

© Авторы 2024 г. Открытый доступ.  
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution  
License 4.0 International (CC BY 4.0)



© The Authors 2024. Open access.  
Content is available under Creative Commons Attribution  
License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 550.34

<https://doi.org/10.30730/gtrz.2024.8.2.077-090>  
<https://www.elibrary.ru/vlppqc>

## Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2023 году

Д. А. Сафонов<sup>@1</sup>, Е. П. Семенова<sup>2</sup>

@E-mail: [d.safonov@imgg.ru](mailto:d.safonov@imgg.ru)

<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

**Резюме.** В работе представлен обзор сейсмичности южной части Дальнего Востока России в 2023 г., основанный на данных каталога регионального информационно-обрабатывающего центра «Южно-Сахалинск» Сахалинского филиала ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН». Приведены основные параметры сейсмичности: карты эпицентров землетрясений и их макросейсмических проявлений, статистическая оценка уровня сейсмичности СОУС'09, графики Бенъофа, карты плотности условной упругой деформации в 2023 г. в сравнении с предыдущим более длительным временным интервалом. Дан краткий анализ наиболее значимых и интересных для детального изучения землетрясений. Сейсмичность Курило-Охотского, Сахалинского регионов и региона Приамурье и Приморье в течение года оставалась умеренной, в пределах фоновых значений. Наиболее сильное землетрясение с  $M_w = 6.4$  произошло в южной части Курильской островной дуги.

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

## Seismicity of the south of the Russian Far East in 2023

Dmitry A. Safonov<sup>@1</sup>, Elena P. Semenova<sup>2</sup>

@E-mail: [d.safonov@imgg.ru](mailto:d.safonov@imgg.ru)

<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

**Abstract.** The paper presents an overview of the seismicity of the southern part of the Russian Far East in 2023 based on the data from the catalog of the "Yuzhno-Sakhalinsk" Regional Information Processing Center (RIPC) of the Sakhalin Branch of the Federal Research Center "United Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences" (SB FRC UGS RAS). The main parameters of seismicity, such as maps of earthquake epicenters and their macroseismic events, the statistical estimation of the seismicity level (SESL'09), Benioff graphs, and density maps of nominal elastic deformation in 2023 in comparison with the previous longer time interval, are given. A brief analysis of the most significant and interesting earthquakes for detailed study is given. The seismicity of the Kuril-Okhotsk, Sakhalin, and Amur and Primorye regions remained moderate during the year, within the background values. The strongest earthquake with  $M_w = 6.4$  occurred in the southern part of the Kuril Island arc.

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

**Для цитирования:** Сафонов Д.А., Семёнова Е.П. Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2023 году. *Геосистемы переходных зон*, 2024, т. 8, № 2, с. 77–90. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2024.8.2.077-090>; <https://www.elibrary.ru/vlppqc>

**For citation:** Safonov D.A., Semenova E.P. Seismicity of the south of the Russian Far East in 2023. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2024, vol. 8, no. 2, pp. 77–90. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2024.8.2.077-090>; <https://www.elibrary.ru/vlppqc>

### Финансирование и благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного финансирования Министерства науки и высшего образования Российской Федерации с использованием

### Funding and Acknowledgements

The study was carried out within the framework of state funding of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation using the data obtained with large-

данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>). Авторы благодарят уважаемых рецензентов за детальный анализ работы и полезные замечания.

## Введение

Статья продолжает ежегодные обзоры [1] сейсмичности территории юга Дальнего Востока России на основе оперативных данных Сахалинского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (СФ ФИЦ ЕГС РАН). Как и в предыдущей статье, для исследования использовалась выборка из базы данных землетрясений регионального информационно-обрабатывающего центра (РИОЦ) «Южно-Сахалинск».

Каталог РИОЦ «Южно-Сахалинск» содержит основные параметры зарегистрированных землетрясений, обработанных в оперативном режиме. В качестве основной энергетической характеристики принимается региональная магнитуда  $ML$  ( $M_{wa}$ ) [2].

Цель работы – оценить сейсмичность южной части Дальнего Востока РФ по предварительным данным, полученным в оперативном режиме. Основной акцент в статье сделан на наиболее сильных по магнитуде и макросейсмическому эффекту землетрясениях, детальные данные по которым станут доступны после окончательной обработки в течение 2024 г.

Обзор сейсмичности выполнен с использованием основных характеристик: статистической оценки уровня сейсмичности СОУС'09, графиков Беньофа. Для демонстрации пространственного распределения сейсмичности приведены карты эпицентров и плотности условной упругой деформации.

## Исходные данные

К концу 2023 г. сеть сейсмических станций СФ ФИЦ ЕГС РАН (международный код сети – SAGSR) официально состояла из 46 пунктов непрерывных наблюдений, 37 из которых – стационарные и 9 – автономные короткопериодные полевых наблюдений на юге

scale research facilities «Seismic infrasound array for monitoring Arctic cryolitozone and continuous seismic monitoring of the Russian Federation, neighbouring territories, and the world» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

The authors thank the respected Reviewers for their detailed analysis of the paper and helpful comments.

о. Сахалин, это на один пункт наблюдений меньше, чем в прошлом году [1] (рис. 1, 2).

В 2023 г. по разным причинам была остановлена работа пунктов сейсмологических наблюдений «Невельск» (NEV), «Новоалександровск» (NVA) на юге о. Сахалин, «Краснополье» (UGL2) в центральной части острова, а также один из комплектов широкополосной аппаратуры станции «Южно-Сахалинск» (SSH). Возобновление работы указанных пунктов не планируется.

Кроме того, в законсервированном состоянии находятся сейсмические станции «Вал» (VAL), «Новиково» (NOV) на о. Сахалин, «Головнино» (GLVR), «Плато» (SK2) на Курильских островах и «Экимчан» (EKMR) в Приамурье (рис. 1, 2).

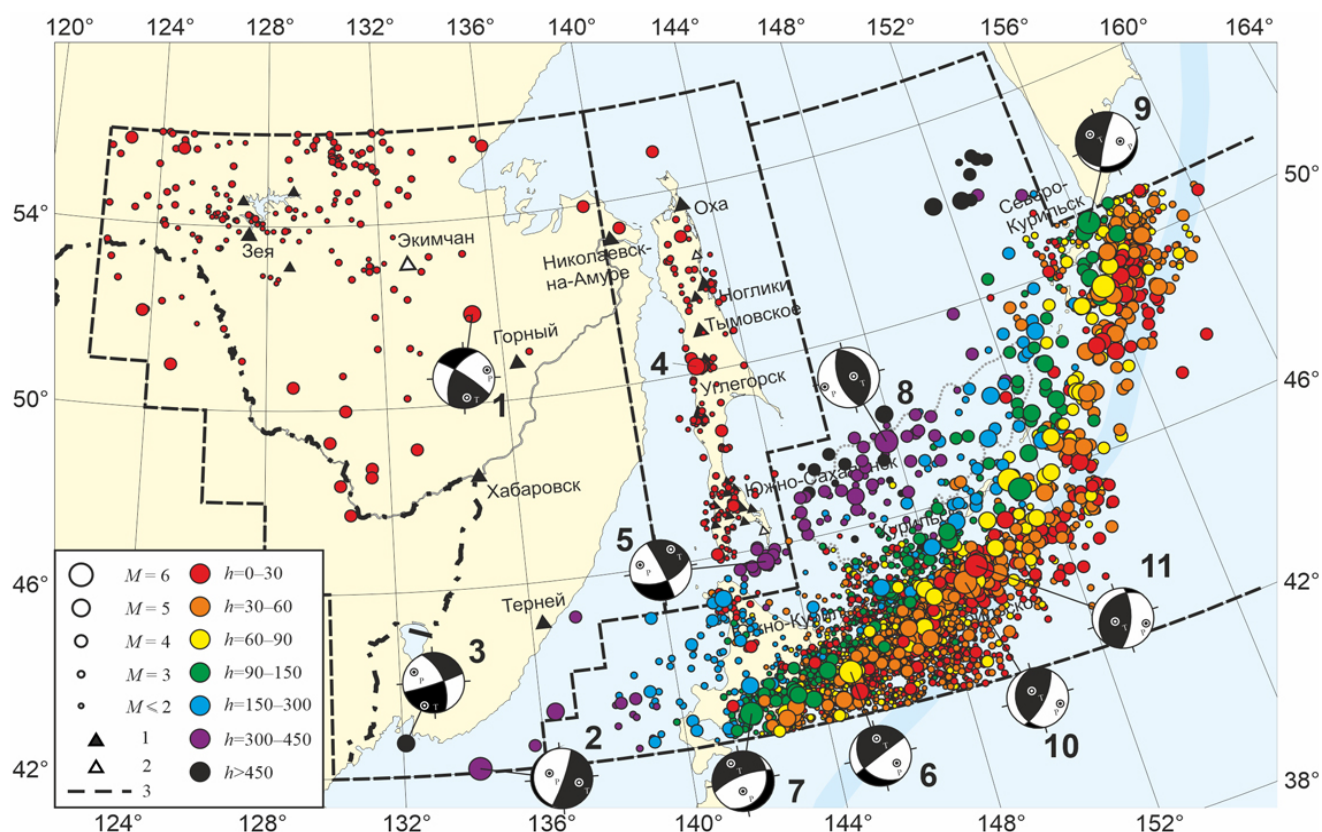
Для обеспечения сейсмического мониторинга в режиме реального времени на западном побережье юга Сахалина 24 октября 2023 г. был введен в эксплуатацию пункт наблюдения «Колхозное» (ККН), организованный на базе автономной станции сети полевых наблюдений. Установка данной станции призвана компенсировать остановку станции «Невельск» (NEV), а также входит в процесс запланированной интеграции станций полевых наблюдений в единую систему сбора сейсмологических данных филиала.

Мониторинг сейсмичности на территории Приамурья проводится преимущественно сейсмическими станциями «Зейского узла»: «Зея» (ZEA), «Бомнак» (BMKR), «Кировский» (KROS) и «Октябрьский» (ОТВ). С 2021 г. последние три станции оборудованы российскими сейсмографами ZETLAB ZET 7152-N VER.3 со встроенным короткопериодным велосиметром. В связи с отсутствием стабильных каналов передачи данных в Амурской области станции наблюдений «Бомнак», «Кировский» и «Октябрьский» были переведены в

режим работы без передачи данных в реальном времени. Данные этих трех станций сохраняются на встроенном накопителе регистратора и передаются ежемесячно в ИОЦ «Зея» для последующей обработки. Станция «Зея» производит регистрацию сейсмических сигналов регистрирующим комплексом Datamark на базе широкополосного высокочувствительного сейсмометра STS-2. К обработке материалов наблюдений привлекались данные сейсмической станции «Кульдур» (KLR), «Николаевск-на-Амуре» (NKL) и других станций региональной сети. Оперативное определение эпицентров сейсмических событий в регионе Приморье и Приамурье контролируется РИОЦ «Южно-Сахалинск». К моменту написания статьи обработка землетрясений этой территории, произошедших в 2023 г., была завершена и внесена в базу РИОЦ, что позволило включить в анализ региональной сейсмичности более 200 землетрясений.

Таким образом, фактически в регистрации сейсмичности в течение года участвовал 41 пункт наблюдений: 9 на материковой части территории зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН, 25 пунктов, включая локальную сеть юга, на о. Сахалин, 7 стационарных наблюдательных пунктов на Курильских островах.

Количество землетрясений, определенных в оперативном режиме по данным как минимум трех сейсмических станций (с учетом пунктов наблюдений других организаций) в 2023 г. существенно возросло по сравнению с прошлым годом и составило 4690 событий, исключая идентифицированные как взрывы (рис. 1). Это 4266 землетрясений Курило-Охотского региона, 219 – Сахалинского региона (194 коровых и 25 глубокофокусных событий), 205 – Приамурья и Приморья (200 коровых и 5 глубокофокусных).



**Рис. 1.** Карта эпицентров землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2023 г.  $M$  – магнитуа  $ML$ ;  $h$  – глубина гипоцентра, км; 1, 2 – сейсмические станции СФ ФИЦЕГС РАН: 1 – действующие, 2 – не действующие в 2023 г.; 3 – границы регионов. Номера эпицентров землетрясений согласно табл. 1. Приведены механизмы очагов наиболее сильных землетрясений.

**Fig. 1.** Map of earthquake epicenters in the SB FRC UGS RAS zone of responsibility in 2023.  $M$ , magnitude;  $h$ , hypocenter depth, km; 1 and 2, seismic stations of the SB FRC UGS RAS: 1, operational; 2, non-operational in 2023; 3, region borders. Numbers of earthquake epicenters are given in accordance with Table 1. Focal mechanisms of the strongest earthquakes are given.

Для 43 землетрясений определен тензор сейсмического момента центра и моментная магнитуда [3, 4].

80 землетрясений с эпицентрами в пределах зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН имели ощутимые проявления на территории регионов, помимо этого здесь зарегистрированы сотрясения от 6 землетрясений с эпицентрами за пределами территории (рис. 2).

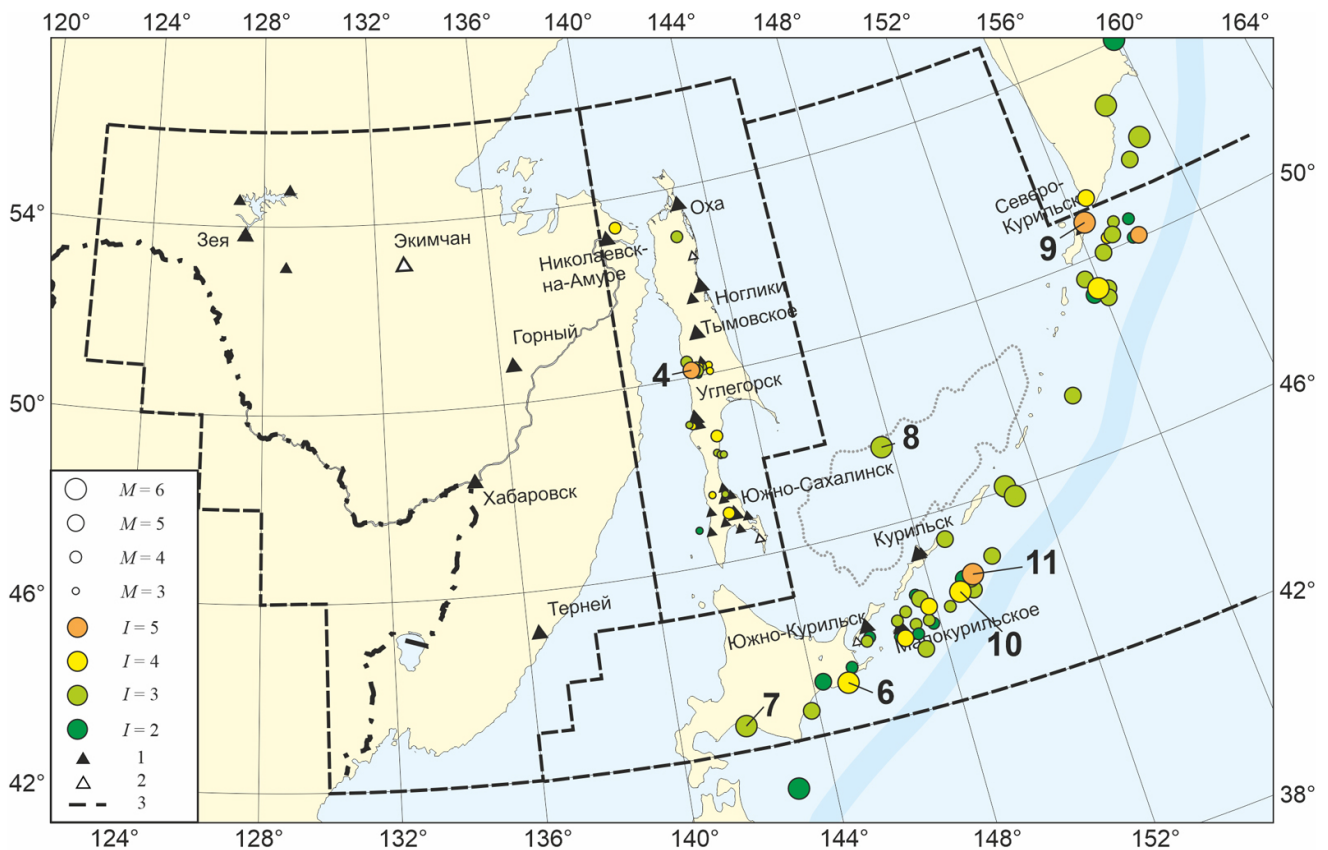
Наиболее массовой энергетической характеристикой каталога РИОЦ «Южно-Сахалинск» в 2023 г. является региональная магнитуда  $ML$  ( $M_{wa}$  в обзоре прошлого года), она определена для всех землетрясений, а потому наиболее удобна для использования. К тому же, для ее определения используется наибольшее количество региональных сейсмостанций.

Для отдельных сильных и умеренно-сильных землетрясений был определен механизм очага [3, 4] и получена моментная магнитуда  $Mw_{per}$ .

Для связи каталога 2023 г. с более ранними данными, а также для расчета сейсмической энергии по формуле Гуттенберга–Рихтера ( $Lg E = 4.8 + 1.5 M_s$ , Дж [5]) – применялся переход от  $ML$  к основной расчетной магнитуде  $M$ , соответствующей магнитуде по поверхностной волне  $MLH$  (аналог  $M_s$ ). Для Курило-Охотского региона и всех глубокофокусных землетрясений использована полученная ранее [2] формула:  $M = 1.15 ML - 1.19$ .

При наличии  $Mw_{per}$   $M$  рассчитывалась по формуле [6]:  $M = 1.24 Mw_{per} - 1.48$ .

Для Приамурья и Приморья  $ML$  применяется недавно, массово – только с 2023 г., для Сахалинского региона особенности ее связи с другими магнитудами также не вполне ясны, потому для коровых землетрясений этих регионов для перехода к  $M$  использовался непосредственно, либо в качестве транзитного энергетический класс  $K_p$  [7], связанный с  $ML$  соотношением, полученным для Сахалинского региона [2]:  $K_p = 1.54 ML + 4.61$ .



**Рис. 2.** Карта эпицентров ощутимых землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2023 г.  $M$  – магнитуда  $ML$ ;  $I$  – максимальная интенсивность сотрясений по данным СФ, балл; 1, 2 – сейсмические станции СФ ФИЦ ЕГС РАН: 1 – действующие; 2 – не действующие в 2023 г.; 3 – границы регионов. Номера эпицентров землетрясений согласно табл. 1.

**Fig. 2.** Map of epicenters of felt earthquakes in the SB FRC UGS RAS zone of responsibility in 2023.  $M$ , magnitude;  $I$ , maximum shaking intensity according to SB data, point; 1 and 2, seismic stations of the SB FRC UGS RAS: 1, operational; 2, non-operational in 2023; 3, region borders. Numbers of the epicenters are given in accordance with Table 1.

Переход к  $M$  осуществлялся по формуле Т.Г. Раутиан [7]:  $M = (K_p - 4)/1.8$ .

В работе [6] опубликованы новые или уточненные формулы, связывающие  $MLH$  с другими энергетическими характеристиками землетрясений окончательного каталога Курило-Охотского региона по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН. Эти соотношения были использованы для получения унифицированной расчетной магнитуды  $M$  землетрясений каталога Курило-Охотского региона 1981–2022 гг., а также глубоководных событий Приамурья и Приморья и Сахалинского региона 1981–2022 гг., использовавшихся для сопоставления с каталогом 2023 г.

Поскольку для коровых землетрясений Сахалина, а также континентальной части зоны ответственности Сахалинского филиала зависимости между магнитудами существенно отличаются от полученных для Курило-Охотского региона, в настоящей работе в каталогах 1981–2022 гг. для перехода к  $MLH$  от наиболее распространенных здесь энергетических классов и  $K_p$  и  $K_c$  использовались старые формулы из работ Т.Г. Раутиан [7] и С.Л. Соловьева [8], хотя в будущем предполагается проверить актуальность этих зависимостей, а также получить недостающие связи между  $ML$  и другими энергетическими характеристиками региональных каталогов. В настоящий момент получению этих соотношений для коровых землетрясений Сахалина и континентальной территории препятствует малое количество и узкий диапазон данных.

## Основные характеристики сейсмичности

Одной из базовых характеристик для обобщенного описания сейсмичности является выделенная в изучаемый период сейсмическая энергия  $\Sigma E$ , оцениваемая по магнитуде зарегистрированных землетрясений. Этот важный параметр дает общее представление о сейсмической активности региона.

В обзоре прошлого года авторы высказали сомнение в точности расчетов унифицированной магнитуды использованных каталогов с применением имевшихся на тот момент переходных формул. Поэтому была проведена

работа по уточнению [6] межмагнитудных соотношений для Курило-Охотского региона. С учетом продолжения сейсмофокальной зоны под Сахалин и Приморье, полученные формулы можно применять и для глубоких событий этих регионов. Для сильных событий новые соотношения при пересчете унифицированной магнитуды дают оценки близкие к полученным ранее. Поэтому значения суммарной энергии землетрясений Курило-Охотского региона в наиболее сейсмически активные годы мало отличаются от ранее публиковавшихся, однако для периодов с меньшим количеством сильных землетрясений уточнение унифицированной магнитуды дает более заметный эффект.

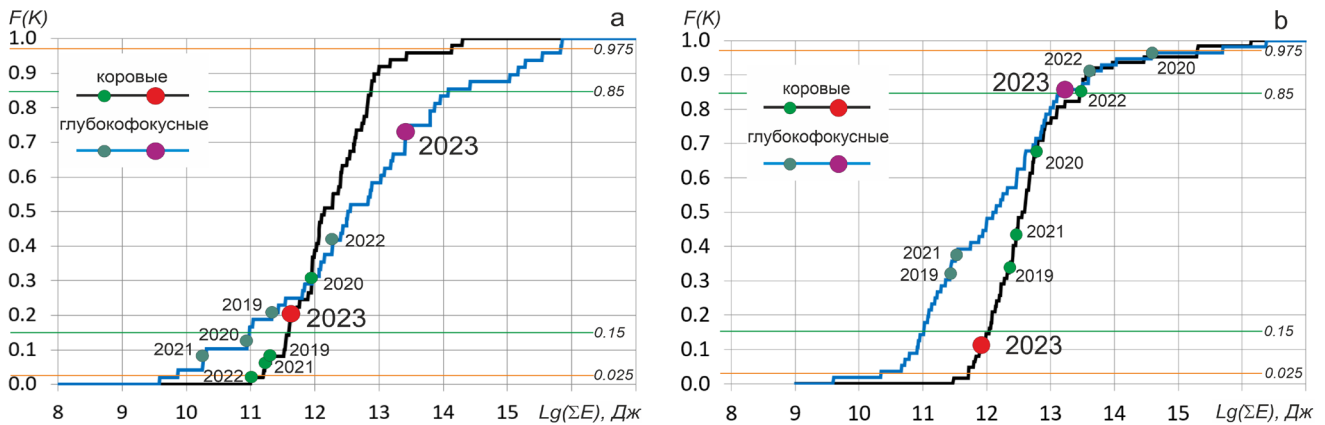
Статистически обоснованное сравнение параметра  $\Sigma E$  2023 г. со значениями за длительный временной период дают графики функции распределения годовой сейсмической энергии  $F$  по методике СОУС'09 [9] (рис. 3 и 4) согласно предложенной В.А. Салтыковым градации уровней сейсмичности:

- экстремально высокий –  $F \geq 0.995$ ,
- высокий –  $0.975 < F < 0.995$ ,
- фоновый повышенный –  $0.85 < F < 0.975$ ,
- фоновый средний –  $0.15 < F < 0.85$ ,
- фоновый пониженный –  $0.025 < F < 0.15$ ,
- низкий –  $0.005 < F < 0.025$ ,
- экстремально низкий –  $F < 0.005$ .

Основой для построения графиков функции распределения послужили региональные каталоги Приамурья и Приморья 1975–2023 гг., Сахалинского региона 1962–2023, Курило-Охотского региона 1920–2023 гг. [10–12], дополненные данными Сахалинского филиала СФ ФИЦ ЕГС РАН, включая предварительные данные РИОЦ «Южно-Сахалинск» за 2023 г.

В регионе Приамурья и Приморья (рис. 3 а) уровень коровой сейсмичности 2023 г. оценивается как фоновый средний на уровне 21-го квантиля распределения ( $F = 0.21$ ). Значение функции распределения глубоководной сейсмичности  $F = 0.72$  соответствует среднему фоновому уровню.

В Сахалинском регионе (рис. 3 б) уровень коровой сейсмичности 2023 г. фоновый пониженный ( $F = 0.11$ ), самый низкий с 1991 г. Глубоководная сейсмичность ( $F = 0.86$ ) на фоновом повышенном уровне.

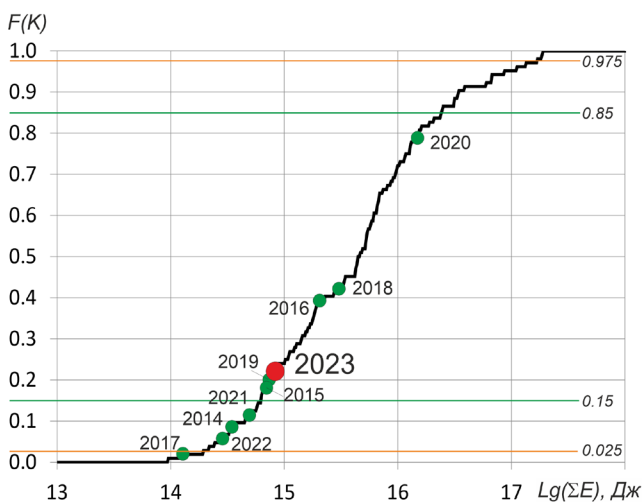


**Рис. 3.** Эмпирическая функция распределения годовой сейсмической энергии для коровых (черный цвет линии) и мантийных (синий цвет) землетрясений региона Приамурье и Приморье (а) и Сахалинского региона (б). Отмечены точки, соответствующие каждому году периода 2019–2023.

**Fig. 3.** Empirical distribution function of the annual seismic energy for crustal (black line) and mantle (blue line) earthquakes in the Amur-Primorye region (a) and Sakhalin region (b). The dots corresponding to each year of the period 2019–2023 are marked.

В Курило-Охотском регионе (рис. 4) уровень сейсмичности ( $F = 0.22$ ) вблизи границы между средним и пониженным фоновым. При этом уровень сейсмичности 2022 г. из-за пересмотра значений  $M$  опустился в самый низ диапазона фоновой сейсмичности, а 2017 г. даже вышел за его пределы и оценивается как низкий.

Способом проследить ход сейсмического процесса во времени является график Беньюфа. Как и в предыдущих ежегодных обзорах, получен график Беньюфа для Курило-Охот-



**Рис. 4.** Эмпирическая функция распределения годовой сейсмической энергии землетрясений Курило-Охотского региона. Отмечены точки, соответствующие каждому году периода 2014–2023.

**Fig. 4.** Empirical distribution function of the annual seismic energy of the earthquakes in the Kuril-Okhotsk region. The dots corresponding to each year of the period 2014–2023 are marked.

ского и коровых событий Сахалинского региона (рис. 5 d, f). Поскольку оперативный каталог 2023 г. (в отличие от предыдущих обзоров) содержит довольно большое число землетрясений Приамурья и Приморья, для коровых событий этого региона также получен график Беньюфа (рис. 5 b). Для сравнения на основе каталогов окончательных данных были построены графики за более длительный интервал времени – с 1981 г., в вариантах для всех известных событий по данным СФ ФИЦ ЕГС РАН и для событий выше определенной магнитуды (рис. 5 a, c, e), чтобы снизить влияние изменяющейся представительности каталогов, поскольку, в отличие от величины  $\Sigma E$ , определяемой сильнейшими землетрясениями каталога, на величину  $\Sigma E^{1/2}$  оказывают сопоставимое влияние землетрясения различных магнитудных диапазонов, а потому ощутим пропуск слабых событий.

В регионе Приамурье и Приморье на протяжении 44 лет, судя по наклону графика Беньюфа, сейсмический процесс достаточно равномерен. Выделяются ступенями два сильнейших региональных землетрясения этого периода – Приморское землетрясение 13 ноября 1990 г. с  $M = 6.2$  ( $M_w = 5.9$ ,  $h = 18$  км) с эпицентром в Татарском проливе и Сковородинское землетрясение 14 октября 2011 г. с  $M = 6.3$  ( $M_w = 6.0$ ,  $h = 16$  км) в Верхнем Приамурье [12]. Можно отметить существенное уменьшение угла наклона графика на участках фоновой сейсмичности (без ступеней сильных

событий) в 2019–2022 г., закончившееся в 2023 (по предварительным данным). Впрочем, для тектонически сложного региона с длительной подготовкой сильнейших землетрясений рассматриваемого интервала времени может оказаться недостаточно для выводов о существовании сейсмического затишья или активизации. В 2023 г. наклон графика Бенъофа равномерен, при этом в условиях слабой сейсмичности на годовом интервале даже несильные землетрясения магнитудой  $M = 3.8–4.2$  создают на нем заметную ступень.

В Сахалинском регионе на интервале 1981–2023 гг. выделяются сильнейшие региональные события – Нефтегорское землетрясение 27 мая 1995 г. с  $M = 7.0$  ( $M_w = 7.0$ ,  $h = 18$  км) в северной части острова, Углегорское 4 августа 2000 г. с  $M = 7.0$  ( $M_w = 6.8$ ,  $h = 13$  км) в центральной части и серия Невельских событий 2 августа 2007 г. с  $M = 6.1, 6.3$  ( $M_w = 5.8, 6.2$ ,  $h = 10$  км) на юге. При этом наблюдается постепенное увеличение угла наклона графика на прямолинейных участках, что отчасти связано с увеличением полноты регионального каталога, в основном за счет развертывания сети локальных наблюдений юга острова. Как видно из варианта графика (рис. 5 с), построенного по выборке с  $M \geq 3.5$ , после Нефтегорского и Углегорского землетрясений, когда закончился предшествовавший им период сейсмического затишья, наклон графика фоновой сейсмичности остается примерно постоянным с небольшими вариациями без признаков начала нового периода сейсмического затишья перед сильнейшим региональным землетрясением. С учетом характерной длительности сейсмического цикла сильнейших региональных землетрясений порядка тысячи лет, как и в случае с Приамурьем и Приморьем, представленный на рис. 5 временной интервал может оказаться слишком коротким для подобных выводов. При этом для более слабых событий выявление интервалов сейсмического затишья может служить первым этапом успешных прогнозных оценок по потоку сейсмичности, как показано в работе [13].

2023 год в Сахалинском регионе, согласно графику (рис. 5 d), начался с небольшой активизации, выразившейся в рое слабых землетрясений в районе с. Онон в январе–

марте, при этом общий сейсмический поток был настолько слабым, что на графике Бенъофа заметную ступень создают даже события с  $M = 3.8–4.2$ . На фоне длительного периода времени (рис. 5 с) 2023 год (по предварительным данным) отмечается уменьшением наклона графика.

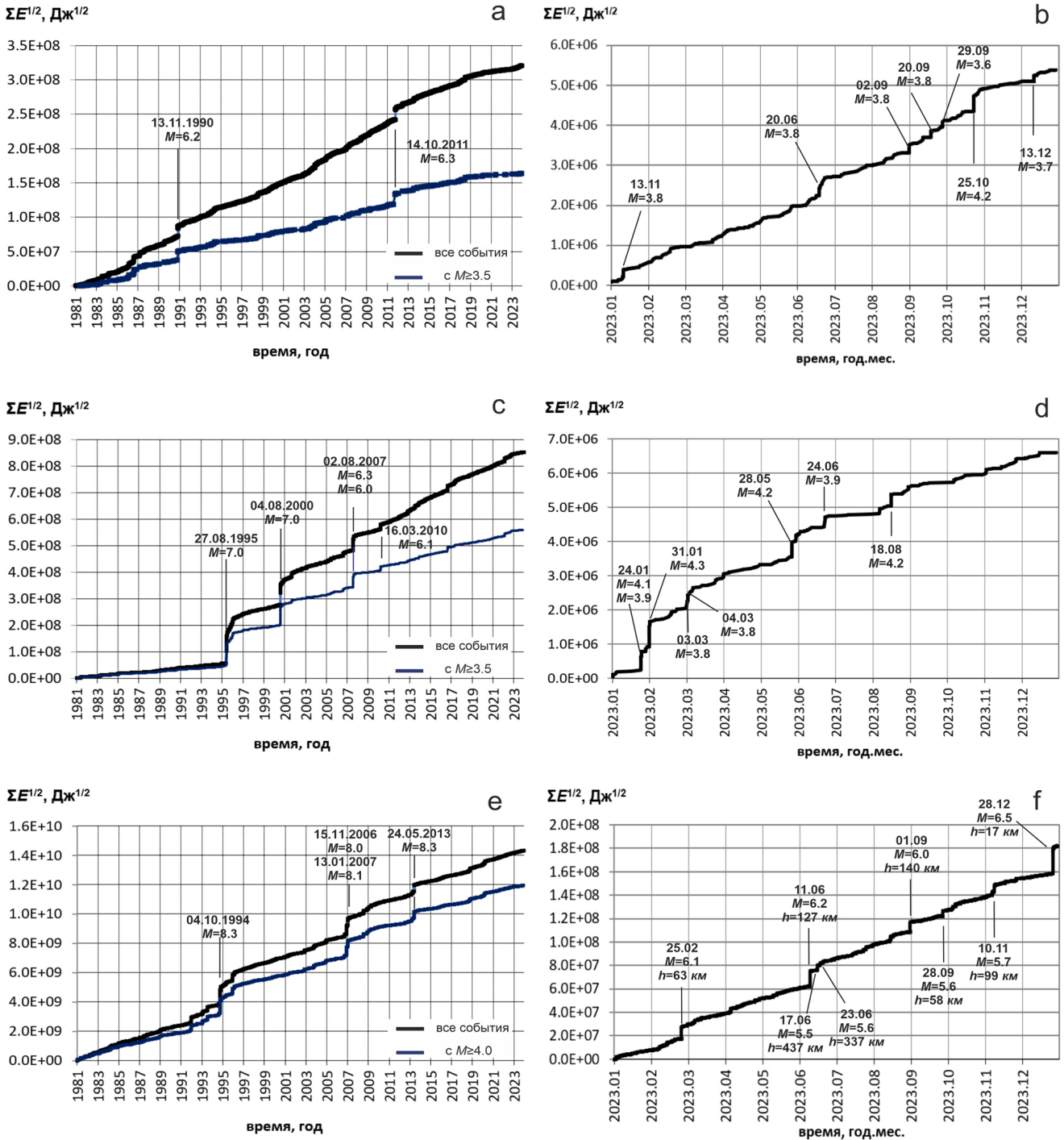
Для Курило-Охотского региона (рис. 5 e) событиями регионального масштаба, создавшими значительную ступень на графике Бенъофа в 1981–2023 гг., являются в первую очередь землетрясения магнитудой  $M \geq 8.0$ : Шикотанское 4 октября 1994 г. с  $M = 8.3$  ( $M_w = 8.3$ ,  $h = 23$  км), Симуширские 15 октября 2006 г. с  $M = 8.0$  ( $M_w = 8.3$ ,  $h = 37$  км) и 13 января 2007 г. с  $M = 8.1$  ( $M_w = 8.1$ ,  $h = 45$  км), глубокофокусное Охотоморское 24 мая 2013 г. с  $M = 8.3$  ( $M_w = 8.3$ ,  $h = 630$  км). При этом даже столь сильные события не сопровождались длительными интервалами сейсмического затишья на уровне всего региона, что является следствием интенсивного сейсмического процесса, хотя некоторое уменьшение кривой фоновой сейсмичности на годовом интервале можно отметить. В 2023 г. (рис. 5 f) наблюдается в целом ровный наклон графика Бенъофа с небольшими ступенями нескольких наиболее сильных,  $M \geq 5.5$  землетрясений. Событие с самой большой магнитудой 28 декабря ( $M_{w\text{ пер}} = 6.4$ ,  $h = 17$  км) предварялось небольшим сейсмическим затишьем с уменьшением наклона графика. На общем фоне длительного временного интервала (рис. 5 e) 2023 г. никак не выделяется.

Для оценки распределения сейсмичности по площади территории помимо карт эпицентров (рис. 1, 2) построены карты распределения величины плотности условной упругой деформации в единицу времени для 2023 г. (рис. 6 a) и для длительного интервала 1981–2023 гг. (рис. 6 b). Методика построения повторяет использованную ранее [1] с небольшими изменениями. На карту добавлен регион Приамурье и Приморье. Поскольку масштаб карты увеличился, для обоих временных диапазонов расчет параметра  $e$ :  $e = 1000 \cdot \Sigma E^{1/2} / (S \cdot T)$  ( $E$  – энергия землетрясения, Дж;  $S$  – площадь поверхности, содержащей эпицентр землетрясения, км<sup>2</sup>;  $T$  – длительность временного отрезка, год) производился в ячейке  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$

с последующим усреднением площадкой размером  $0.6^\circ \times 0.6^\circ$  скользящим окном с шагом  $0.2^\circ$ . Использовались упомянутые выше региональные каталоги 1981–2023 гг., ограниченные снизу магнитудой  $M = 2.2$ , что стало компромиссом между необходимостью использования представительного каталога и же-

лением показать сейсмичность слабоактивных участков.

Картина распределения параметра  $e$  за период с 1981 г. в Курило-Охотском и Сахалинском регионе описана в предыдущем обзоре [1]. В Приамурье (рис. 6 а) полосами со значением средней годовой величины условной



**Рис. 5.** Графики Беньофа для зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН: Приамурья и Приморья за 1981–2023 гг. (а) и 2023 г. (б); Сахалинского региона за 1981–2023 гг. (с) и 2023 г. (д); Курило-Охотского региона 1981–2023 гг. (е) и 2023 г. (ф).

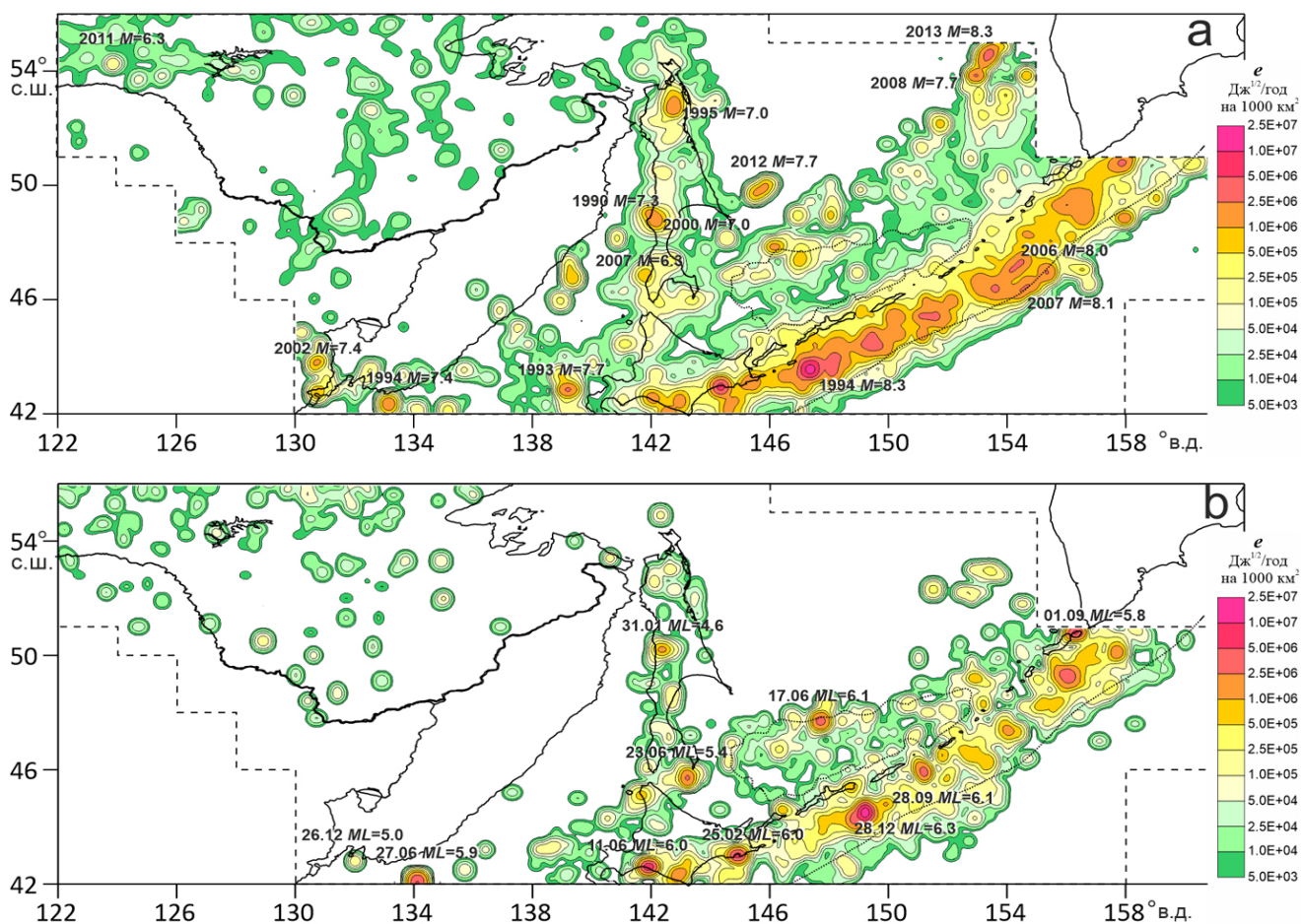
**Fig. 5.** Benioff graphs for SB FRC UGS RAS zone of responsibility: the Amur–Primorye region in 1981–2023 (a) and 2023 (b); the Sakhalin region 1981–2023 (c) and 2023 (d); the Kuril–Okhotsk region 1981–2023 (e) and 2023 (f).



упругой деформации в  $e = 10^4\text{--}10^5$  Дж<sup>1/2</sup>/год на 1000 км<sup>2</sup> выделяются основные линейменты зон Монголо-Охотской разломной системы и системы Танлу. Наибольшие значения  $e$  в Приамурье связаны с очагом Сквородинского землетрясения 14 октября 2011 г. Область более высоких значений плотности условной упругой деформации находится на юге Приморья и в Японском море вдоль побережья. Она связана преимущественно с глубоководной сейсмичностью, где в 1981–2023 гг. регистрировались сильные землетрясения магнитудой до  $M = 7.4$ . Детально коровая и глубоководная сейсмичность региона, включая распределение  $e$ , рассмотрена в работе [12].

В 2023 г. (рис. 6 б) максимальные значения  $e = 2.8 \cdot 10^7$  Дж<sup>1/2</sup>/год на 1000 км<sup>2</sup> наблюдаются

в южной части Курило-Охотского региона, они связаны с событием 28 декабря с  $M = 6.5$  ( $ML = 6.3$ ) и сопоставимы с максимумами этого параметра в очаге Шикотанского события 1994 г., усредненного на 43-летний временной период. Наиболее сейсмически активная область, протянувшаяся между островной дугой и глубоководным желобом и связанная с зоной контакта плит, в 2023 г заметно менее активна, чем в среднем за период с 1981 г. В Сахалинском регионе на общем фоне выделяется рой землетрясений в центре острова в районе с. Онор, а также глубоководное событие на юге. В Приамурье и Приморье землетрясений мало, более или менее плотная сеть значений  $e = 10^4\text{--}10^5$  Дж<sup>1/2</sup>/год на 1000 км<sup>2</sup> наблюдается вдоль северной границы региона, особенно



**Рис. 6.** Плотность условной упругой деформации Сахалинского и Курило-Охотского регионов по данным каталогов СФ ФИЦ ЕГС РАН 1981–2023 гг. (а) и РИОЦ «Южно-Сахалинск» 2023 г. (б). Обозначены наиболее значимые региональные землетрясения. Пунктиром показана граница зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН, точками положение Курильского глубоководного желоба и Курильской глубоководной котловины.

**Fig. 6.** Density of nominal elastic deformation of the Sakhalin and Kuril-Okhotsk regions according to the data of the SB FRC UGS RAS earthquake catalogs in 1981–2023 (a) and the “Yuzhno-Sakhalinsk” RIPC earthquake catalog in 2023 (b). The most significant regional earthquakes are marked. The dotted line indicates the border of the zone of responsibility of the SB FRC UGS RAS, dots indicate the position of the Kuril deep-sea trench and the Kuril deep-sea basin.

на центральном ее участке, где в пределы зоны ответственности филиала попадает юго-восточная часть Становой разломной зоны. На самом юге региона выделяется сильное глубоководное событие 27 июня с  $M = 5.7$ , здесь  $e = 7.2 \cdot 10^6$  Дж<sup>1/2</sup>/год на 1000 км<sup>2</sup> существенно превышает среднегодовые значения.

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

В *Приамурье и Приморье* в 2023 г. зарегистрировано 200 коровых и 5 глубоководных

землетрясений, ощутимых землетрясений в этом году здесь не отмечено.

Наиболее сильные события года с  $M \geq 3.5$  в основном произошли в центральной части региона в районе диагональной системы разломов Танлу, пересекающей регион от среднего течения р. Амур в направлении устья реки. Самое сильное коровое землетрясение 2023 г. произошло 2 сентября в 15:33 UTC ( $M_L = 5.0$ ,  $M_w = 4.2$ ,  $h = 14$  км; № 1) (здесь и далее номер события приводится по табл. 1) в районе Буреинского хребта. Данных об ощутимых проявлениях этого землетрясения в филиал не поступало, что заставляет усомниться в кор-

**Таблица 1.** Параметры наиболее значимых землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН 2023 г. (по данным РИОЦ «Южно-Сахалинск»)

**Table 1.** Parameters of the most significant earthquakes in the SB FRC UGS RAS zone of responsibility in 2023 (according to the data of the “Yuzhno-Sakhalinsk” RIPC)

№	Дата / Date dd.mm.yyyy	Время / Time, $t_0$ hh:mm:ss	$\varphi$ N	$\lambda$ E	$h$ , км	$M_L/M_w$	Интенсивность сотрясений (населенный пункт, балл / Shaking intensity (locality, points))
Приамурье и Приморье / Amur-Primorye region							
1	02.09.2023	15:33:01	51.93	135.10	14	5.0   4.2	Нет данных об ощутимости
2	27.06.2023	23:38:19	42.08	134.14	442	5.9   5.8	То же
3	26.12.2023	19:10:21	42.73	132.09	515	5.0   4.5	– « –
Сахалинский регион / Sakhalin region							
4	31.01.2023	05:25:34	50.13	142.34	4	4.6   –	с. Оноп, 4-5; пос. Смирных, 2-3
5	23.06.2023	17:39:12	45.69	143.24	337	5.4   5.6	Нет данных об ощутимости
Курило-Охотский регион / Kuril-Okhotsk region							
6	25.02.2023	13:27:43	42.96	144.95	63	6.0   6.1	пос. Южно-Курильск, Лагунное, Горячий Пляж, Головнино, Малокурильское, Менделеево – 3-4; с. Горный – 2-3; г. Курильск – 2; о. Хоккайдо, Япония – до 5 по шкале JMA*
7	11.06.2023	09:54:45	42.51	141.94	127	6.0   6.2	пос. Южно-Курильск, Менделеево – 2-3; о. Хоккайдо, Япония – до 5 по шкале JMA**
8	17.06.2023	11:35:56	47.62	147.73	437	6.1   5.6	пос. Малокурильское – 3; о. Хоккайдо, Хонсю, Япония – до 2 по шкале JMA***
9	01.09.2023	20:49:57	50.73	156.31	140	5.8   6.0	г. Северо-Курильск – 4-5
10	28.09.2023	17:40:05	44.22	148.83	58	6.1   5.7	г. Курильск, с. Горный, Горячие Ключи, Рейдово – 3-4; пос. Южно-Курильск, Малокурильское – 2
11	28.12.2023	09:15:10	44.50	149.28	17	6.3   6.4	г. Курильск, с. Рейдово, Горный – 4-5; с. Китовое – 4; пос. Южно-Курильск, Головнино, Малокурильское – 2-3

\*<https://earthquake.tenki.jp/bousai/earthquake/detail/2023/02/25/2023-02-25-22-27-54.html>

\*\*<https://earthquake.tenki.jp/bousai/earthquake/detail/2023/06/11/2023-06-11-18-55-03.html>

\*\*\*<https://earthquake.tenki.jp/bousai/earthquake/detail/2023/06/17/2023-06-17-20-37-16.html>

ректности определения  $ML$ ; вероятнее всего, ее оценка завышена. Для расчетов энергии этого события был использован класс Раутиан  $K_p = 10.9$ , что соответствует  $M = 3.8$ . Механизм очага классифицируется как сдвиговый, очаг сформировался в условиях широтного сжатия и меридионального растяжения под небольшим углом к горизонту.

В 2023 г. в южной части региона произошло два сравнительно сильных глубокофокусных землетрясения: 27 июня в 23:38 UTC ( $ML = 5.9$ ,  $M_w = 5.8$ ,  $h = 442$  км; № 2) и 26 декабря в 19:10 UTC ( $ML = 5.0$ ,  $M_w = 4.5$ ,  $h = 515$  км; № 3). Оба события связаны с продолжением под территорию региона Японской сейсмофокальной зоны. Механизм очага первого землетрясения взрезового типа с вертикальной плоскостью юго-юго-западного простирания и горизонтальной восток-юго-восточного. Механизм очага второго события сдвиговый, с нодальными плоскостями северо-северо-западного и восток-северо-восточного простирания с небольшим наклоном к вертикали. При рассмотрении механизмов этих событий относительно субдуцирующей плиты первое является взбросо-сдвигом в условиях сжатия вдоль направления ее движения, второе – чистый сдвиг с сохранением того же направления сжатия и осью растяжения примерно в плоскости плиты.

В **Сахалинском регионе** по данным каталога РИОЦ «Южно-Сахалинск» в 2023 г. произошло 194 коровых и 25 глубокофокусных землетрясения, включая 32 ощутимых (рис. 1, 2).

В земной коре наиболее значительная сейсмическая активизация, хотя и без сильных землетрясений, произошла в начале года в центральной части острова в Западно-Сахалинских горах юго-западнее с. Онор. С 24 января по 7 марта здесь зарегистрировано 31 событие в магнитудном диапазоне  $ML = 1.8$ – $4.6$ , включая наиболее сильные: 24 января 15:57 UTC ( $ML = 4.4$ ,  $h = 10$  км), которое предварялось тремя более слабыми событиями с 15:30 UTC; 31 января 05:25 UTC ( $ML = 4.6$ ,  $h = 4$  км, № 4), сопровождавшееся в тот же день серией более слабых событий магнитудой до  $ML = 3.8$ ; 4 марта 05:13 UTC ( $ML = 4.0$ ,  $h = 12$  км). 12 событий этой серии, а также 4 землетрясения в том же районе позднее ощущались жите-

лями с. Онор. Наибольшие сотрясения вызвали события 24 января (4 балла в с. Онор) и 31 января (4-5 баллов в с. Онор и 3 балла в расположенном южнее пос. Смирных). Эпицентры этого роя землетрясений расположены примерно на 20 км южнее сильного Онорского землетрясения 14 августа 2016 г. с  $M = 5.7$  [14], а два слабых землетрясения 2 и 3 февраля 2023 г. прямо попадают в очаговую зону этого события.

Активизация диагональных опережающих разломов в Западно-Сахалинских горах между крупнейшими региональными Западно- и Центральными-Сахалинской разломными зонами является интересной темой для исследования. Сильные землетрясения обычно вызывают с наиболее крупными региональными разломами, в Сахалинском регионе в основном вытянутыми вдоль острова, в то время как часть сильнейших сахалинских землетрясений (включая крупнейшие Монеронское 1971 г., Нефтегорское 1995 г., а также Онорское 2016 г.) произошли на разломах диагонального простирания относительно основных тектонических структур острова.

Наиболее сильное по магнитуде землетрясение Сахалинского региона в 2023 г. (как и годом ранее) произошло в мантии 23 июня в 17:39 UTC ( $ML = 5.4$ ,  $M_{w_{per}} = 5.7$ ,  $h = 337$  км; № 5), его эпицентр находится южнее мыса Анива. Механизм очага сдвигового типа с субвертикальной плоскостью северо-северо-западного простирания и наклоненной на юго-юго-восток под углом  $DP = 54^\circ$  плоскостью восток-северо-восточного простирания. Такая ориентация нодальных плоскостей в системе отсчета, связанной с погружающейся Тихоокеанской плитой, соответствует чистому сдвигу и наиболее распространена среди мантийных землетрясений южной части Сахалинского региона [15], при этом одна из возможных плоскостей подвижки совпадает с направлением движения плиты, а вторая ему ортогональна. Возможно, причиной мантийных землетрясений в этой части субдуцирующей плиты являются подвижки по одному или нескольким трансформным разломам.

В **Курило-Охотском регионе** в 2023 г. зарегистрировано 4266 землетрясений, 2860 из которых с  $ML \geq 2.2$ . Большая часть земле-

трясений – 3092 – произошли в земной коре региона или в зоне контакта Тихоокеанской и Охотской литосферных плит на глубинах  $h \leq 70$  км. В диапазоне промежуточных глубин  $h = 70\text{--}300$  км зарегистрировано 1081 событие, глубоководных ( $h \geq 70$  км) событий – 23. Ощутимые колебания на территории Сахалинской области вызвали 48 региональных землетрясений (рис. 2).

25 февраля в 13:27 UTC ( $M_L = 6.1$ ,  $M_{w_{\text{пер}}} = 6.0$ ,  $h = 63$  км; № 6) произошло землетрясение вблизи северо-восточного побережья о. Хоккайдо. На Курильских островах интенсивность вызванных им сотрясений достигала 3-4 баллов MSK-64. На о. Хоккайдо в г. Сибецу (округ Немуро) максимальная интенсивность сотрясений оценивается, по данным Японского метеорологического агентства, в 5 баллов шкалы JMA (примерно 6 баллов MSK-64). Механизм очага землетрясения взрезного типа с вертикальной нодальной плоскостью запад-юго-западного простирания и наклоненной под углом  $DP = 30^\circ$  к юго-западу плоскостью юго-юго-восточного простирания. Такой механизм очага необычен для землетрясений на границе плит; возможно, очаг этого землетрясения сформировался в области растяжения внутри Тихоокеанской литосферной плиты.

11 июня в 09:54 UTC ( $M_L = 6.0$ ,  $M_{w_{\text{пер}}} = 6.2$ ,  $h = 127$  км; № 7) зарегистрировано еще одно событие с эпицентром в районе о. Хоккайдо, на этот раз – у южного побережья острова. На Курильских островах это событие ощущалось слабо – до 2-3 баллов в пос. Южно-Курильск и Менделеево, однако японские сейсмологи вновь оценивают максимальную интенсивность его проявлений в городах Титосэ, Ацума и Уракава префектуры Хоккайдо в 5 баллов шкалы JMA. Механизм очага этого события сбросовый, с нодальной плоскостью восток-юго-восточного простирания, круто падающей  $DP = 70^\circ$  почти на север, и более пологий северо-восточного простирания. По механизму очага и глубине гипоцентра это событие можно уверенно отнести к нижнему слою сейсмофокальной зоны внутри Тихоокеанской плиты.

Событие 17 июня в 11:35 UTC ( $M_L = 6.1$ ,  $M_{w_{\text{пер}}} = 5.6$ ,  $h = 437$  км; № 8) с эпицентром в северной части Курильской глубоководной

котловины необычно тем, что, несмотря на значительную глубину и удаленность от населенных пунктов, вызвало ощутимые колебания: в пос. Малокурильское отмечено 3 балла MSK-64; до 2 баллов JMA по данным агентства отмечено также на о. Хоккайдо и в северной части о. Хонсю. Механизм очага этого события взбросовый с субмеридианальной ориентацией нодальных плоскостей.

1 сентября в 20:49 UTC ( $M_L = 5.8$ ,  $M_{w_{\text{пер}}} = 6.0$ ,  $h = 140$  км; № 9) произошло наиболее сильное в 2023 г. землетрясение в районе Северных Курил. Несмотря на значительную глубину очага, в г. Северо-Курильск оно ощущалось с интенсивностью в 4-5 баллов. Механизм очага взрезовой с субвертикальной нодальной плоскостью, ориентированной вдоль островной дуги. Этим данное событие похоже на два произошедших под Хоккайдо и описанных выше. Судя по механизму очага и глубине гипоцентра, очаг тоже расположен в нижнем слое двойной сейсмофокальной зоны внутри Тихоокеанской плиты.

События 28 сентября в 17:40 UTC ( $M_L = 6.1$ ,  $M_{w_{\text{пер}}} = 5.7$ ,  $h = 58$  км; № 10) и 28 декабря в 09:15 UTC ( $M_L = 6.3$ ,  $M_{w_{\text{пер}}} = 6.4$ ,  $h = 17$  км; № 11) произошли в районе Южных Курил, их эпицентры разделяет 50 км. Механизмы очага этих событий схожи – если не учитывать небольшую разнонаправленную сдвиговую компоненту, это «классические» взрезы с пологий ( $DP = 21\text{--}27^\circ$ ) нодальной плоскостью, ориентированной вдоль дуги и падающей под острова (что совпадает с плоскостью контакта плит), характерные для субдукционных землетрясений на границе плит. Менее сильное из событий 28 сентября, произошедшее на большей глубине, слабее ощущалось на поверхности – до 3-4 баллов в г. Курильск, с. Горный, Горячие Ключи и Рейдово. Землетрясение 28 декабря, ставшее наиболее сильным событием региона с 2020 г., ощущалось в г. Курильск, с. Рейдово и Горный с интенсивностью до 4-5 баллов.

## Заключение

Предварительный каталог РИОЦ «Южно-Сахалинск» в 2023 г. содержит 4690 землетрясений, обработанных по данным как минимум трех сейсмостанций, исключая идентифицированные как взрывы. Большинство этих

событий зарегистрировано в пределах Курило-Охотского региона – 4266, в Сахалинском регионе – 219 (25 глубокофокусных), в Приамурье и Приморье – 205 (5 глубокофокусных).

Сеть сейсмических станций СФ ФИЦ ЕГС РАН продолжает сокращаться. В 2023 г. в ней официально числится 46 пунктов установки сейсмологической аппаратуры, из которых только на 41 регистрация землетрясений велась большую часть времени в течение года.

80 землетрясений с эпицентрами в пределах зоны ответственности филиала имели ощутимые проявления на территории регионов. Помимо этого здесь зарегистрированы сотрясения от 6 землетрясений с эпицентрами за пределами территории. Максимальная зарегистрированная Сахалинским филиалом интенсивность сотрясений в течение года составила 4-5 баллов MSK-64, такая интенсивность наблюдалась три раза: дважды на Курильских островах и один на Сахалине.

По критерию суммарной сейсмической энергии, оцениваемой по методике СОУС'09, в 2023 г. сейсмичность всех трех регионов оставалась в пределах фонового уровня. При этом коровая сейсмичность Сахалинского региона на фоновом пониженном уровне, а глубокофокусная – на фоновом повышенном.

Получена карта распределения плотности условной упругой деформации  $e$  (по Беньофу) по площади трех регионов зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН, включая Приамурье и Приморье, для 2023 г. Для сравнения приведена карта средней ежегодной скорости накопления этой величины на территории регионов в 1981–2023 гг.

В 2023 г. пиковые значения параметра  $e$  связаны с сильнейшими землетрясениями Курило-Охотского региона, включая наиболее сильное событие 28 декабря с  $M_{w\text{рег}} = 6.4$ , глубокофокусными землетрясениями на юге Сахалинского региона и Приморья. На Сахалине выделяется рой слабых землетрясений в районе с. Онор в центральной части острова. За исключением очаговой области глубокофокусного события 27 июня с  $M_{w\text{рег}} = 5.8$  к югу от Приморья, значения плотности условной упругой деформации не превышают среднегодовые, что говорит о фоновом характере произошедших землетрясений.

## Список литературы

1. Сафонов Д.А., Семенова Е.П. **2023**. Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2022 году. *Геосистемы переходных зон*, 7(2): 132–148. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2023.7.2.132-148>
2. Safonov D.A., Semenova E.P. **2022**. Regional magnitude  $M_{w}$  in the Russian Far East. *Seismic Instruments*, 58(Suppl 1): S42–S57. <https://doi.org/10.3103/S074792392207009X>
3. 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>
4. 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. URL: [http://itig.as.khb.ru/POG/2017/n\\_3/PDF\\_3\\_17/102-112.pdf](http://itig.as.khb.ru/POG/2017/n_3/PDF_3_17/102-112.pdf)
5. Richter C.F. **1958**. *Elementary seismology*. New York: Freeman and Co., 768 p.
6. Сафонов Д.А. **2024**. Переходные соотношения для энергетических характеристик землетрясений Курило-Охотского региона // *Вопросы инженерной сейсмологии*, 51(2): 102–117.
7. Раутиан Т.Г. **1964**. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км. *Экспериментальная сейсмика*. М.: Наука, 88–93. (Труды ИФЗ АН СССР; № 32(199)).
8. Соловьев С.Л., Соловьева О.Н. **1967**. Соотношение между энергетическим классом и магнитудой Курильских землетрясений. *Физика Земли*, 2: 13–23.
9. Салтыков В.А. **2011**. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки. *Вулканология и сейсмология*, 2: 53–59.
10. Поплавская Л.Н. (ред.) **2006**. *Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005*. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 103 с.
11. Ким Ч.У., Андреева М.Ю. **2009**. *Каталог землетрясений Курило-Камчатского региона (1737–2005 гг.)*. Препринт. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 126 с.
12. Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Коваленко Н.С. **2019**. *Сейсмичность региона Приамурье и Приморье*. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 104 с.
13. Tikhonov I.N., Kim Ch.U. **2010**. Confirmed prediction of the 2 August 2007  $M_w$  6.2 Nevelsk earthquake (Sakhalin Island, Russia). *Tectonophysics*, 485(1–4): 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.12.002>
14. Прытков А.С., Сафонов Д.А., Полец А.Ю. **2018**. Модель очага Онорского землетрясения 14 августа 2016 г.  $M_w = 5.8$  (о. Сахалин). *Тихоокеанская геология*, 37(5): 112–119. doi: 10.30911/0207-4028-2018-37-5-112-119

15. Safonov D.A. **2020**. Reconstruction of the tectonic stress field in the deep parts of the Southern Kuril-Kamchatka and Northern Japan subduction zones. *Geodynamics & Tectonophysics*, 11(4): 743–755. doi:10.5800/GT-2020-11-4-0504

## References

- Safonov D.A., Semenova E.P. **2023**. Seismicity of the South Far East of Russia in 2022. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 7(2): 132–148. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2023.7.2.132-148>
- Safonov D.A., Semenova E.P. **2022**. Regional magnitude  $M_w$  in the Russian Far East. *Seismic Instruments*, 58(Suppl 1): S42–S57. <https://doi.org/10.3103/S074792392207009X>
- 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>
- Safonov D.A., Kononov A.V. **2017**. Moment tensor inversion in the Kuril-Okhotsk and Sakhalin regions using ISOLA software. *Tikhookeanskaya geologiya*, 36(3): 102–112. (In Russ.). URL: [http://itig.as.khb.ru/POG/2017/n\\_3/PDF\\_3\\_17/102-112.pdf](http://itig.as.khb.ru/POG/2017/n_3/PDF_3_17/102-112.pdf)
- Richter C.F. **1958**. *Elementary seismology*. New York: Freeman and Co., 768 p.
- Safonov D.A. **2024**. [Transitional relations for the energy characteristics of earthquakes in the Kuril-Okhotsk region]. *Voprosy inzhenernoj sejsmologii = Issues of Engineering Seismology*, 51(2): 102–117. (In Russ.).
- Rautian T.G. **1964**. [On determining the energy of earthquakes at distances up to 3000 km]. In: *Eksperimental'naya seismika = Experimental seismic*. Moscow: Nauka Publ., p. 88–93. (Trudy IFZ AN SSSR; № 32(199)). (In Russ.).
- Solov'yov S.L., Solov'yova O.N. **1967**. [Correlation between the energy class and the magnitude of Kuril earthquakes]. *Fizika Zemli = Physics of the Earth*, 2: 13–23. (In Russ.).
- 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>
- Poplavskaya L.N. (ed.) **2006**. [Regional catalog of earthquakes on Sakhalin Island, 1905–2005]. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN, 103 p. (In Russ.).
- Kim Ch.U., Andreeva M.Yu. **2009**. [Earthquake catalog of the Kuril-Kamchatka region (1737–2005)]. Preprint. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN, 126 p.
- Safonov D.A., Nagornyy T.V., Kovalenko N.S. **2019**. *Seismicity of the Amur and Primorye regions*. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG FEB RAS, 104 p. (In Russ., abstr. in Engl.).
- Tikhonov I.N., Kim Ch.U. **2010**. Confirmed prediction of the 2 August 2007  $M_w$  6.2 Nevelsk earthquake (Sakhalin Island, Russia). *Tectonophysics*, 485(1–4): 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.12.002>
- Prytkov A.S., Safonov D.A., Polets A.Yu. **2018**. Model of the Source of the  $M_w = 5.8$  Onor Earthquake, August 14, 2016, Sakhalin. *Russian Journal of Pacific Geology*, 12(5): 443–449. <https://doi.org/10.1134/S1819714018050093>
- Safonov D.A. **2020**. Reconstruction of the tectonic stress field in the deep parts of the Southern Kuril-Kamchatka and Northern Japan subduction zones. *Geodynamics & Tectonophysics*, 11(4): 743–755. (In Russ.). <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-4-0504>

## 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](mailto:d.safonov@imgg.ru)

**Семёнова Елена Петровна** (<https://orcid.org/0000-0002-7435-961X>), начальник сейсмической станции «Южно-Сахалинск», Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Южно-Сахалинск, [semenova@seismo.sakhalin.ru](mailto:semenova@seismo.sakhalin.ru)

Поступила 25.04.2024

Принята к публикации 07.06.2024

## About the Authors

**Safonov, Dmitry A.** (<https://orcid.org/0000-0002-2201-2016>), Cand. Sci. (Phys. and Math.), Senior Researcher of the Laboratory of seismology, Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, [d.safonov@imgg.ru](mailto:d.safonov@imgg.ru)

**Semenova, Elena P.** (<https://orcid.org/0000-0002-7435-961X>), Chief of the Seismic station «Yuzhno-Sakhalinsk», Sakhalin Branch of the Federal Research Center “United Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences”, Yuzhno-Sakhalinsk, [semenova@seismo.sakhalin.ru](mailto:semenova@seismo.sakhalin.ru)

Received 25 April 2024

Accepted 7 June 2024