS RAN [FRC UGS of RAS], p. 45–53. (In Russ.).
7. Fokina T.A., Safonov D.A., Kostylev D.V., Mikhailov V.I. **2019**. Sakhalin. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii = Earthquakes in Northern Eurasia*, 22 (2013). Obninsk: FITs EGS RAN [FRC UGS of RAS], 173–183. (In Russ.). doi:10.35540/1818-6254.2019.22.15
8. Gabsatarova I.P. **2007**. Granitsy seismoaktivnykh regionov s 2004 g. [The boundaries of seismically active regions since 2004 yr.]. In.: *Zemletriaseniia Rossii v 2004 godu [Earthquakes in Russia, 2004]*. Obninsk: GS RAN [Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences], p. 139. (In Russ.).
9. GOST 34511-2018. **2019**. *Zemletriaseniia. Makroseismicheskaia shkala intensivnosti: Vved. 20.12.2018 [Earthquakes. Macroseismic intensity scale: Introduction 20.12.2018]*. Moscow: Standartinform, 27 p. (In Russ.).
10. Kovalenko N.S., Fokina T.A., Safonov D.A. **2019**. Priamurye and Primorye. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii = Earthquakes in Northern Eurasia*, 22 (2013 g.): 161–172. Obninsk: FITs EGS RAN [FRC UGS of RAS]. (In Russ.). doi:10.35540/1818-6254.2019.22.14
11. NIED – National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan. URL: <http://www.fnet.bosai.go.jp> (accessed 27.02.2020).
12. Riznichenko Yu.V. **1964**. Metod summirovaniia zemletriasenii dlia izucheniia seismicheskoi aktivnosti [The method of earthquakes summation for the study of seismic activity]. *Izv. AN SSSR. Ser. geofizicheskaiia*, 7: 969–977. (In Russ.).
13. Safonov D.A. **2019**. Spatial distribution of tectonic stress in the southern deep part of the Kuril-Kamchatka subduction zone. *Geosistemy perekhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 3(2): 175–188. (In Russ.). doi:10.30730/2541-8912.2019.3.2.175-188
14. Safonov D.A., Konovalov A.V. **2017**. Moment tensor inversion in the Kuril-Okhotsk and Sakhalin Regions using ISOLA software. *Tikhookeanskaia geologiia = Geology of the Pacific Ocean*, 36(3): 102–112. (In Russ.).
15. Safonov D.A., Fokina T.A., Kovalenko N.S. **2019**. Seismicity of the South Far East of Russia in 2018. *Geosistemy perekhodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 3(4): 364–376. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.4.364-376>
16. *Seismicheskoe raionirovanie territorii SSSR. Metodicheskie osnovy i regional'noe opisaniie karty 1978 g. [Seismic zonation of the USSR territories. Methodical basis and regional description of the map of 1978]*. **1980**. Eds V.I. Bune, G.P. Gorshkov. Moscow: Nauka, 308 p. (In Russ.).
17. Shulakov D.Yu., Murys'kin A.S. **2019**. Spektral'nyi podkhod k otsenke registratsionnykh vozmozhnostei sistemy seismomonitoringa Ural'skogo regiona [Spectral approach to the assessment of recording abilities of the system of seismic monitoring of Ural region]. In.: *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh: Materialy XIV Mezhdunarodnoi seismologicheskoi shkoly [Modern methods of seismological data processing and interpretation: Proceedings of the XIV International seismological school]*. Obninsk: FITs EGS RAN [Federal Research Center of the United Geophysical Survey of RAS], p. 111. (In Russ.).
18. Sokos E., Zahradnik J. **2013**. Evaluating centroid moment tensor uncertainty in the new version of ISOLA software. *Seismological Research Letters*, 84: 656–665. <https://doi.org/10.1785/0220130002>
19. Solov'ev S.L., Solov'eva O.N. **1967**. Sootnoshenie mezhdue energeticheskim klassom i magnitudoi Kuril'skikh zemletriasenii [Relation between energy class and magnitude of Kuril earthquakes]. *Fizika zemli = Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2: 13–22. (In Russ.).
20. Zlobin T.K., Safonov D.A., Polets A.Yu. **2011**. Distribution of earthquakes by the types of the source motions in the Kuril-Okhotsk region. *Doklady Earth Sciences*, 440(2): 1410–1412. doi:10.1134/S1028334X11100096