УДК 550.34

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

Content is available under Creative Commons Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)

https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.4.308-319

# Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2020 году

© 2021 Д. А. Сафонов\*1, Т. А. Фокина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия <sup>2</sup>Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск, Россия \*E-mail: d.safonov@imgg.ru

Резюме. В работе представлен обзор сейсмичности за 2020 г. южной части Дальнего Востока России: регионов Приамурье и Приморье, Сахалинского и Курило-Охотского, основанный на предварительных данных каталогов землетрясений Сахалинского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (СФ ФИЦ ЕГС РАН). Выполнен анализ сейсмичности регионов за 2020 г. в сравнении с предыдущим десятилетием. Приведена информация о наиболее значительных и достойных отдельного изучения землетрясениях 2020 г., происшедших в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН: землетрясение вблизи Зейской ГЭС; глубокофокусное землетрясение в Татарском проливе; землетрясение на промежуточных глубинах на Южных Курилах; взбросовое землетрясение на изгибе Тихоокеанской литосферной плиты в районе Северных Курил. По формальным показателям сейсмичность регионов в 2020 г. осталась в пределах фоновых значений, но в Курило-Охотском регионе и в мантии под территорией Сахалинского региона приблизилась к верхней границе их диапазона.

**Ключевые слова**: землетрясения, сейсмичность, сейсмическая активность, Приамурье, Приморье, Сахалин, Курило-Охотский регион

# Seismicity of the South Far East of Russia in 2020

Dmitry A. Safonov<sup>\*1</sup>, Tatyana A. Fokina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia <sup>2</sup>Sakhalin Branch of the Federal research center "United Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences", Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

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

**Abstract.** The paper presents an overview of the seismicity of the southern part of the Russian Far East for 2020: the Amur–Primorye region, Sakhalin and Kuril-Okhotsk regions. It is based on the preliminary data from the earthquake catalogs of the Sakhalin Branch of the Federal Research Center "United Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences" (SB FRC UGS RAS). An analysis of the seismicity of the regions for 2020 in comparison with the previous decade is performed. Information about the earthquakes of 2020, which are the most significant and worthy of separate study, is given. These events occurred in the SB FRC UGS RAS responsibility zone: an earthquake near the Zeyskaya HPP, a deep-focus earthquake in the Tatar Strait, an earthquake at intermediate depths in the Southern Kuril Islands, a reverse fault earthquake on the bend of the Pacific lithospheric plate in the Northern Kuril Islands. According to formal indicators, the seismicity of the regions in 2020 remained within the background values, but it approached the upper limit of their range in the Kuril-Okhotsk region and in the mantle under the territory of the Sakhalin region.

Keywords: earthquakes, seismicity, seismic activity, Amur region, Primorye, Sakhalin, Kuril-Okhotsk region

Для цитирования: Сафонов Д.А., Фокина Т.А. Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2020 году. *Геосистемы переходных зон*, 2021, т. 5, № 4, с. 308–319. https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.4.308-319 *For citation:* Safonov D.A., Fokina T.A. Seismicity of the South Far East of Russia in 2020. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2021, vol. 5, no. 4, pp. 308–319. (In Russ., abstr. in Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.4.308-319

308

## Введение

Данная статья продолжает начатый в работах [Сафонов и др., 2019а; Сафонов и др., 2020] ежегодный обзор сейсмичности территории юга Дальнего Востока России. Областью исследования являются Курило-Охотский регион (Курильские острова, о. Хоккайдо, прилегающая часть Тихого океана, южная и центральная части акватории Охотского моря, северная часть Японского моря); Сахалинский регион (о. Сахалин и прилегающие акватории Охотского, Японского морей и Татарского пролива); регион Приамурье и Приморье (Приморский и большая часть Хабаровского края, Амурская и Еврейская автономные области, а также приграничные районы Китая и прибрежная часть Японского моря) (рис. 1). Регистрацией сейсмических событий естественного и техногенного характера на территории этих трех регионов занимается Сахалинский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (СФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Южно-Сахалинск.

Поскольку окончательный сбор всей сейсмологической информации, необходимой для составления детальных каталогов землетрясений, требует определенного времени, публикация окончательных каталогов и обзора сейсмичности территории на их основе отстает на 2 года в ежегодниках «Землетрясения России...» (например, сводка землетрясений за 2016 год в [Фокина и др., 2018]) и на 6 лет в журнале «Землетрясения Северной Евразии» (например, о землетрясениях 2013 г. в [Фокина и др., 2019; Коваленко и др., 2019]). Данная работа выполнена на основе оперативного (предварительного) каталога землетрясений за 2020 г., информация в котором пополняется с отставанием в 1–3 дня от даты происходящих землетрясений. Цель работы – предоставить заинтересованным специалистам комплексную оперативную информацию о сейсмичности южной части Дальнего Востока РФ. В статье проводится обзор сейсмичности в 2020 г., обращается внимание на наиболее интересные и заслуживающие изучения сейсмические события. Сравниваются параметры сейсмичности региона в прошедшем году и в предыдущем десятилетии.

Сеть сейсмологических наблюдений СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2020 г. по сравнению с 2019-м практически не претерпела изменений [Сафонов и др., 2020].

В рамках взаимодействия со структурными подразделениями ГУ МЧС России по Сахалинской области летом 2020 г. сотрудниками СФ ФИЦ ЕГС РАН в пос. Южно-Курильск (о. Кунашир) и Китовое (о. Итуруп) установлены пункты наблюдения с комплектом сейсмологического оборудования (широкополосный велосиметр, акселерометр, системы регистрации, сбора и передачи данных). Информация с пунктов наблюдения в режиме реального времени передается в информационно-вычислительный центр СФ ФИЦ ЕГС РАН и аварийноспасательный центр мониторинга и прогноза чрезвычайных ситуаций Главного управления МЧС России по Сахалинской области [Костылев, 2021]. В связи с тем, что новые пункты наблюдения установлены вблизи действующих сейсмических стационаров «Южно-Курильск»

> Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2020 г. 50-*М* – магнитуда; *H* – глубина гипоцентра, км; 1 – сейсмические станции СФ ФИЦ ЕГС РАН; 2 – границы регионов. Показаны механизмы очагов землетрясе-46-ний в Приамурье и Сахалинском регионе. Номера эпицентров согласно таблице.

> Fig. 1. Earthquake epicenters map in the SB FRC UGS RAS responsi- $^{42}$ bility zone in 2020. M – magnitude; H – hypocenter depth, km; 1 – seismic stations; 2 – region borders. Earthquakes focal mechanisms of the Amur and the Sakhalin regions  $^{38}$ are shown. Epicenters' numbers are in accordance with the table.



и «Курильск», разрешающая способность сети сейсмостанций на Южных Курилах изменилась незначительно, однако существенно возросла надежность регистрации.

Текущая конфигурация сети сейсмических станций (рис. 1, 2), 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<sub>min</sub> = 3.0. Исключение составляют центральная часть Охотского моря, северная часть Японского моря, район Средних Курильских островов и приграничная часть Приамурья, где представительной можно считать магнитуду событий  $M_{min} = 3.5$ . 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<sub>min</sub> = 2.5 [Костылев, 2021]. При составлении оперативного каталога СФ ФИЦ ЕГС РАН регистрационные возможности сети в полной мере не используются, его представительная магнитуда выше как минимум на единицу.

В практике обработки записей землетрясений Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН определяется большое количество энергетических характеристик землетрясений (магнитуды, энергетические классы). В данной работе авторы используют для расчетов в качестве основной моментную магнитуду М<sub>w</sub>. Магнитудные оценки по этой шкале наиболее устойчивы и согласуются с определениями других сейсмологических агентств. Сахалинский филиал определяет  $M_W$  только для наиболее сильных землетрясений при расчете тензора сейсмического момента центроида. В случае ее отсутствия в каталогах для сильных землетрясений ( $M \ge 5.0$  для Сахалинского региона и *M* > 5.5 для Курило-Охотского) авторы привлекали данные зарубежных агентств (GCMT, NIED). А для более слабых событий использовали магнитуду по поверхностной волне  $M_{IH}$ , магнитуду по объемной волне  $M_{SH}$ , энергетический класс С.Л. Соловьева  $K_C$ , энергетический класс Т.Г. Раутиан  $K_p$  и другие варианты энергетических характеристик, сводимые по соответствующим переходным формулам [Фокина и др., 2019] к M<sub>1H</sub>, обозначаемой в таком случае М.

## Обзор землетрясений Приамурья, Приморья, Курило-Охотского и Сахалинского регионов

Сейсмическая активность региона **При**амурье и **Приморье** обычно невысока. Хотя итоговые каталоги содержат несколько сотен сейсмических событий (существенная часть из которых – промышленные взрывы), по оперативным данным обычно определяются только наиболее сильные землетрясения. Оперативный каталог за 2020 г. содержит 11 землетрясений с эпицентрами на территории Приамурья и Приморья, включая два глубокофокусных, относящихся к продолжению под территорию региона Японской сейсмофокальной зоны (рис. 1).

Наиболее сильное землетрясение, происшедшее в земной коре с эпицентром на территории региона, – событие 28 февраля в 23:09 UTC ( $M_W = 4.7, M_{LH} = 4.7, H = 12$  км; № 2 в таблице и на рис. 1, 2). Плейстосейстовая область землетрясения находится вблизи Станового хребта в слабозаселенной части Зейского района Амурской области, в г. Зея оно ощущалось с интенсивностью в 2 балла. Землетрясение произошло в условиях ЮЗ–СВ горизонтального сжатия, механизм очага в классификации по кинематическому типу сейсмодислокации определяется как взбросовый.

Наиболее сильные сотрясения на территории Приамурья и Приморья вызвало землетрясение, происшедшее под Зейским водохранилищем 4 февраля в 03:48 UTC ( $K_p = 11.1$ , M = 3.9, H = 12 км; № 1 в таблице и на рис. 1, 2). Энергия этого землетрясения невелика, однако эпицентр расположен в довольно населенной части Зейского района. Это объясняет относительно высокую зарегистрированную интенсивность сотрясений – до 4 баллов. В связи с близостью к Зейской ГЭС землетрясение может оказаться интересным для изучения.

8 ноября в 21:53 UTC произошло землетрясение ( $K_p = 11.2, M = 4.0, H = 9$  км; № 4 в таблице и на рис. 1) в северной части Хабаровского края. Ощутимых проявлений в населенных пунктах не отмечено.

Наиболее сильное в 2020 г. глубокофокусное землетрясение на территории региона произошло 14 июля в 08:45 UTC ( $M_{SH} = 4.8$ , H = 565 км, № 3 в таблице и на рис. 1), эпицентр находится в Японском море к югу от г. Владивосток. Ощутимых сотрясений на поверхности столь глубокое и не слишком сильное событие ожидаемо не вызвало.

По *Сахалинскому региону* в оперативном каталоге за 2020 г. содержатся параметры 54 землетрясений, из них 45 относятся к коровым, 9 произошли в мантии на продолжении Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны под территорией региона (рис. 1). 11 землетрясений ощущались жителями Сахалинской области (рис. 2).

Самое сильное землетрясение с гипоцентром в земной коре произошло в Углегорском районе Сахалинской области 13 сентября в 13:42 UTC ( $M_{LH} = 5.2, H = 10$  км; № 7 в таблице и на рис. 1, 2, 3). Оно же произвело максимальный макросейсмический эффект в регионе: интенсивность сотрясений в г. Углегорск и других населенных пунктах района достигала 5 баллов. Землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками, сильнейший из которых произошел в 14:09 UTC того же дня ( $M_{LH} = 4.7, H = 10$  км; № 8 в таблице и на рис. 1, 2, 3).

Поскольку эпицентр землетрясения находится вблизи активно эксплуатируемого Солнцевского угольного разреза, высказываются предположения о техногенной природе этого землетрясения. Первая детальная информация опубликована в статье [Семенова и др., 2020]. Из этой же статьи следует, что механизм очага землетрясения и его крупнейшего афтершока сдвиговый, очаг сформировался в условиях близгоризонтальных субмеридионального сжатия и субширотного растяжения.

Умеренное землетрясение с эпицентром в Анивском заливе произошло 23 января в 06:22 UTC ( $K_c = 10.2, M = 4.5, H = 13$  км;  $N \ge 5$  в таблице и на рис. 1, 2, 3). В ближайшем к эпицентру пос. Таранай интенсивность сотрясений оценивается в 4 балла.

Близкое по энергии землетрясение произошло на перешейке Поясок 2 июля в 13:48 UTC ( $K_c = 10.3, M = 4.6, H = 3$  км; № 6 в таблице и на рис. 1, 2, 3). Интенсивность сотрясений в пос. Пугачево, Арсентьевка и на ж/д станции Тихая оценивается в 3 балла.

Самое сильное по энергии в 2020 г. землетрясение в Сахалинском регионе произошло 30 ноября в 22:54 UTC ( $M_W = 6.3, M_{SH} = 7.0, H = 577$  км; № 9 в таблице и на рис. 1, 2). Эпицентр находится в центральной части Татарского пролива примерно на широте пос. Ильинский. Несмотря на большую глубину гипоцентра, почти предельную для землетрясений Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны, землетрясение ощущалось на поверхности. Макросейсмический эффект зафиксирован во многих населенных пунктах южной части о. Сахалин, включая г. Южно-Сахалинск, он оценивается в 2-3 балла. Механизм очага землетрясения классифицируется как взрез либо пологий сброс с субвертикальной плоскостью широтного и субгоризонтальной плоскостью юго-западного простирания. Землетрясение произошло в условиях сжатия, ось которого ориентирована примерно вдоль направления падения сейсмофокальной зоны.

На территории *Курило-Охотского региона* по данным оперативного каталога определены параметры 1008 землетрясений, включая 64 события, вызвавшие ощутимые колебания в населенных пунктах островов (рис. 2, 3). Распределение землетрясений по сейсмоактивным участкам региона в основном сходно с распределением предыдущих лет (рис. 3): большая часть гипоцентров принадлежит межплитовым событиям зоны контакта Тихоокеанской и Охотской литосферных плит; гипоцентры некоторых событий можно отнести



Рис. 2. Карта эпицентров ощутимых землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2020 г. по данным оперативного каталога. *М* – магнитуда; *I* – максимальная интенсивность сотрясений, балл; 1 – сейсмические станции СФ ФИЦ ЕГС РАН; 2 – границы регионов. Номера эпицентров согласно таблице.

Fig. 2. Appreciable earthquake epicenters map in the 42°SB FRC UGS RAS responsibility zone by the data of the operative catalog in 2020. *M* – magnitude; *I* – maximum shaking intensity; 1 – seismic stations; 2 – region 38°borders. Epicenters' numbers are in accordance with the table. к внутриплитовым, произошедшим во внешней, относительно глубоководного желоба, зоне изгиба Тихоокеанской плиты либо во внутренней – на промежуточных глубинах под островной дугой; также зарегистрировано несколько землетрясений внутри Охотской плиты северозападнее островов Кунашир, Итуруп и Парамушир. Среди землетрясений региона в 2020 г. особенно выделяются как по энергетическому признаку, так и по ощутимости два сильнейших за последние годы землетрясения. В отличие от обычной картины распределения землетрясений, очаги двух сильнейших событий находятся внутри Тихоокеанской литосферной плиты.

Сильное землетрясение 13 февраля в 10:33 UTC ( $M_W = 6.9$ ,  $M_{SH} = 7.8$ , H = 150 км; № 10 в таблице и на рис. 1, 2, 3) произошло в районе Южных Курил, эпицентр расположен между островами Итуруп и Уруп. Землетрясение ощущалось во всех населенных пунктах Южно-Курильского и Курильского районов с интенсивностью сотрясений в 5-5-6 баллов. Механизм очага определяется как взрез либо пологий сброс, субвертикальная нодальная плоскость ориентирована вдоль островной дуги, субгоризонтальная падает на юг. При этом ось растяжения близка по направлению к падению сейсмофокальной зоны, т.е. очаг сформировался в условиях геодинамического состояния растяжения вдоль плиты. Судя по положению гипоцентра и механизму очага, землетрясение произошло в нижнем слое двойной сейсмофокальной зоны на интервале промежуточных глубин Курило-Камчатской субдукционной системы. За последние полвека наблюдений это третье по силе землетрясение на промежуточных глубинах в районе Южных Курил.

Сильнейшее за последнее десятилетие землетрясение с эпицентром в Курило-Охот-

ском регионе в пределах зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН произошло 25 марта в 02:49 UTC ( $M_W$  = 7.5,  $M_{LH}$  = 7.5, H = 72 км; № 11 в таблице и на рис. 1, 2, 3). Гипоцентр расположен под Курильским глубоководным желобом напротив Северных Курил. На территории Сахалинской области это событие ощущалось вдоль всей Курильской островной дуги, сильнее всего – в г. Северо-Курильск с интенсивностью в 5-6 баллов. Механизм очага землетрясения – взбросовый, нодальные плоскости ориентированы вдоль островной дуги. В течение года в очаговой области землетрясения зарегистрировано несколько десятков афтершоков, магнитуда самых сильных не превысила  $M_{LH} = 5.5$ . Интенсивность макросейсмических проявлений афтершоков г. Северо-Курильск достигала 3-4 баллов. Землетрясение вызвало большой интерес у исследователей. Первые результаты изложены в статьях [Ye et al., 2021; Прытков, Василенко, 2021]. Землетрясение 25 марта стало самым сильным известным внутриплитовым событием, сформировавшимся в условиях субгоризонтального сжатия на внешнем изгибе Тихоокеанской плиты в Курило-Камчатской зоне субдукции.

В 2020 г. в рамках сотрудничества СФ ФИЦ ЕГС РАН с ИМГиГ ДВО РАН продолжалось массовое определение тензора сейсмического момента центроида для землетрясений рассматриваемых регионов. Расчет осуществляется с использованием программного комплекса ISOLA [Sokos, Zahradník, 2013; Сафонов, Коновалов, 2017]. Всего в 2020 г. удалось получить решения тензора сейсмического момента центроида для 45 землетрясений, в частности для 1 события в регионе Приамурье и Приморье, 2 в Сахалинском регионе и 42 в Курило-Охотском регионе.



**Fig. 3.** The earthquake epicenters of the Kuril-Okhotsk region by the data of the SB FRC UGS RAS operative catalog in 2020. Epicenters' numbers are in accordance with the table.



N⁰	Дата/Date	Время/Time	φN	λΕ	h, км	М	Интенсивность сотрясений (населенный пункт, балл / Intensity, points)
	day.mon.year	h:min:sec					
Приамурье и Приморье / Amur-Primorye region							
1	04.02.2020	03:48:41.7	54.14	127.36	12	3.9	Береговой, 4; Золотая Гора, 3; Снежногорский, 3; Зея, 3
2	28.02.2020	23:09:08.4	55.57	130.27	12	4.7	Зея, 2
3	14.07.2020	08:45:58.3	42.23	131.40	565	4.8	Не ощущалось
4	08.11.2020	21:53:23.3	54.03	135.28	9	4.0	Не ощущалось
Caхалинский регион / Sakhalin region							
5	23.01.2020	06:22:38.3	46.47	142.44	13	4.5	Таранай, 4; Анива, 3-4; Корсаков, 2; Невельск, 2; Шебунино, 2
6	02.07.2020	13:48:13.8	48.13	142.47	3	4.6	Тихая, 3; Пугачево, 3; Арсентьевка, 3; Взморье, 2
7	13.09.2020	13:42:24.3	48.90	142.00	10	5.2	Углегорск, 5; Краснополье, 5; Поречье, 5; Ольховка, 4-5; Шахтерск, 4; Медвежье, 4
8	13.09.2020	14:09:00.3	48.91	142.15	10	4.7	Углегорск, 4
9	30.11.2020	22:54:34.7	48.00	141.00	577	6.3	Горнозаводск, 2-3; Троицкое, 2-3; Томари, 2-3; Новотроицкое, 2-3; Синегорск, 2-3; Чехов, 2-3; Южно-Сахалинск, 2-3
Курило-Охотский регион / Kurile-Okhotsk region							
10	13.02.2020	10:33:43.5	45.37	149.25	150	6.9	Горячие Ключи, 5-6; Горный, 5-6; Рейдово, 5; Китовый, 5; Курильск, 5; Южно-Курильск, 5; Лагунное, 5; Горячий Пляж, 5; Менделеево, 5; Головнино, 5; Малокурильское, 5; Крабозаводское, 5
11	25.03.2020	02:49:20.3	48.88	157.80	72	7.5	Северо-Курильск, 5-6; Южно-Курильск, 3; Лагунное, 3; Горячий Пляж, 3

*Таблица.* Параметры отдельных землетрясений 2020 г. по оперативным данным *Table.* Parameters of certain earthquakes in 2020 according to the operational data

#### Энергия землетрясений

В связи с изменением приоритета магнитудных шкал в каталогах (использование в расчетах для сильных землетрясений моментной магнитуды  $M_W$  как основной) несколько изменились графики суммарной ежегодной сейсмической энергии  $\Sigma E$ , выделившейся в результате землетрясений в исследуемых регионах (рис. 4).

Энергия отдельного землетрясения, как и в предыдущих статьях [Сафонов и др., 2019а; Сафонов и др., 2020], вычисляется по формуле Гутенберга–Рихтера [Gutenberg, Richter, 1942]:

lg 
$$E = 4.8 + 1.5 M$$
 (Дж), (1)

где E – сейсмическая энергия землетрясения, а M – магнитуда  $M_W$  либо, в случае ее отсутствия,  $M_{IH}$ .

Рассчитывать энергию по магнитуде  $M_w$ , являющейся производной величиной от скалярного сейсмического момента, в свою очередь отражающего параметры очага землетрясения и не зависящего от динамики развития разрыва, не вполне корректно. Однако, в связи с большим разбросом магнитудных оце-

нок для умеренных и сильных землетрясений в оперативных каталогах СФ ФИЦ ЕГС РАН и отличием этих оценок от данных других агентств, использование  $M_w$  все же дает более справедливую и устойчивую оценку изменения суммарной сейсмической энергии. В работе [Гусев и др., 1990] показано, что магнитуда по поверхностной волне  $M_s$  (она же  $M_{LH}$ ) на интервале магнитуд 6.0–8.0 практически совпадает с  $M_w$ . Подтверждением этого можно считать то, что пересчитанные нами графики суммарной сейсмической энергии (рис. 4) за 2010–2018 гг. слабо изменились по сравнению с показанными в предыдущих обзорах [Сафонов и др., 2019а; Сафонов и др., 2020].

По графику (рис. 4) можно отметить, что для глубоких землетрясений Сахалинского региона 2020 год выделяется резким максимумом суммарной сейсмической энергии, уступающим, однако, абсолютному максимуму 2012 г. (глубокофокусное землетрясение 14 августа 2012 г. с  $M_W = 7.7$ ). Для Курило-Охотского региона 2020 год стал рекордным по сейсмической энергии за десятилетие. Сравнение уровня энергии землетрясений регионов на временной



Рис. 4. Суммарная сейсмическая энергия землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2010–2020 гг. Fig. 4. Total seismic energy of the earthquakes in the SB FRC UGS RAS responsibility zone in 2010–2020.

шкале хоть и является наглядным, лишено формальных критериев качественной оценки.

В 2020 г. для более формализованного количественного сравнения сейсмичности регионов по отношению к предыдущим годам были построены функции распределения годовой сейсмической энергии отдельно для глубоких и коровых землетрясений Приамурья и Приморья, Сахалина и совокупной – для Курило-Охотского региона. Применялась хорошо зарекомендовавшая себя методика статистической оценки уровня сейсмичности СОУС'09 В.А. Салтыкова [Салтыков, 2011]. Использование суммарной энергии ΣЕ для характеристики сейсмичности связано с ее большей устойчивостью при работе с каталогами разного качества, поскольку большей частью она зависит от наиболее сильных землетрясений. Даже если уровень надежной регистрации землетрясений низок (как в случае оперативного каталога), сильнейшие из произошедших событий регистрируются без пропусков. Однако проблема каталогов СФ ФИЦ ЕГС РАН – в низкой надежности магнитудных оценок даже сильных землетрясений. С переходом к M<sub>w</sub> как к основной энергетической характеристике наиболее сильных землетрясений решено включить СОУС'09 в обзор региональной сейсмичности.

Методика предполагает построение на основе имеющихся длительных каталогов землетрясений региона эмпирической функции распределения суммарной за год сейсмической энергии  $\Sigma E$ :

$$F(K) = P(\lg \Sigma E \le K), \tag{2}$$

где *К* – квантиль распределения, Р – вероятность непревышения указанного значения.

Далее для любого года в границах того же региона можно определить, к какому кванти-

лю принадлежит логарифм суммарной сейсмической энергии.

Автором методики [Салтыков, 2011] предлагается следующая шкала уровней сейсмичности:

экстремально высокий –  $K(0.995) < \lg \Sigma E$ , высокий –  $K(0.975) < \lg \Sigma E < K(0.995)$ , фоновый пониженный –  $K(0.025) < \lg \Sigma E < K(0.15)$ ,

фоновый средний –  $K(0.15) < \lg \Sigma E < K(0.85)$ , фоновый повышенный –  $K(0.85) < \lg \Sigma E < K(0.975)$ ,

низкий –  $K(0.005) < \lg \Sigma E < K(0.025)$ ,

экстремально низкий –  $\lg \Sigma E < K(0.005)$ .

Согласно такой градации, в 95 % случаев сейсмичность региона находится на фоновом уровне, внутри которого есть еще три позиции.

Функция распределения для коровых и глубокофокусных землетрясений Приамурья и Приморья построена на основе каталога землетрясений [Сафонов и др., 2019b], дополненного данными каталогов СФ ФИЦ ЕГС РАН, в интервале времени 1975-2020 гг., данные за более ранний период не использовались по причине возможных пропусков сильных землетрясений. Для Сахалинского региона использовался каталог [Поплавская (ред.), 2006], дополненный материалами СФ ФИЦ ЕГС РАН, в интервале времени 1962-2020. Для Курило-Охотского региона использовался каталог [Ким, Андреева, 2009], дополненный данными филиала, на временном интервале 1920–2020. Содержание всех каталогов приведено к современным границам соответствующих регионов (рис. 1).

Как видно из рис. 5 а, сейсмичность Приамурья и Приморья в 2020 г., как и в предыдущие 5 лет, не выходит из интервала фоновой, хотя коровая сейсмичность держится вблизи центральных квантилей распределения K(0.39), а уровень глубокофокусной сейсмичности оценивается как фоновый пониженный K(0.088).

В Сахалинском регионе (рис. 5 b) уровень энергии коровой сейсмичности в 2020 г. также держится вблизи центральных квантилей распределения K(0.56), а мантийная сейсмичность, благодаря редкому сильному глубокофокусному землетрясению, оказалась в области фоновых повышенных значений почти у ее верхней границы K(0.962).

Сейсмичность Курило-Охотского региона (рис. 6), несмотря на сильнейшее за последнее десятилетие землетрясение, осталась в пределах фонового среднего уровня K(0.81),



**Рис. 5.** Эмпирическая функция распределения годовой сейсмической энергии для коровых (черный цвет линии) и мантийных (серый цвет) землетрясений региона Приамурье и Приморье (а) и Сахалинского региона (b). Отмечены точки, соответствующие каждому году периода 2016–2020.

**Figure 5.** Empirical distribution function of the annual seismic energy for crustal (black line) and mantle (gray line) earthquakes in the Amur-Primorye region (a) and in the Sakhalin region (b). The points corresponding to each year of 2016–2020 period are marked.



**Рис. 6.** Эмпирическая функция распределения годовой сейсмической энергии землетрясений Курило-Охотского региона. Отмечены точки, соответствующие каждому году периода 2011–2020.

**Figure 6.** Empirical distribution function of the annual seismic energy of earthquakes in the Kuril-Okhotsk region. The points corresponding to each year of 2016–2020 period are marked.

хотя 2020 г. и стал самым высокосейсмичным за последние 10 лет, превзойдя показатель 2013 г. (без учета землетрясения 24.05.2013,  $M_w = 8.3$  [Чебров и др., 2013], см. ниже). Все годы последнего десятилетия сейсмичность остается на фоновом уровне, однако чаще попадает в нижние квантили, самая слабая сейсмичность была в 2017 г. – почти на нижней границе фонового пониженного уровня.

# Сейсмическая активность и график Беньофа

По-прежнему удобным способом проследить динамику сейсмичности на временной шкале является график накопления условной деформации по Беньофу [Benioff, 1951]. Использование условной деформации  $\Sigma E^{1/2}$  позволяет уменьшить влияние пиковых значений сейсмической энергии наиболее сильных землетрясений, а наклон графика дает представление о повышении или понижении уровня фоновой сейсмичности.

В связи с пересмотром магнитуд наиболее сильных землетрясений (вместо  $M_{LH}$  базовой расчетной магнитудой считается  $M_w$  в график Беньофа за десятилетний период внесены некоторые изменения по сравнению с опубликованным в [Сафонов и др., 2020]. Прибавилось землетря<br/>сений магнитудой  $M_W \ge 6.7$ , которые отмечают заметные ступеньки на графике (рис. 7 а). Сильнейшее землетрясение десятилетия в Курило-Охотском регионе с  $M_{w} = 8.3$ , произошедшее 24 мая 2013 г. на глубине свыше 600 км [Чебров и др., 2013], удалено с графика Беньофа. Формально расположение его эпицентра у побережья Камчатки выходит за границы зоны ответственности Сахалинского филиала (по оперативным данным). При этом очаг землетрясения, а также некоторые сильные афтершоки, например магнитудой  $M_{w} = 6.7$  в тот же день 24 мая 2013 г., находятся в пределах изучаемой территории. Этот афтершок, вместе с другими сильными землетрясениями, которых в 2013 г. было много и в других районах Курило-Охотского региона, отмечают самую значительную ступень на графике Беньофа с 2010 по 2020 г. Вторая по величине ступень на графике (рис. 7 а) относится к 2020 г. Как очевидно из графика Беньофа за 2020 г. (рис. 7 b), эта ступень накопления условной деформации в большей степени обусловлена двумя описанными выше сильными событиями – 13 февраля  $M_w = 6.9$ , и 25 марта  $M_w = 7.5$ . Вне периода



**Рис. 7.** График Беньофа для Курило-Охотского региона по данным каталогов СФ ФИЦ ЕГС РАН за 2010–2020 гг. (а) и оперативного каталога за 2020 г. (b).

**Figure 7.** Benioff diagrams for the Kuril-Okhotsk region by the data of the SB FRC UGS RAS catalogs for 2010–2020 (a) and the operative catalog for 2020 (b).

сейсмической активизации, связанной с этими событиями (особенно со вторым, сопровождавшимся большим количеством афтершоков), скорость накопления условной деформации остается стабильной, наклон графика сопоставим со спокойными периодами предыдущих лет. Кратковременная локальная активизация сейсмичности в некоторых районах не привела к активизации всего региона.

Помимо карт эпицентров (рис. 1, 3) пространственное распределение сейсмичности территории Курило-Охотского региона в 2020 г. и для десятилетнего интервала 2010–2019 гг. отражено на картах сейсмической активности для энергетического уровня  $A_{10}$ , построенных методом суммирования с постоянной детальностью [Ризниченко, 1964] (рис. 8). Методические аспекты построения описаны в [Сафонов и др., 2019а]. В 2020 г. области построения карт были несколько расширены за счет территории Сахалинского региона и района о. Хоккайдо. Строить подобную карту для региона Приамурье и Приморье неэффективно ввиду малого количества землетрясений в оперативном каталоге. За длительный период подобная карта приведена в [Сафонов и др., 2019b].

Наиболее сейсмически активным в 2020 г. продолжает оставаться район северных Курильских островов. Здесь выделяется две области пиковой сейсмической активности – вблизи очага землетрясения 25.03.2020 ( $A_{10} = 6.1$ ) и северо-восточнее, где происходят межплитовые землетрясения ( $A_{10} = 4.1$ ). Уровень сейсмической активности в 2020 г. здесь превышает максимальный показатель, усредненный за десятилетний период ( $A_{10} = 2.9$ ). Еще один максимум сейсмической активности находится в районе Южных Курил между желобом и о. Итуруп. Уровень сейсмической активности в 2020 г. ( $A_{10} = 2.0$ ) здесь ниже максимальных десятилетних значений ( $A_{10} = 2.8$ ).

В районе Средних Курил уровень сейсмической активности в 2020 г. ( $A_{10} = 0.5$ ) существенно ниже максимальных десятилетних оценок для этой территории ( $A_{10} = 1.3$ ).

Южный фланг Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны проходит под о. Хоккайдо. Здесь максимальная сейсмическая активность (рис. 8 b) наблюдается к юго-востоку от острова, в районе контакта литосферных плит, однако сильные землетрясения могут происходить и глубже, до глубин в 200–250 км под северо-западной частью острова, регулярно происходят и активизации коровой сейсмичности. Так, на рис. 8 b пиковые значения ( $A_{10} = 1.0$ ) большей частью являются следствием афтершокового процесса корового землетрясения 05.09.2018 ( $M_w = 6.7$ ). В 2020 г. максимальные значения сейсмической активности ( $A_{10} = 0.6$ ) относятся к северо-восточной части района (рис. 8 а).

Оценить уровень сейсмической активности Сахалинского региона за один год достаточно сложно из-за малого количества данных, в основном максимумы активности совпадают с эпицентрами сильных землетрясений, имевших афтершоки. Пиковые значения ( $A_{10} = 0.3$ ) находятся примерно на одном уровне с максимальными значениями сейсмической активности за десятилетний период ( $A_{10} = 0.4$ ).

Таким образом, по критерию сейсмической активности *A*<sub>10</sub> сейсмичность в районе северных и южных Курильских островов продолжа-



**Рис. 8.** Сейсмическая активность Сахалинского и Курило-Охотского регионов по данным оперативного каталога землетрясений СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2010–2019 гг. (а) и каталога землетрясений СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2010–2019 гг. (b). Изолинии оконтуривают области, где ежегодное количество землетрясений энергетического класса  $K_c = 10$  из расчета на 1000 км<sup>2</sup> равно либо превышает указанное значение. Пунктиром показан глубоководный желоб и контур Курильской котловины.

**Fig. 8.** Seismic activity of the Sakhalin and Kuril-Okhotsk regions by the data of the earthquake operative catalog of the SB FRC UGS RAS in 2020 (a) and the earthquake catalog of the SB FRC UGS RAS in 2010–2019 (b). Isolines delineate the areas, where the annual number of earthquakes of the energy class  $K_c = 10$  per 1000 km<sup>2</sup> is equal to or exceeds the specified value. The deep-sea trench and the Kuril basin contour are shown with a dotted line.

ет оставаться высокой ( $A_{10} > 1$ ), на Средних Курилах – умеренной ( $A_{10} > 0.1$ ), в Сахалинском регионе и в районе о. Хоккайдо – низкой, местами умеренной.

Можно отметить, что сильное землетрясение 13.02.2020 с  $M_W = 6.9$  почти не нашло отражения на карте сейсмической активности рис. 8 а, что связано с отсутствием зарегистрированных афтершоков. Малое количество или полное отсутствие зарегистрированных афтершоков – характерное явление для землетрясений промежуточной и большой глубины. Это может стать причиной недооценки сейсмической активности на больших глубинах изучаемых регионов.

### Заключение

В 2020 г. в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН наблюдалась некоторая сейсмическая активизация, проявившаяся в ряде сильных, но не причинивших ущерба землетрясений, изучение которых может оказаться полезным для понимания тектоники юга Дальнего Востока России.

Сейсмичность региона Приамурье и Приморье в 2020 г. оказалась низкой, на фоновом среднем уровне по оценке СОУС'09, а по глубокофокусным землетрясениям – на фоновом пониженном. Наиболее заслуживающим внимания можно считать относительно небольшое событие 04.02.2020 с гипоцентром под Зейским водохранилищем, поскольку оно произошло вблизи Зейской ГЭС. Его изучение важно в связи с проблемой сейсмической опасности для подобных объектов и влияния водохранилищ на региональную сейсмичность.

В Сахалинском регионе коровая сейсмичность в 2020 г. находилась на среднем уров-Привлекает внимание землетрясение не. 13.09.2020, значимое для научных изысканий о влиянии разработки угольных месторождений на региональную сейсмичность. Событие также подчеркивает важность сейсмического мониторинга подобных объектов. Сильное глубокофокусное землетрясение 30.11.2020  $(M_w = 6.3)$ , произошедшее под территорией региона, хотя и не является уникальным событием (более сильные землетрясения на больших глубинах зарегистрированы в регионе, например, 14.08.2012,  $M_{W}$  = 7.7, и 12.05.1990,  $M_{W}$  = 7.2), однако таких событий изучено недостаточно для научных обобщений о нижних сейсмогенерирующих участках Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны. Потому исследование каждого нового представляет особую научную ценность.

Уровень сейсмичности Курило-Охотского региона в 2020 г. оказался самым высоким за прошлое десятилетие, но в границах средних фоновых значений за столетний период. Особенно нужно отметить северную часть гряды, где помимо большого числа межплитовых землетрясений умеренной магнитуды произошло редкое сильное событие 25.03.2020 ( $M_w = 7.5$ ) на изгибе Тихоокеанской плиты, уже привлекшее внимание специалистов. Сейсмичность Южных Курил и о. Хоккайдо по критерию  $A_{10}$ 

в 2020 г. оказалась немного ниже среднего десятилетнего уровня, однако здесь на промежуточных глубинах произошло интересное для изучения землетрясение 23.02.2020 ( $M_w = 6.9$ ).

В районе Средних Курил сейсмичность остается довольно низкой. Сильных глубокофокусных землетрясений в 2020 г. в Курило-Охотском регионе не отмечено.

#### Список литературы

1. Гусев А.А., Мельникова В.Н. **1990.** Связи между магнитудами – среднемировые и для Камчатки. *Вулканология и сейсмология*, 6: 55–63.

2. Ким Ч.У., Андреева М.Ю. **2009.** Каталог землетрясений Курило-Камчатского региона (1737–2005 гг.). Препринт. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 126 с.

3. Коваленко Н.С., Фокина Т.А., Сафонов Д.А. **2019.** Приамурье и Приморье. Землетрясения Северной Евразии, 22(2013): 161–172. doi:10.35540/1818-6254.2019.22.14

4. Костылев Д.В. **2001.** Формирование единой системы сбора сейсмологической информации в Сахалинском филиале ФИЦ ЕГС РАН. *Российский сейсмологический журнал*, 3(1): 41–53. https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.03

5. Поплавская Л.Н. (ред.). **2006.** *Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005.* Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 103 с.

6. Прытков А.С., Василенко Н.Ф. **2021.** Парамуширское землетрясение 25 марта 2020 г. М<sub>w</sub> = 7.5. *Геосистемы переходных зон*, 5(2): 113–127. https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.2.113-120.121-127

7. Ризниченко Ю.В. **1964.** Метод суммирования землетрясений для изучения сейсмической активности. *Изв. АН СССР. Сер. Геофизическая*, 7: 969–977.

8. Салтыков В.А. **2011.** Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки. *Вулканология и сейсмология*, 2: 53–59. https://doi.org/10.1134/S0742046311020060

0 Categor II A Veyengeon A P 2017 Hereir 2000

9. 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.

10. Сафонов Д.А., Фокина Т.А., Коваленко Н.С. **2019а.** 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

11. Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Коваленко Н.С. **2019b.** *Сейсмичность региона Приамурье и Приморье*. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 104 с.

12. Сафонов Д.А., Костылев Д.В., Фокина Т.А., Коваленко Н.С. **2020.** Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2019 году. *Геосистемы переходных зон*, 4(2): 146–159. https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.2.146-159

13. Семенова Е.П., Богинская Н.В., Костылев Д.В. **2020.** Углегорское землетрясение 13 сентября 2020 года (о. Сахалин): предпосылки возникновения и результаты наблюдений в эпицентральной зоне. *Геосистемы переходных зон*, 4(4): 474–485. https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.4.474-485

14. 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 ежегоднике: Землетрясения России в 2016 году. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 45–53.

15. Фокина Т.А., Сафонов Д.А., Костылев Д.В., Михайлов В.И. **2019.** Сахалин. Землетрясения Северной Евразии, 22(2013): 173–183. doi:10.35540/1818-6254.2019.22.15

16. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Викулина С.А., Кравченко Н.М., Матвеенко 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 Мw = 8.3 – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений. *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*, 1(21): 17–24.

17. Benioff H. **1951.** Earthquakes and rock creep. *Bull. of the Seismological Society of America*, 41(1): 31–62. https://doi.org/10.1785/bssa0410010031

18. Gutenberg B., Richter C.F. **1942.** Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration. *Bull. of the Seismological Society of America*, 32(3): 163–191. https://doi.org/10.1785/BSSA0320030163

19. 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

20. Ye L., Lay T., Kanamori H. **2021.** The 25 March 2020  $M_w$  7.5 Paramushir, northern Kuril Islands earthquake and major ( $M_w \ge 7.0$ ) near-trench intraplate compressional faulting. *Earth and Planetary Science Letters*, 556: 116728. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116728

#### References

1. Gusev A.A., Mel'nikova V.N. **1990.** [Relations between magnitudes: global and Kamchatka data]. *Vulkanologiya i seysmologiya = Volcanology and Seismology*, 6: 55–63. (In Russ., abstr. in Engl.).

2. Kim Ch.U., Andreeva M.Yu. **2009.** [*Earthquake catalog of the Kuril-Kamchatka region (1737–2005)*]. Preprint. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGiG DVO RAN, 126 p.

3. Kovalenko N.S., Fokina T.A., Safonov D.A. **2019.** Priamurye and Primorye. *Earthquakes in Northern Eurasia*. 22(2013): 161–172. (In Russ., abstr. in Engl.). doi:10.35540/1818-6254.2019.22.14

4. Kostylev D.V. **2021.** [Formation of a unified system for collecting seismological information in the Sakhalin Branch of GS RAS]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* = *Russian J. of Seismology*, 3(2): 41–53. (In Russ.). https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.03

5. Poplavskaya L.N. (ed.) **2006.** [*Regional earthquake catalog of Sakhalin Island, 1905–2005*]. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGiG DVO RAN, 103 p. (In Russ.).

6. Prytkov A.S., Vasilenko N.F. **2021.** The March 25, 2020 M<sub>w</sub> 7.5 Paramushir earthquake. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 5(2):113–127. (In Russ. & Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.2.113-120.121-127

7 Biznichenko VI V **1964** Metod summirovanija zemletriasenij dli

7. Riznichenko Yu.V. **1964.** Metod summirovaniia zemletriasenii dlia izucheniia seismicheskoi aktivnosti [Studying the seismic activity by the method of earthquakes summation]. *Izv. AN SSSR. Ser. geofizicheskaia*, 7: 969–977. (In Russ.).

8. Saltykov V.A. **2011.** A statistical estimate of seismicity level: The method and results of application to Kamchatka. *J. of Volcanology and Seismology*, 5: 123–128. https://doi.org/10.1134/S0742046311020060

9. Safonov D.A., Konovalov A.V. **2017.** Moment tensor inversion in the Kuril-Okhotsk and Sakhalin regions using ISOLA software. *Tikhookeanskaya geologiya*, 36(3): 102–112. (In Russ.).

10. Safonov D.A., Fokina T.A., Kovalenko N.S. **2019a.** Seismicity of the South Far East of Russia in 2018. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 3(4): 364–376. (In Russ., abstr. in Engl.). https://doi.org/10.30730/2541-8912.2019.3.4.364-376

11. Safonov D.A., Nagornyh T.V., Kovalenko N.S. **2019b.** *Seismicity of the Amur and Primorye regions*. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGG FEB RAS, 104 p. (In Russ., abstr. in Engl.).

12. Safonov D.A., Kostylev D.V., Fokina T.A., Kovalenko N.S. **2020.** Seismicity of the South Far East of Russia in 2019. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 4(2): 146–159. (In Russ., abstr. in Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.2.146-159

13. Semenova E.P., Boginskaya N.V., Kostylev D.V. **2020.** Uglegorsk earthquake on September 13, 2020 (Sakhalin Island): preconditions for the occurrence and the results of observations in the epicentral zone. *Geosistemy perehodnykh zon* = *Geosystems of Transition Zones*, 4(4): 474–485. (In Russ., abstr. in Engl.). https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.4.474-485

14. 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: *Zemletryaseniya Rossii v 2016 gody [Earthquakes in Russia, 2016]*. Obninsk: FRC UGS RAS, 45–53. (In Russ.)

15. Fokina T.A., Safonov D.A., Kostylev D.V., Mikhaylov V.I. **2019.** Sakhalin. *Earthquakes in Northern Eurasia*, 22(2013): 173–183. (In Russ., abstr. in Engl.). doi: 10.35540/1818-6254.2019.22.15

16. 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 Mw = 8.3 – the strongest seismic event near Kamchatka coastline for the period of detailed seismological observations]. *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle = Bull. of KRAESC. Earth Sciences*, 1(21): 17–24. (In Russ.).

17. Benioff H. **1951**. Earthquakes and rock creep. *Bull. of the Seismological Society of America*, 41(1): 31–62. https://doi.org/10.1785/bssa0410010031

18. Gutenberg B., Richter C.F. **1942**. Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration. *Bull. of the Seismological Society of America*, 32(3): 163–191. https://doi.org/10.1785/BSSA0320030163

19. 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

20. Ye L., Lay T., Kanamori H. **2021.** The 25 March 2020  $M_w$  7.5 Paramushir, northern Kuril Islands earthquake and major ( $M_w \ge 7.0$ ) near-trench intraplate compressional faulting. *Earth and Planetary Science Letters*, 556: 116728. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116728

#### Сведения об авторах

САФОНОВ Дмитрий Александрович (https://orcid. org/0000-0002-2201-2016), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории сейсмологии, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, d.safonov@imgg.ru

ФОКИНА Татьяна Александровна, начальник отдела сводной обработки сейсмологических данных, Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск, fokina@seismo.sakhalin.ru

#### **About the Authors**

SAFONOV Dmitry A. (https://orcid.org/0000-0002-2201-2016), Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Senior Researcher of the Laboratory of seismology, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of the RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, d.safonov@imgg.ru

FOKINA Tatyana A., Head at the Department of summary processing of seismological data, Sakhalin Branch of the United Geophysical Survey of the RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, fokina@seismo.sakhalin.ru