

УДК 550.348. (571.642)

## СЕЙСМИЧНОСТЬ ПРИАМУРЬЯ и ПРИМОРЬЯ, САХАЛИНА и КУРИЛО-ОХОТСКОГО РЕГИОНА в 2018–2019 гг.

Т.А. Фокина<sup>1</sup>, Д.А. Сафонов<sup>2</sup>, Д.В. Костылев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, [fokina@seismo.sakhalin.ru](mailto:fokina@seismo.sakhalin.ru)

<sup>2</sup>Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, [d.safonov@imgg.ru](mailto:d.safonov@imgg.ru)

**Аннотация.** Представлен обзор за 2018–2019 гг. сейсмичности трех регионов: Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона, входящих в зону ответственности Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН. Использовались данные региональной сети стационарных сейсмических станций СФ ФИЦ ЕГС РАН с привлечением данных сопредельных сейсмологических российских и зарубежных агентств, а также десяти станций локальной сети, функционировавшей на юге о. Сахалин. Определены параметры 4989 сейсмических событий, 193 из них – взрывы. Для 88 землетрясений рассчитаны механизмы очагов. 116 землетрясений проявили макросейсмический эффект на территории вышеуказанных регионов. Приведена карта эпицентров, даны распределение числа  $N$  коровых и глубокофокусных землетрясений по магнитуде и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  по регионам в сравнении со средними параметрами  $N$  и  $\Sigma E$  за 2001–2017 гг. Для каждого региона дан анализ параметров сейсмического режима в 2018–2019 гг. в сравнении с долговременными средними значениями, описаны максимальные и ощутимые сейсмические события. Сейсмичность Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2018–2019 гг. можно охарактеризовать как умеренную.

**Ключевые слова:** землетрясение, сейсмичность, сейсмическая станция, магнитуда, сейсмическая энергия.

**Для цитирования:** Фокина Т.А., Сафонов Д.А., Костылев Д.В. Сейсмичность Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 154–170. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.13> EDN: YUDPGA

**Региональная сеть станций.** Мониторинг сейсмической активности в зоне ответственности Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН проводился в общей сложности в 44 пунктах непрерывных наблюдений (34 стационарных и десять автономных полевых), расположенных на Сахалине, Курильских островах, в Приамурье и Приморье. Из 34 стационарных наблюдательных пунктов 18 – с обслуживающим персоналом, 16 – автоматических с передачей данных в режиме, близком к реальному времени, на серверы сбора опорных станций.

В *Приамурье и Приморье* расположено 11 сейсмических станций. На территории региона продолжали работать семь цифровых станций, оснащенных регистрирующими комплексами «Datamark» в составе сейсмометров STS-2, L4C3D и регистратора LS7000XT: «Горный» (GRNR), «Зея» (ZEA), «Терней» (TEY), «Хабаровск» (KHBR), «Горнотаежное» (GRTR), «Охотск» (OKHT), «Экимчан» (EKMR). Регистрация землетрясений на сейсмических станциях «Бомнак» (BMKR), «Кировский» (KROS) и «Октябрьский» (OCTB) производилась с помощью акселерометров Guralp CMG-5TDE, а на станции «Николаевск-на-Амуре» (NKL) – с помощью широкополосного велосиметра Guralp CMG-6TD. Данные о станциях и параметры аппаратуры приведены в Приложении PR1.

Региональная сейсмическая сеть *Сахалина* состояла из 16 стационарных станций: четырех с обслуживающим персоналом – «Южно-Сахалинск» (YSS), «Тымовское» (TYV), «Углегорск» (UGL), «Оха» (OKH), двух временных, оснащенных велосиметрами с высокой чувствительностью – «Ноглики» (NGLR) и «Новоалександровск» (NVA), восьми станций, оснащенных акселерометрами CMG-5TD (5T) и предназначенных для регистрации сильных, в том числе, цунамигенных землетрясений, а также двух пунктов сейсмических наблюдений «Вал» (VAL) и «Ныш» (NYSH), эксплуатируемых с 2017 г. в рамках договора о сотрудничестве между СФ ФИЦ ЕГС РАН и ИМГиГ ДВО РАН на севере Сахалина, оснащенных короткопериодными сейсмометрами Lennartz LE-3Dlite и регистраторами сейсмических сигналов российского производства «Дельта-03М». Данные о станциях и параметры аппаратуры приведены в Приложении SH1. Кроме того, на

юге Сахалина функционировала локальная сеть из 11 временных цифровых сейсмических станций DAT (DAT-4/DAT-5а, LE-3Dlite), позволяющая регистрировать как сильные, так и слабые локальные землетрясения. Эта сеть создавалась с 1999 г. для наблюдений за сейсмичностью южной, наиболее заселенной, части о. Сахалин. Сведения о станциях и их параметрах приведены в Приложении SH2.

Сейсмическая сеть *Курило-Охотского* региона в конце 2019 г. состояла из семи стационарных наблюдательных пунктов, из них четыре автоматических. Четыре опорные станции: «Северо-Курильск» (SKR), «Курильск» (KUR), «Южно-Курильск» (YUK), «Малокурильское» (SHO) оснащены комплектами оборудования, включающими в себя широкополосные сейсмометры и приборы регистрации сильных движений. На выносных пунктах опорных станций «Южно-Курильск» (YUK), «Северо-Курильск» (SKR), а также на автономном пункте сейсмических наблюдений «Рейдово» на о. Итуруп регистрация производится с использованием акселерометров. Сведения о станциях и регистрирующей аппаратуре приведены в Приложении KL1.

К определению параметров землетрясений привлекались данные сейсмических станций ИТИГ ДВО РАН: «Чегдомын» (CHMR) и «Ванино» (VNNR); станций ФИЦ ЕГС РАН: «Кульдур» (KLR) и «Мыс Шульца» (MSHR); станций КФ ФИЦ ЕГС РАН: «Петропавловск» (PET), «Паужетка» (PAU), «Ходутка» (KDT); станционных бюллетеней Прибайкалья, Якутии; Сейсмологического бюллетеня ФИЦ ЕГС РАН [1], Japan Meteorological Agency (JMA) [2], ISC [3], NEDC [4].

Проведена оценка регистрационных возможностей сейсмологической сети в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН и прилегающей территории с учетом локальных особенностей затухания волн и уровня сейсмических шумов на станциях [5]. Для расчетов использовались уравнения макросейсмического поля для Сахалина, Курильских островов, Приморья и Приамурья [6], а также шумовая обстановка на каждой станции сети, измеренная опытным путем. Результаты оценки, а также расположение сейсмических станций, включенных в систему сбора, приведены на рис. 1.

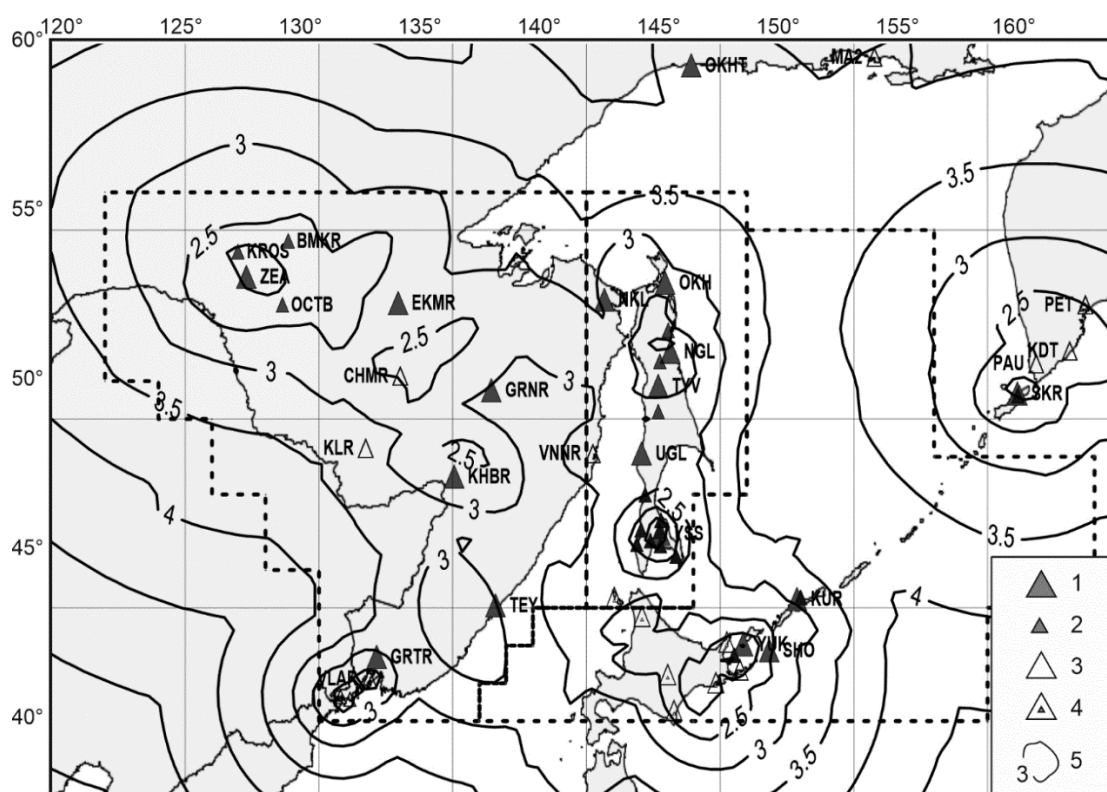


Рис. 1. Карта магнитудной представительности землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН в 2018–2019 гг.

1 – широкополосная сейсмическая станция СФ ФИЦ ЕГС РАН, оснащенная велосиметром; 2 – пункт СФ ФИЦ ЕГС РАН, оснащенный акселерометром; 3 – сейсмическая станция ФИЦ ЕГС РАН, КФ ФИЦ ЕГС РАН и ИТИГ ДВО РАН; 4 – сейсмическая станция Japan Meteorological Agency (JMA); 5 – изолиния  $M^p$ .

Как видно на рис. 1, сейсмическая сеть обеспечила регистрацию без пропусков землетрясений с расчетной магнитудой  $M^P \geq 3.5$  на большей части Приамурья и Приморья, практически во всем регионе Сахалина, на севере и юге Курильской гряды. Причем центральная, наиболее сейсмически активная, часть территории Приамурья, почти весь о. Сахалин, о. Хоккайдо, о. Кунашир и острова малой Курильской гряды находятся в зоне представительной магнитуды  $M^P \geq 3.0$ . В северной и центральной части Охотского моря, на территории Курильских островов от о. Уруп до о. Кетой, а также в узкой полосе юго-западной части Приамурья и Приморья уверенно могут регистрироваться лишь землетрясения с  $M^P \geq 4.0$ .

Конфигурация локальной сети на юге о. Сахалин и обеспечиваемая ею карта магнитудной представительности землетрясений приведены на рис. 2.

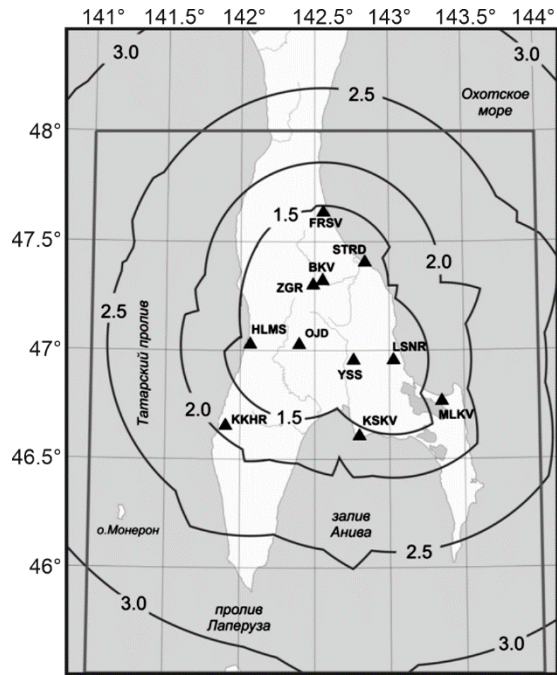


Рис. 2. Карта магнитудной представительности  $M^P_{\min}$  землетрясений юга Сахалина

1 – полевая сейсмическая станция локальной сети на юге Сахалина; 2 – изолиния  $M^P_{\min}$ .

ровых сейсмических станций "Datamark" [20] с переходом к расчетным магнитудам  $M^P$  по формуле Т.Г. Раутиан [21]:

$$M^P = (K_p - 4) / 1.8. \quad (1)$$

Для единой магнитудной классификации землетрясений используются расчетные магнитуды  $M^P$ . Если определена региональная магнитуда  $M_{w\text{per}}$  [9], то ее значение берется в качестве единой магнитудной оценки. Если для мелкофокусных ( $h \leq 80$  км) толчков определена магнитуда  $MLH$  по стандартной методике [18], то в качестве  $M^P$  берется она. Для всех остальных землетрясений производится пересчет (или из класса  $K_C$ , или из разных магнитуд  $MPV$ ,  $MPVA$ ,  $MSH$ ,  $MSHA$ ) по формулам связи магнитуд, установленных С.Л. Соловьёвым и О.Н. Соловьёвой [13, 17], расположенных сверху вниз в порядке предпочтения:

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

$$\begin{aligned} M^P &= MLH; \\ M^P &= (K_C - 1.2) / 2; \\ M^P &= (MSH - 1.71) / 0.75; \\ M^P &= (MPV - 2.5) / 0.65; \\ M^P &= (MSHA - 1.71) / 0.75; \\ M^P &= (MPVA - 2.5) / 0.65; \end{aligned}$$

для событий с глубиной  $h > 80$  км:

$$\begin{aligned} M^P &= (MSH - 1.71) / 0.75; \\ M^P &= (MPV - 2.5) / 0.65; \\ M^P &= (K_C - 1.2) / 2; \\ M^P &= (MSHA - 1.71) / 0.75; \\ M^P &= (MPVA - 2.5) / 0.65 \end{aligned}$$

Для землетрясений с известными классами  $K_p$  и при отсутствии  $K_c$  была использована приведенная выше формула Т.Г. Раутиан (1).

Энергия землетрясений (в Дж) оценивалась для коровых землетрясений Приамурья и Приморья по формуле Т.Г. Раутиан [16]:  $E=10^{K_p}$ , для всех остальных землетрясений – по формуле Гутенберга-Рихтера из [14]:

$$\lg E = 4.8 + 1.5 \cdot M^p \quad (2)$$

Механизмы очагов землетрясений определялись методом инверсии волновых форм, программа ISOLA [9, 11].

**Сейсмичность зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН.** В каталоги землетрясений зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН за 2018–2019 гг. внесены параметры 4989 землетрясений [Прил. PR2, SH3, KL2]: 2513 – за 2018 г., 2476 – за 2019 г. карты их эпицентров приведены на рис. 3 и 4.

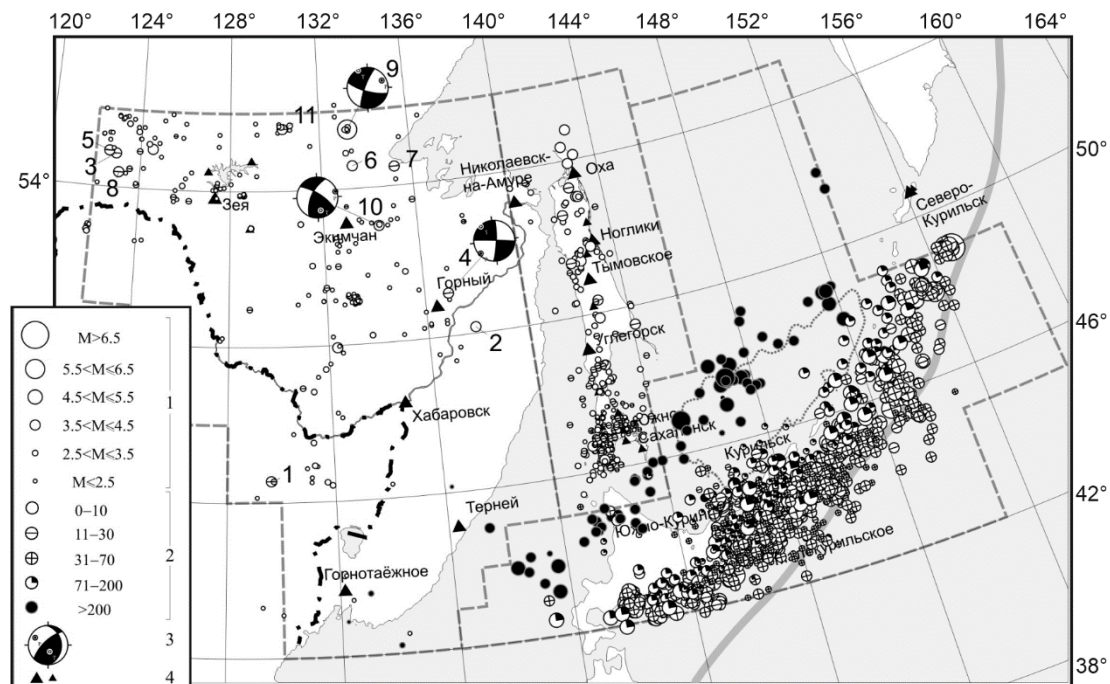


Рис. 3. Эпицентры землетрясений Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2018 г.

1 – магнитуда  $M^p$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – диаграмма механизма очага; 4 – сейсмическая станция; --- граница регионов зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН. Номера землетрясений Приамурья, Приморья и Сахалина соответствуют номерам в каталогах.

Макросейсмический эффект на территории трех регионов проявили 114 землетрясений: пять – в Приамурье (максимальная интенсивность  $I_{\max}=4$  балла по шкале MSK-64 [22]), 19 – на Сахалине ( $I_{\max}=4$  балла), 90 – на Курильских островах ( $I_{\max}=5$  баллов) [Прил. PR6, SH7, KL6].

Для 88 землетрясений определены механизмы очагов [Прил. PR4, SH5, KL4].

**Приамурье и Приморье.** В региональный каталог [Прил. PR2] включены основные параметры 501 сейсмического события: 260 – за 2018 г., 241 – за 2019 год. Из них 373 землетрясения с очагами в земной коре, 17 глубокофокусных, 111 событий отнесено к категории «возможно взрыв». Для пяти землетрясений имеются макросейсмические данные [Прил. PR6], для четырех – определен механизм очага [Прил. PR4].

Сейсмичность региона представлена, в основном, коровыми ( $h=3-24$  км), слабыми и умеренными ( $K_p=5.3-14.1$ ,  $M^p=0.7-5.6$ ) землетрясениями. Наибольшее число эпицентров землетрясений располагается в северо-западной части региона, там же находится большая часть эпицентров взрывов.

Самое сильное коровое землетрясение региона (9 на рис. 3) произошло в северной части Хабаровского края 7 июля 2018 г. в 08<sup>h</sup>51<sup>m</sup> UTC<sup>1</sup> на глубине  $h=9$  км с  $K_p=14.1$ ,  $M^p=M_{w\text{per}}=4.9$ ,

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

$MLH=5.4$ , эпицентр находился в отрогах Атагского хребта, вдали от населенных пунктов, макросейсмический эффект не отмечен. Механизм очага землетрясения классифицируется как сдвиг, вероятнее всего, – правый вдоль субширотной нодальной плоскости  $NP2$  простираем  $STK_2=107^\circ$ , если исходить из основной направленности Становой системы разломов данного района [23].

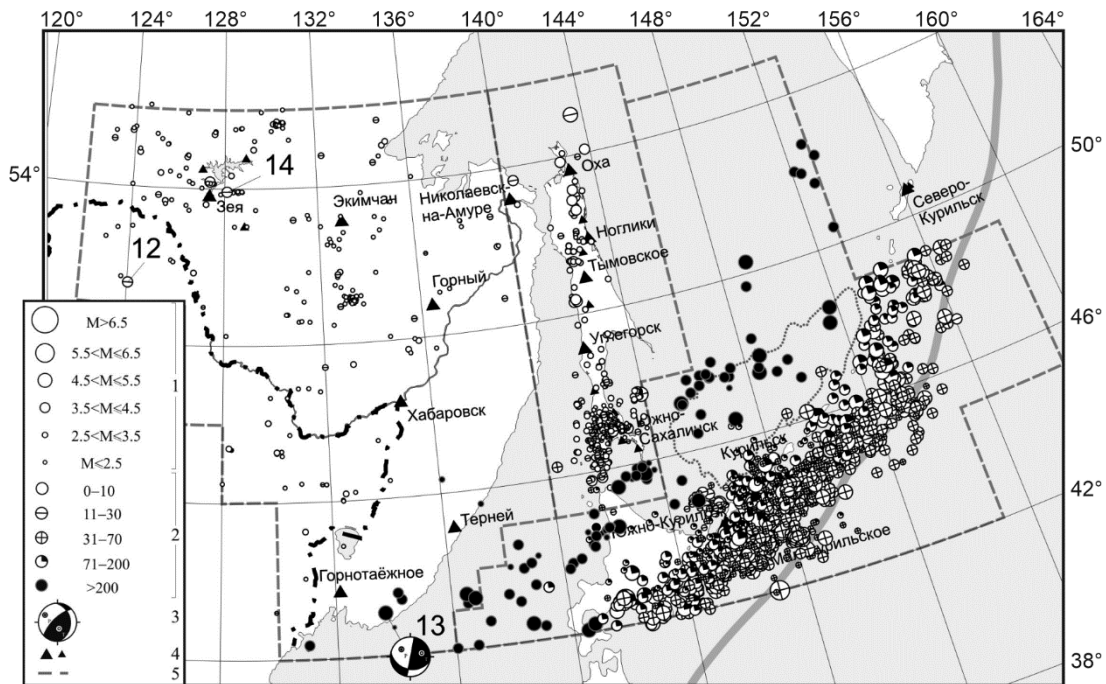


Рис. 4. Эпицентры землетрясений Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2019 г.

1 – магнитуда  $M^P$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – диаграмма механизма очага; 4 – сейсмическая станция; 5 – граница регионов зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН. Номера землетрясений Приамурья, Приморья и Сахалина соответствуют номерам в каталогах.

Всего в регионе в течение 2018 г. было отмечено пять ощутимых землетрясений, в 2019 г. – ни одного. Первое (2 на рис. 3) произошло на территории Хабаровского края, к юго-востоку от г. Комсомольска-на-Амуре, 22 января в  $21^h34^m$  ( $h=10$  км,  $K_p=10.7$ ). В пос. Снежный ( $\Delta=13$  км) интенсивность составила 3–4 балла, в пос. Гурское (24 км) – 3 балла.

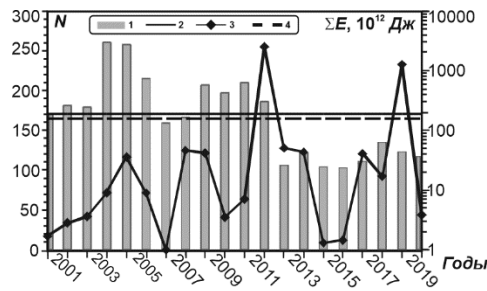
Максимальный макросейсмический эффект, равный 4 баллам, проявило землетрясение, произошедшее в 62 км севернее г. Комсомольска-на-Амуре 1 февраля 2018 г. в  $00^h09^m$  на глубине  $h=18$  км с  $K_p=11.8$ ,  $M_{w,рег}=4.2$ ,  $MLH=4.1$  (4 на рис. 3). Оно ощущалось жителями поселков Хурмули (10 км), Горин (25 км), Боктор (31 км) с интенсивностью в 4 балла; Кондон (33 км), Харпичан (38 км) – 3–4 балла; Солнечный (47 км), Горный (52 км), Эворон (55 км), г. Комсомольск-на-Амуре (62 км) и г. Амурск (97 км) – 3 балла. Механизм очага землетрясения сдвиговый, вертикальные нодальные плоскости ориентированы субширотно и субмеридионально.

В июне 2018 г. было зарегистрировано два ощутимых землетрясения: 14 июня в  $23^h12^m$  ( $h=5$  км,  $K_p=9.6$ ) с эпицентром в северной части Буреинского хребта и 25 июня в  $03^h17^m$  ( $h=12$  км,  $K_p=10.1$ ) с эпицентром в очаговой зоне Сковородинского землетрясения 2011 года. Первое землетрясение ощущалось в пос. Березовый (27 км) и Амгунь (41 км) с интенсивностью в 2 балла; второе – в г. Сковородино (11 км) – 2–3 балла.

Одно ощутимое землетрясение зарегистрировано в Приморском крае, севернее г. Владивостока, 21 июля в  $20^h36^m$  ( $h=8$  км,  $K_p=8.4$ ), оно ощущалось в пос. Ляличи (11 км) с интенсивностью в 3 балла [Прил. PR6].

Механизм очага определен также для корового землетрясения (10 на рис. 3), произошедшего 22 сентября 2018 г. в  $03^h39^m$  ( $h=11$  км,  $K_p=10.9$ ,  $M^P=M_{w,рег}=3.7$ ) в Амурской области, восточнее пос. Экимчан. Сейсмодислокация также классифицируется как сдвиговая с небольшой взбросовой компонентой. Нодальные плоскости с небольшим наклоном ( $DP_1=73^\circ$ ,  $DP_2=63^\circ$ ) ориентированы на северо-запад и юго-юго-восток.

На рис. 5 показаны изменение ежегодного числа коровых землетрясений региона с  $K_p \geq 7.6$  и их суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  за период 2000–2019 гг.



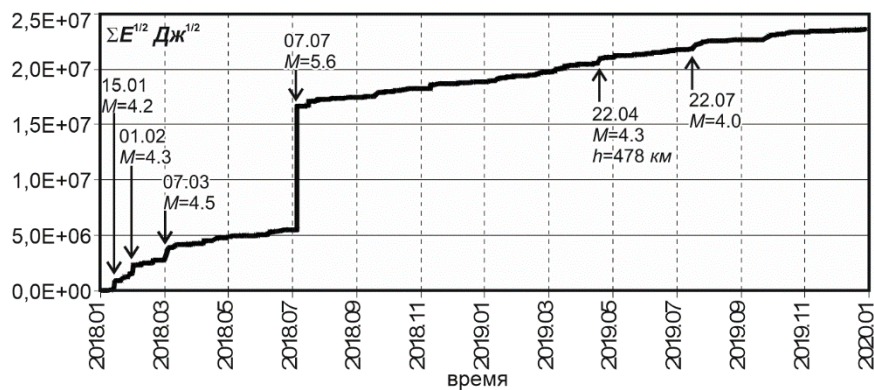
**Рис. 5.** Изменение ежегодного числа  $N$  землетрясений с  $K_p \geq 7.6$  и суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  коровых землетрясений Приамурья и Приморья за период 2000–2019 гг.

1 –  $N$ ; 2 – среднегодовое число  $N_{cp}$  землетрясений с  $K_p \geq 7.6$  за 2001–2017 гг.; 3 –  $\Sigma E$ ; 4 – среднегодовое значение суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E_{cp}$  за 2001–2017 гг.

Для одного, самого сильного, глубокофокусного землетрясения (13 на рис. 4), произошедшего 22 апреля 2019 г. в 00<sup>h</sup>47<sup>m</sup> ( $M^P = M_{W_{рег}} = 4.3$ ,  $h = 478$  км) с эпицентром на территории южной части Приморского края, определен механизм очага, относительно поверхности классифицируемый как взрез с пологой наклоненной к югу плоскостью  $NP1$  ( $DP_1 = 33^\circ$ ) и вертикальной плоскостью  $NP2$ . Вдоль субдуцирующей плиты такая ориентация нодальных плоскостей соответствует взбросовой сейсмодислокации со сдвиговой компонентой, хорошо согласующейся с преобладающей на этих глубинах системой тектонических напряжений [24].

Ход сейсмического процесса в регионе в 2018–2019 гг. характеризует график Беньоффа [25] на рис. 6. Энергия коровых землетрясений оценивалась по формуле Раутиан [16], глубокофокусных – по формуле Гутенберга-Рихтера [14].

Стрелками показаны самые сильные землетрясения 2018–2019 гг., вызвавшие «ступеньки» на графике. Поскольку в Приамурье и Приморье регистрируются, в основном, слабые сейсмические события, на графике заметно выделяются землетрясения с  $M^P \geq 4.0$  ( $K_p \geq 11.2$ ). В 2018 г. видны четыре «ступеньки», в 2019 г. – только две.



**Рис. 6.** График Беньоффа для региона Приамурье и Приморье за 2018–2019 гг.

Первая «ступенька» соответствует землетрясению (1 на рис. 3), произошедшему 15 января 2018 г. в 09<sup>h</sup>05<sup>m</sup> с  $M^P = 4.2$ ,  $K_p = 11.7$ ,  $h = 14$  км на территории Китая. Сведений об ощутимости не поступало.

Вторая «ступенька» отражает землетрясение (4 на рис. 3), зарегистрированное 1 февраля 2018 г. в 00<sup>h</sup>09<sup>m</sup> в восточной части Хабаровского края, проявившее максимальный в регионе в 2018–2019 гг. макросейсмический эффект, равный 4 баллам. Об этом землетрясении написано выше.

Третья «ступенька» – землетрясение (6 на рис. 3), произошедшее в северной части региона 7 марта 2018 г. в 01<sup>h</sup>47<sup>m</sup> с  $M^P = 4.5$ ,  $K_p = 12.1$ ,  $h = 10$  км, макросейсмический эффект не отмечен.

Четвертая «ступенька» соответствует самому сильному землетрясению региона (9 на рис. 4), произошедшему в северной части региона 7 июля 2018 г. в 08<sup>h</sup>51<sup>m</sup>, о котором написано выше.

После четвертой «ступеньки» график имеет примерно одинаковый наклон до конца 2019 г., что может свидетельствовать об отсутствии областей затишья или активизации перед сейсмическими событиями регионального масштаба, все происходящие в этот период землетрясения можно отнести к фоновой сейсмичности.

Слегка выделяются пятая и шестая «ступеньки», соответствующие самому сильному глубоководному землетрясению (13 на рис. 4), о котором написано выше, и коровому землетрясению (14 на рис. 4), произошедшему 22 июля 2019 г. в  $13^{\text{h}}08^{\text{m}}$  ( $M^P=4.0$ ,  $K_p=11.2$ ,  $h=12$  км) в отрогах хребта Соктахан, в 59 км юго-восточнее г. Зея.

В целом, в Приамурье и Приморье в 2018–2019 гг. наблюдался средний уровень коровой сейсмической активности. Глубоководная сейсмичность также была невысокой.

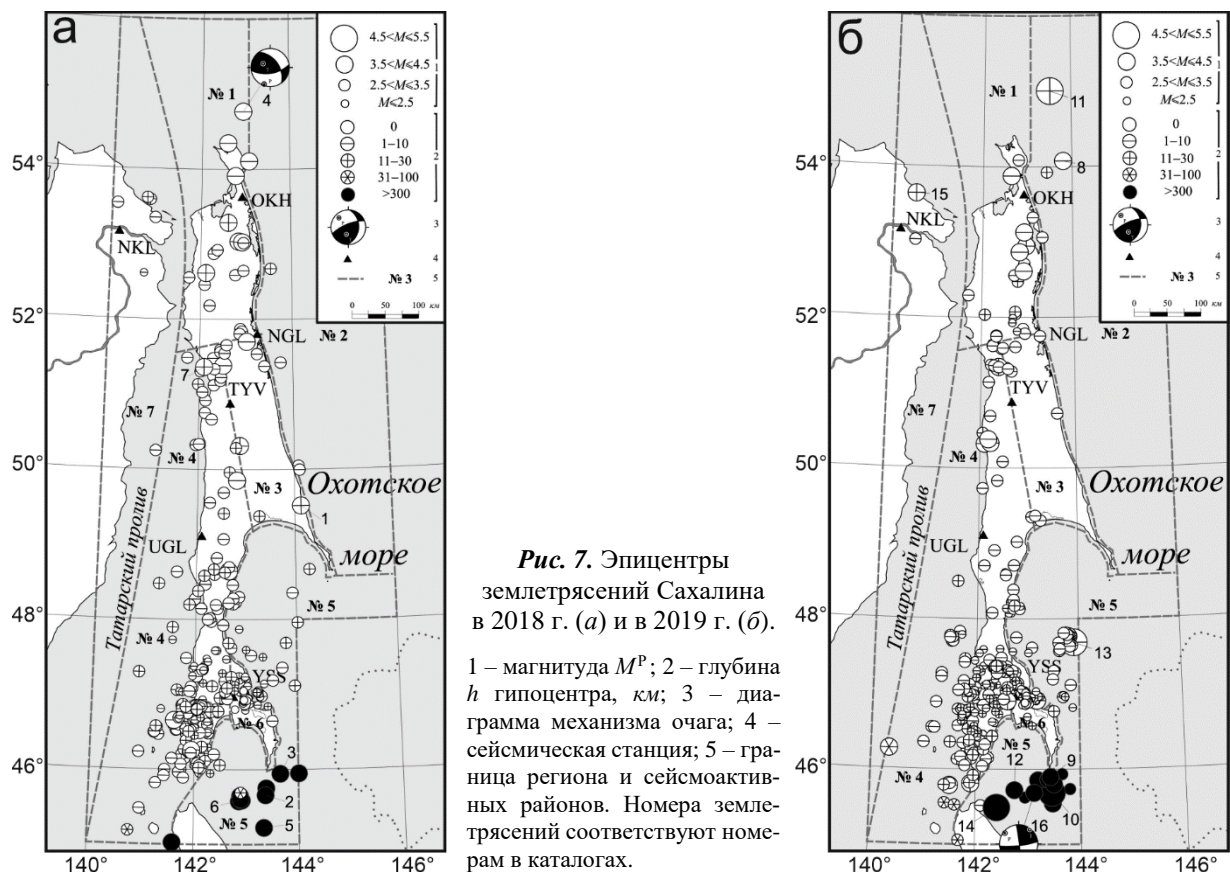
Функция распределения сейсмической энергии Приамурья и Приморья по данным каталогов за 1962–2019 гг. приведена в [26, 27], где уровень сейсмичности региона в 2018 г. и в 2019 г. по методике «СОУС'09» [28] отнесен к категории «фоновый средний».

**Сахалин.** В 2018–2019 гг. в региональный каталог Сахалина [Прил. SH3] включены параметры 759 сейсмических событий: 375 – за 2018 г., 384 – за 2019 г., 82 из них идентифицированы как «возможно взрыв» и при анализе сейсмичности не учитывались.

Для 20 землетрясений имеются макросейсмические данные [Прил. SH7], для двух определены механизмы очагов [Прил. SH5]. Карта эпицентров всех сейсмических событий приведена на рис. 7 а и 7 б. Обзор сейсмичности юга Сахалина по данным локальной сети приведен в [29, 30].

Сейсмичность региона представлена, в основном, коровыми землетрясениями с эпицентрами на о. Сахалин и его шельфе и, как правило, несколькими глубоководными землетрясениями, происходящими в зоне субдукции Тихоокеанской плиты. В 2018–2019 гг. на территории региона зарегистрировано 671 коровое землетрясение с глубиной гипоцентра  $h=1–22$  км, шесть – с эпицентрами в акваториях Японского и Охотского морей с  $h=32–78$  км, 23 – в зоне субдукции с  $h=275–345$  км.

Два самых сильных ( $M^P=4.6$ ) коровых землетрясения Сахалина (11 и 13 на рис. 7 б) произошли в 2019 году. Первое зарегистрировано 23 июня в  $21^{\text{h}}01^{\text{m}}$  ( $K_C=10.3$ ,  $h=13$  км) на северо-восточном шельфе острова; макросейсмический эффект не отмечен вследствие удаленности эпицентра от населенных пунктов. Второе – 6 августа в  $17^{\text{h}}40^{\text{m}}$  ( $M^P=4.6$ ,  $K_C=11.4$ ,  $h=11$  км) с эпицентром в заливе Терпения, на юго-восточном шельфе острова; ощущалось в г. Макарове (133 км) с интенсивностью в 3–4 балла, в с. Стародубское (88 км) – 3 балла, в бухте Тихая (108 км) – 2 балла.



**Рис. 7.** Эпицентры землетрясений Сахалина в 2018 г. (а) и в 2019 г. (б). 1 – магнитуда  $M^P$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – диаграмма механизма очага; 4 – сейсмическая станция; 5 – граница региона и сейсмоактивных районов. Номера землетрясений соответствуют номерам в каталогах.

Макросейсмический эффект на территории региона проявили 19 землетрясений: два – на севере Сахалина ( $I_{\max}=2$  балла), девять – в центральной части ( $I_{\max}=4$  балла), восемь – на юге ( $I_{\max}=3-4$  балла). Одно землетрясение с эпицентром у северо-западного побережья о. Хоккайдо ощущалось, по данным ISC [3], на этом острове.

Максимальную интенсивность проявило землетрясение (7 на рис. 7 а), произошедшее 7 октября 2018 г. ( $M^P=4.3$ ,  $K_C=9.7$ ,  $h=12$  км) в центральной части о. Сахалин: в с. Хоэ (8 км) – 4 балла, в с. Мгачи (37 км) – 2–3 балла, в г. Александровске-Сахалинском (51 км) – 2 балла. Два землетрясения ощущались с интенсивностью до 3–4 баллов: 8 июня 2019 г. в 14<sup>h</sup>20<sup>m</sup> ( $M^P=4.0$ ,  $K_C=9.1$ ,  $h=11$  км) в с. Арги-Паги (26 км) и упомянутое выше (13 на рис. 7 б). Макросейсмический эффект остальных землетрясений не превышал 3 баллов [Прил. SH7].

Механизм очага удалось определить лишь для одного корового землетрясения (4 на рис. 7 а), зарегистрированного 12 сентября в 05<sup>h</sup>49<sup>m</sup> ( $M^P=M_{w\text{рег}}=4.0$ ,  $K_C=10.9$ ,  $h=5$  км). Землетрясение произошло в условиях горизонтального ССВ–ЮЮЗ сжатия, нодальные плоскости с умеренным ( $DP_1=62^\circ$ ;  $DP_2=50^\circ$ ) наклоном ориентированы на восток и северо-запад. Сейсмодислокация классифицируется как взбросо-сдвиг. Решение механизма очага очень неустойчивое, другие землетрясения с определенным механизмом на северном продолжении Хоккайдо-Сахалинской разломной зоны в районе этого землетрясения неизвестны, потому интерпретировать произошедшее землетрясение довольно сложно.

Глубокофокусная сейсмичность Сахалинского региона в 2018–2019 гг. представлена 23 землетрясениями зоны субдукции Тихоокеанской плиты с очагами на глубинах  $h=275-345$  км, с эпицентрами, расположенными между о. Сахалин и о. Хоккайдо, в основном, к востоку от пролива Лаперуза, расчетные магнитуды  $M^P=2.9-4.9$ . Макросейсмический эффект на территории России ни одно глубокофокусное землетрясение не проявило.

Два самые сильные глубокофокусные землетрясения (10 и 14 на рис. 7 б) произошли 31 мая в 05<sup>h</sup>04<sup>m</sup> ( $M^P=4.9$ ,  $h=321$  км) и 28 августа в 01<sup>h</sup>29<sup>m</sup> ( $M^P=4.9$ ,  $h=317$  км), эпицентр (10) находился к югу от мыса Анива, эпицентр (14) – на северном шельфе о. Хоккайдо.

Эпицентр третьего по силе глубокофокусного землетрясения (16 на рис. 7 б) находился между (10) и (14), оно произошло 15 декабря 2019 г. в 04<sup>h</sup>38<sup>m</sup> ( $M^P=M_{w\text{рег}}=4.5$ ,  $h=323$  км). Механизм очага характерного для событий данного района [24] сдвигового типа, нодальные плоскости, вертикальные относительно поверхности, ориентированы субгоризонтально и субширотно.

На рис. 8 показано изменение ежегодного числа мелкофокусных землетрясений региона с  $M^P \geq 3.0$  и их суммарной сейсмической энергии за период 2001–2019 гг.

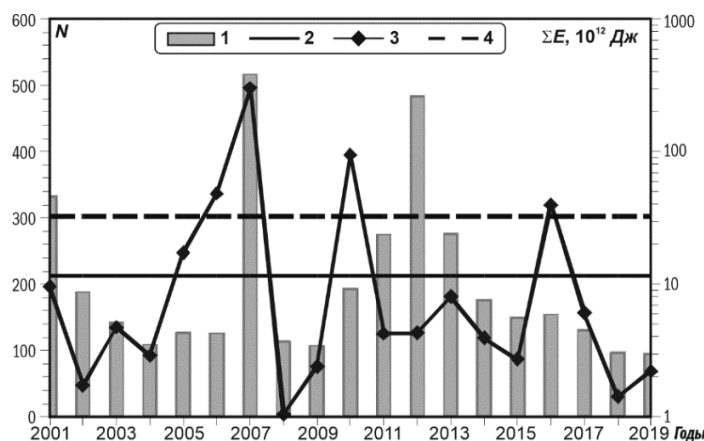


Рис. 8. Изменение ежегодного числа  $N$  землетрясений с  $M^P \geq 3.0$  и суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  мелкофокусных землетрясений Сахалина за период 2001–2019 гг.

1 –  $N$ ; 2 – среднегодовое число  $N_{\text{ср}}$  землетрясений с  $M^P \geq 3.0$  за 2001–2017 гг.; 3 –  $\Sigma E$ ; 4 – среднегодовое значение суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E_{\text{ср}}$  за 2001–2017 гг.

С магнитудой  $M^P \geq 3$  зарегистрировано 97 землетрясений в 2018 г. и 95 – в 2019 г., что в 2.2 раза ниже среднегодового значения за период 2001–2017 гг. ( $N_{\text{ср}}=212$ ), суммарная сейсмическая энергия в 2018 г. в 22.9 раза, а в 2019 г. – в 14.7 раза ниже среднегодового значения за указанный период.

На рис. 9 представлен график Беньюффа, характеризующий ход сейсмического процесса в Сахалинском регионе в течение 2018–2019 гг.



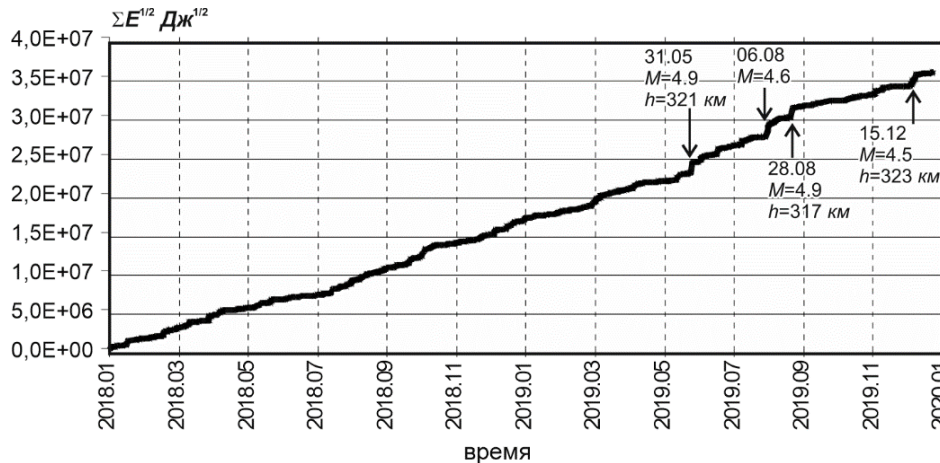


Рис. 9. График Бенъофа для землетрясений Сахалина за 2018–2019 гг.

Примерно одинаковый наклон графика может свидетельствовать об отсутствии областей затишья или активизации перед сейсмическими событиями регионального масштаба, все происходящие в этот период землетрясения можно отнести к фоновой сейсмичности.

Стрелками показаны самые сильные землетрясения, вызвавшие заметные «ступеньки» на графике, в данном случае их четыре (10, 13, 14, 16 на рис. 7 б), все они произошли в 2019 г., три из них – глубокофокусные. Обо всех этих землетрясениях написано выше.

Функция распределения сейсмической энергии землетрясений региона Сахалин по данным каталогов за 1962–2019 гг. приведена в [26, 27], где уровень сейсмичности региона в 2018 и 2019 гг. по методике «СОУС’09» [28] отнесен к категории «фоновый средний».

**Курило-Охотский регион.** В региональный каталог [Прил. KL2] включены параметры 3729 землетрясений с  $M^P=2.4-6.7$ : 1878 – за 2018 г., 1851 – за 2019 год. Гипоцентры 2934 землетрясений (78.7 %) локализованы в верхнем глубинном интервале  $h \leq 80$  км, 721 (19.3 %) – в промежуточном слое  $h=81-300$  км, 74 (2.0 %) – в нижнем интервале глубин  $h > 300$  км. Такое распределение гипоцентров землетрясений по глубине типично для Курило-Охотского региона, оно представлено на рис. 10.

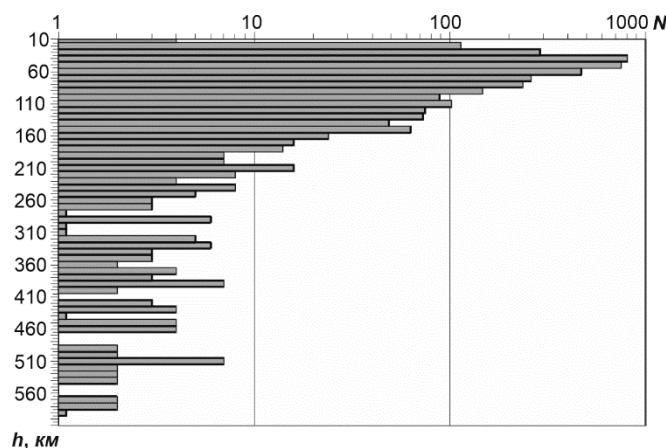


Рис. 10. Распределение землетрясений Курило-Охотского региона 2018–2019 гг. по глубине гипоцентра  $h$ , км

Для 97 землетрясений есть сведения о макросейсмическом эффекте на Курильских островах [Прил. KL6], где интенсивность составила от 2 до 5 баллов по шкале MSK-64 [22]. Гипоцентры ощутимых землетрясений находились в глубинном диапазоне  $h=14-160$  км, 62 из них (69 %) зафиксированы на глубине не более 80 км.

По данным Японского Метеорологического Агентства [2, 03], в границах Курило-Охотского региона зафиксировано еще около 223 ощутимых землетрясений. Основная масса этих событий произошла на территории о. Хоккайдо и юга Курильских островов и ощущалась в населенных пунктах Японии с интенсивностью I–VI баллов по шкале JMA [31].

Для 82 землетрясений региона получены решения механизмов очагов [Прил. KL4] методом инверсии волновых форм (ИВФ) [9, 11].

На рис. 11 и 12 приведены эпицентры и механизмы очагов землетрясений Курило-Охотского региона в 2018 г. и 2019 г. соответственно. Как обычно, основная часть эпицентров распо-

лагается вдоль западного склона Курило-Камчатского глубоководного желоба, глубина гипоцентров возрастает в северо-западном направлении.

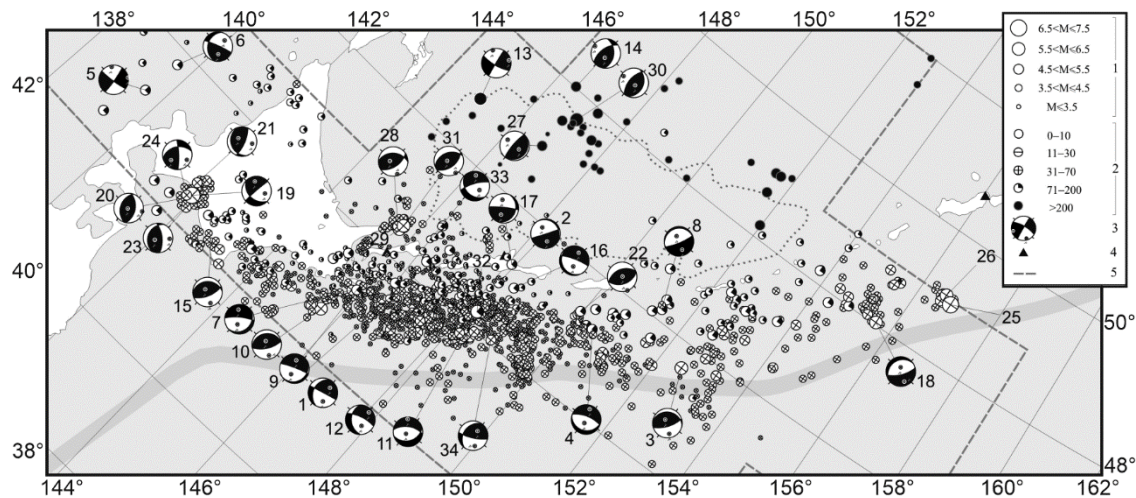


Рис. 11. Эпицентры и механизмы очагов землетрясений Курило-Охотского региона в 2018 г.

1 – магнитуда  $M^p$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – диаграмма механизма очага в проекции на нижнюю полусферу, зачернены области сжатия; 4 – сейсмическая станция; 5 – граница региона. Номера землетрясений соответствуют их номерам в каталоге.

Самое сильное землетрясение региона (25 на рис. 11) произошло 10 октября 2018 г. в 23<sup>h</sup>16<sup>m</sup> на глубине  $h=43$  км с  $M^p=MLH=6.7$ . Его эпицентр находился в 199 км к юго-востоку от г. Северо-Курильска, расположенного на о. Парамушир, где макросейсмический эффект составил 4 балла. Землетрясение ощущалось также на полуострове Камчатка: 4 балла – в Южно-Камчатском заказнике, на кордоне Озёрный (283 км), 2 балла – в г. Петропавловске-Камчатском (471 км).

Второе по силе землетрясение региона (19 на рис. 11) зарегистрировано 5 сентября 2018 г. в 18<sup>h</sup>07<sup>m</sup> на глубине  $h=46$  км с  $M^p=M_{w\text{рег}}=6.6$ ,  $MLH=7.1$ . Его эпицентр находился на юго-восточном шельфе о. Хоккайдо. На территории России землетрясение ощущалось с интенсивностью в 2 балла в пгт Южно-Курильск (362 км), с. Лагунное (358 км) и пос. Горячий Пляж (356 км). Механизм очага, по нашим данным, классифицируется как взрез с субвертикальной нодальной плоскостью  $NP1$  меридионального простирания и наклонной к югу  $NP2$  ( $DP_2=39^\circ$ ) – субширотного, что существенно отличается от данных других агентств [32, Прил. KL5]. Событие, названное Eastern Iburu earthquake, привлекло пристальное внимание японских исследователей, ему посвящено более 90 публикаций, согласно библиографическому справочнику ISC [33].

В верхнем глубинном слое ( $h \leq 80$  км) зарегистрировано три землетрясения с магнитудой  $M^p=6.0$ . Первое из них (18 на рис. 11) произошло 10 августа 2018 г. в 18<sup>h</sup>12<sup>m</sup> ( $h=56$  км,  $M^p=M_{w\text{рег}}=6.0$ ,  $MLH=6.3$ ), оно ощущалось в г. Северо-Курильске (295 км) с интенсивностью в 2 балла. Сейсмодислокация в очаге классифицируется как сброс с крутой плоскостью  $NP1$  ( $DP_1=70^\circ$ ) юго-восточного падения и пологой  $NP2$  ( $DP_2=21^\circ$ ) северо-западного падения, ориентированных вдоль островной дуги.

Второе землетрясение (42 на рис. 12) зарегистрировано 2 марта 2019 г. в 03<sup>h</sup>22<sup>m</sup> ( $h=46$  км,  $M^p=M_{w\text{рег}}=6.0$ ,  $MLH=5.9$ ), оно ощущалось в пгт Южно-Курильск (246 км) с интенсивностью в 3–4 балла, в с. Малокурильское (208 км) и пос. Горячий Пляж (244 км) – 3 балла. Эпицентр расположен на Тихоокеанской плите непосредственно перед глубоководным желобом. Механизм очага сбросовый со значительной сдвиговой компонентой, что несколько необычно для этого района. Нодальные плоскости ориентированы на юго-восток и юго-запад.

Третье землетрясение (70 на рис. 12) произошло на Южных Курилах 18 сентября в 02<sup>h</sup>54<sup>m</sup> ( $h=65$  км,  $M^p=6.0$ ,  $K_c=13.1$ ). Эпицентр находился восточнее о. Итуруп, макросейсмический эффект составил в селах Горячие Ключи (87 км) и Горное (87 км) – 4–5 баллов, в г. Курильске (102 км) и с. Рейдово (103 км) – 4 балла, в с. Малокурильское (134 км), пгт Южно-Курильск (203 км), пос. Горячий Пляж (209 км) – 2 балла.

В промежуточном глубинном слое (81–300 км) самое сильное землетрясение (32 на рис. 11) зарегистрировано 20 ноября в 20<sup>h</sup>16<sup>m</sup> на глубине  $h=103$  км с  $M^P=5.7$ ,  $K_C=12.5$ ). Эпицентр находился к востоку от о. Итуруп, макросейсмический эффект составил 3 балла в селах Горное (87 км), Малокурильское (116 км), Крабозаводское (124 км), Буревестник (85 км) и пгт Южно-Курильск (187 км).

Самое сильное глубоководное землетрясение (30 на рис. 11) произошло 2 ноября 2018 г. ( $h=446$  км,  $M^P=M_{w\text{рег}}=5.9$ ), эпицентр располагался в акватории Охотского моря на северо-западной границе Курильской котловины, макросейсмический эффект не отмечен. Механизм очага взбросовый с более крутой нодальной плоскостью западного падения и пологой – восточного. Относительно субдуцирующей плиты такой механизм очага представляет собой чистый взброс, что хорошо согласуется с установленной для данного района системой тектонических напряжений [24].

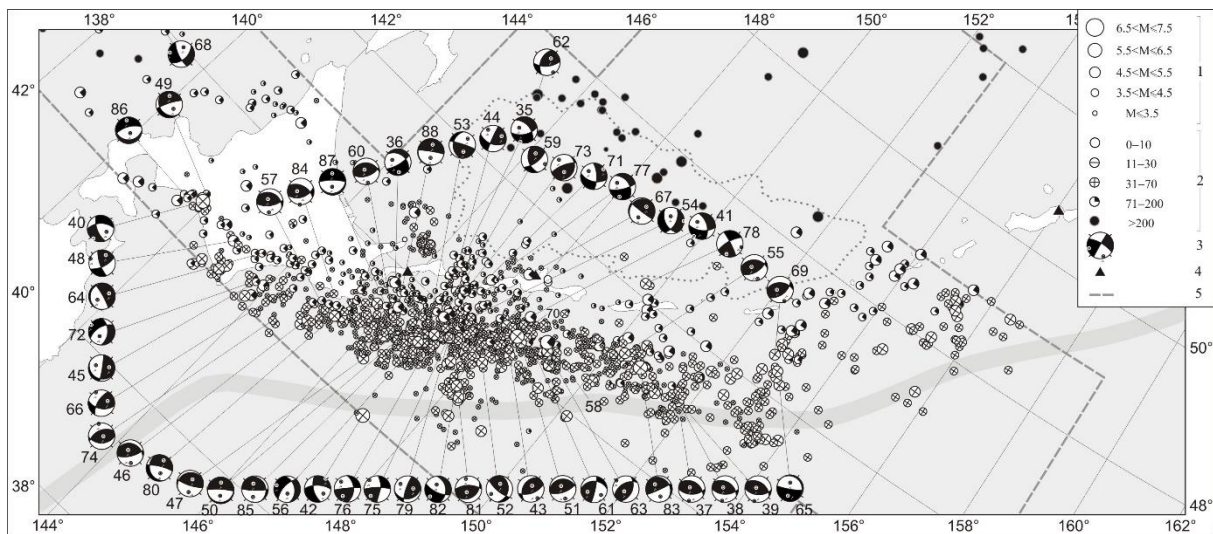


Рис. 12. Эпицентры и механизмы очагов землетрясений Курило-Охотского региона в 2019 г.

1 – магнитуа  $M^P$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – диаграмма механизма очага в проекции на нижнюю полусферу, зачернены области сжатия; 4 – сейсмическая станция; 5 – граница региона. Номера землетрясений соответствуют их номерам в каталоге.

Максимальный макросейсмический эффект в регионе в 2018–2019 гг. составил 5 баллов, его проявили два землетрясения. Первое (31 на рис. 11) произошло 4 ноября 2018 г. в 19<sup>h</sup>26<sup>m</sup> ( $h=14$  км,  $M^P=M_{w\text{рег}}=5.9$ ,  $MLH=6.2$ ). Эпицентр находился западнее о. Кунашир на подводном продолжении п-ова Сиретоко о. Хоккайдо, землетрясение ощущалось с интенсивностью в 5 баллов в с. Лагунное (51 км), пос. Горячий Пляж (58 км), пгт Южно-Курильск (55 км), с. Менделеево (62 км) и с. Головнино (87 км), 3 балла – в с. Малокурильское (116 км). Механизм очага события взбросовый с ССВ–ЮЮЗ ориентацией нодальных плоскостей. Серии Сиретокских землетрясений, крупнейшим событием которой явилось это землетрясение, посвящена отдельная статья данного издания [34].

Второе землетрясение с максимальным макросейсмическим эффектом в 5 баллов (79 на рис. 12) произошло 23 ноября 2019 г. в 12<sup>h</sup>58<sup>m</sup> ( $h=65$  км,  $M^P=M_{w\text{рег}}=5.1$ ,  $MLH=4.8$ ). Эпицентр находился восточнее о. Кунашир, южнее о. Итуруп. Землетрясение ощущалось в с. Малокурильское (44 км) с интенсивностью в 5 баллов, в пгт Южно-Курильск (124 км), пос. Горячий Пляж (127 км), с. Лагунное (130 км), с. Головнино (146 км) – 4 балла, в с. Крабозаводское (48 км) – 3–4 балла, в г. Курильске (174 км) – 2–3 балла. Механизм очага несколько необычен для субдукционных землетрясений данного района, классифицируется как взрез с субвертикальной нодальной плоскостью  $NP1$  ( $DP_1=79^\circ$ ) юго-юго-восточного простирания вкрест островодужной системе и субгоризонтальной  $NP2$  ( $DP_2=24^\circ$ ) плоскостью северо-восточного простирания. Возможно, событие является внутриплитовым, секущим надвинутый блок Охотской плиты.

На рис. 13 показаны изменение ежегодного числа землетрясений региона с  $M^P \geq 4.3$  и их суммарная сейсмическая энергия за 2001–2019 гг.

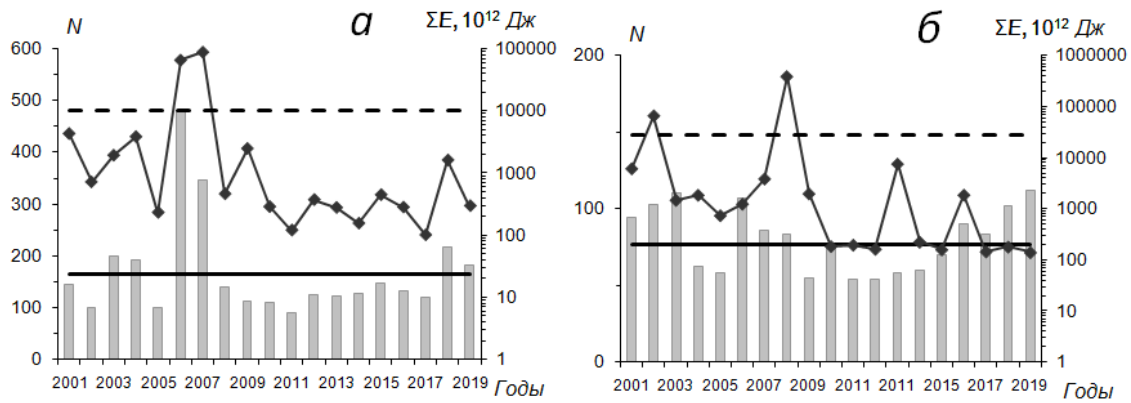


Рис. 13. Распределение числа землетрясений с  $M^P \geq 4.3$  с  $h \leq 80$  км (а) и  $h > 80$  км (б), и величины суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  Курило-Охотского региона за 2001–2019 гг.

Условные обозначения как на рис. 8.

Всего в 2018 г. было зарегистрировано 1515 мелкофокусных ( $h \leq 80$  км) землетрясений, из них  $N=218$  с  $M^P \geq 4.3$ , что в 1.3 раза больше среднего значения ( $N_{\text{ср}}=163.9$ ) за 2001–2017 гг., а их суммарная сейсмическая энергия в 6.3 раза меньше среднего значения за указанный период (рис. 13 а).

В 2019 г. было зарегистрировано 1419 мелкофокусных землетрясений, из них  $N=182$  с  $M^P \geq 4.3$ , что в 1.1 раза больше среднего значения за 2001–2017 гг., а их суммарная сейсмическая энергия в 34.4 раза меньше среднего значения за указанный период (рис. 13 а).

Число землетрясений с гипоцентрами на глубине  $h > 80$  км составило в 2018 г.  $N=363$ , из них  $N=102$  с  $M^P \geq 4.3$ , что в 1.3 раза больше среднего значения ( $N_{\text{ср}}=76.2$ ) за 2001–2017 гг., а их суммарная сейсмическая энергия в 154.4 раза меньше среднего значения за указанный период (рис. 13 б).

Число землетрясений с гипоцентрами на глубине  $h > 80$  км в 2019 г.  $N=432$ , из них  $N=112$  с  $M^P \geq 4.3$ , что почти в 1.5 раза больше среднего значения за 2001–2017 гг., а их суммарная сейсмическая энергия в 198.6 раза меньше среднего значения за указанный период (рис. 13 б).

На рис. 14 представлен график Беньоффа, характеризующий ход сейсмического процесса в Курило-Охотском регионе в течение 2018–2019 гг. Примерно одинаковый наклон графика может свидетельствовать об отсутствии областей затишья или активизации перед сейсмическими событиями регионального масштаба, все происходящие землетрясения можно отнести к фоновой сейсмичности. Стрелками показаны самые сильные землетрясения года, вызвавшие «ступеньки» на графике.

Поскольку Курило-Охотский регион характеризуется высокой сейсмической активностью, ежегодно на его территории происходит более полутора тысяч землетрясений, на графике Беньоффа в виде «ступенек» выделяются, как правило, землетрясения с магнитудой  $M^P \geq 6$ .

Первая, чуть заметная, «ступенька» соответствует землетрясению (3 на рис. 11), произошедшему 7 марта 2018 г. в 04<sup>h</sup>40<sup>m</sup> к востоку от о. Уруп на глубине  $h=65$  км с магнитудой  $M^P=M_{\text{верг}}=5.9$ ,  $MLH=5.6$ . Макросейсмический эффект составил 2 балла в г. Курильск (365 км), с. Малокурильское (490 км), пгт Южно-Курильск (555 км), пос. Горячий Пляж (561 км).

Следующие семь «ступенек» графика соответствуют самым сильным землетрясениям региона, о которых написано выше: (18, 19, 25, 30 на рис. 11) и (42 и 70 на рис. 12).

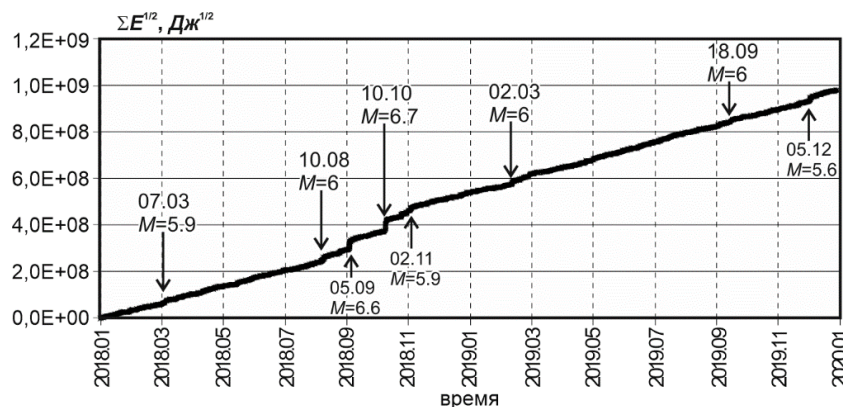


Рис. 14. График Беньоффа для землетрясений Курило-Охотского региона за 2018–2019 гг.

Последняя «ступенька» соответствует трем умеренным землетрясениям, произошедшим 5 декабря 2019 г., самое сильное из которых (83 на рис. 12) зарегистрировано в  $02^{\text{h}}03^{\text{m}}$  с  $M^{\text{P}}=M_{\text{Wper}}=5.6$ . Перед ним, в  $01^{\text{h}}29^{\text{m}}$ , произошло землетрясение (82 на рис. 12) с  $M^{\text{P}}=M_{\text{Wper}}=5.0$ , и в  $14^{\text{h}}35^{\text{m}}$  – с  $M^{\text{P}}=5.1$ .

В целом сейсмичность региона в 2018–2019 гг. можно считать умеренной, число землетрясений с магнитудой  $M^{\text{P}} \geq 4.3$ , как мелкофокусных, так и глубокофокусных, несколько выше средних значений за 17-летний период, но их суммарная сейсмическая энергия остается во много раз ниже среднего.

Функция распределения сейсмической энергии Курило-Охотского региона по данным каталогов за 1962–2019 гг. приведена в [26, 27], где уровень сейсмичности региона в 2018 г. по методике «СОУС'09» [28] отнесен к категории «фоновый средний», в 2019 г. – «фоновый пониженный».

**Заключение.** Исходя из анализа поля эпицентров и полученных решений механизмов очагов, основной сейсмичности изучаемых регионов, как и в предыдущие годы, остаются тектонические процессы в зоне коллизий между Тихоокеанской, Охотской, Амурской и Евразийской литосферными плитами. Большинство сильных землетрясений Курило-Охотского региона 2018–2019 гг. с магнитудой до  $M^{\text{P}}=6.7$  относятся к области межплитового взаимодействия Тихоокеанской и Охотской плит. При этом произошло несколько заметных землетрясения внутри Охотской литосферной плиты: в 2018 г. – в районе юго-запада о. Хоккайдо с  $M_{\text{Wper}}=6.6$  (19 на рис. 11) и к северо-востоку от этого острова с  $M_{\text{Wper}}=5.9$  (31 на рис. 11), а в 2019 г. – два события с  $M^{\text{P}}=4.6$  (11, 31 на рис. 7 б) к востоку от о. Сахалин, в северной и южной частях Сахалинского региона. Помимо уже названных, основной вклад в сейсмичность Сахалинского региона в 2018–2019 гг. внесли коровые землетрясения с эпицентрами вдоль основных региональных разломов меридионального простирания: у западного побережья Сахалина на юге и в центральной части острова и вдоль восточного побережья на севере, что совпадает с современными представлениями о положении границы между Охотской и Амурской литосферными плитами. В Приамурье и Приморье единственным сильным событием стало сдвиговое землетрясение 7 июля 2018 г. с  $M_{\text{Wper}}=4.9$  (9 на рис. 3) в районе Станового хребта на границе между Амурской и Евразийской литосферными плитами.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках темы НИР АААА-А20-120060890034-7 госзадания № 75-01271-23 ФИЦ ЕГС РАН с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира.

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие Авдеева Л.И., Бахтиярова Г.М., Децик И.В., Дорошкевич Е.Н., Коваленко Н.С., Костылев Д.В., Кругова И.П., Лукаш Н.А., Лысенко Т.Н., Михайлов В.И., Паршина И.А., Пиневиц М.В., Пойгина С.Г., Рунова А.И., Сафонов Д.А., Ферчева В.Н., Фокина Т.А., Швидская С.В.

**Электронные приложения** (<http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>): App08\_Priamurye\_Primorye\_2018–2019: PR1 – Сейсмические станции Приамурья и Приморья в 2018–2019 гг.; PR2 – Каталог землетрясений и взрывов Приамурья и Приморья за 2018–2019 гг.; PR3 – Дополнение к каталогу землетрясений Приамурья и Приморья за 2018–2019 гг.; PR4 – Каталог механизмов очагов землетрясений Приамурья и Приморья за 2018–2019 гг.; PR5 – Дополнение к каталогу механизмов очагов землетрясений Приамурья и Приморья за 2018–2019 гг.; PR6 – Макросейсмический эффект землетрясений Приамурья и Приморья в населенных пунктах в 2018–2019 гг.; PR7 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях землетрясений Приморья и Приамурья за 2018–2019 гг.

App09\_Sakhalin\_2018–2019: SH1 – Стационарные сейсмические станции и сеть цунами Сахалина в 2018–2019 гг.; SH2 – Локальная сеть сейсмических станций Сахалина в 2018–2019 гг.; SH3 – Каталог землетрясений и взрывов Сахалина за 2018–2019 гг.; SH4 – Дополнение к каталогу землетрясений Сахалина за 2018–2019 гг.; SH5 – Каталог механизмов очагов землетрясений Сахалина за 2018–2019 гг.; SH6 – Дополнение к каталогу механизмов очагов землетрясений Сахалина за 2018–2019 гг.; SH7 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Сахалина в 2018–2019 гг.; SH8 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях землетрясений Сахалина за 2018–2019 гг.

App10\_Kurily-Okhotsk\_2018–2019: KL1 – Стационарные сейсмические станции Курило-Охотского региона в 2018–2019 гг.; KL2 – Каталог землетрясений Курило-Охотского региона за 2018–2019 гг.; KL3 –

Дополнение к каталогу землетрясений Курило-Охотского региона за 2018–2019 гг.; KL4 – Каталог механизмов очагов землетрясений Курило-Охотского региона за 2018–2019 гг.; KL5 – Дополнение к каталогу механизмов очагов землетрясений Курило-Охотского региона за 2018–2019 гг.; KL6 – Макросейсмический эффект землетрясений в населенных пунктах Курило-Охотского региона и прилегающих территорий в 2018–2019 гг.; KL7 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях землетрясений в Курило-Охотском регионе за 2018–2019 гг.

### Л и т е р а т у р а

1. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2018–2019. (2023) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: [http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic\\_bulletin/2019/](http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2019/)
2. Japan Meteorological Agency. (2023). – URL: <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
3. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
4. National Earthquake Data Center. (2023). – URL: <http://data.earthquake.cn/index.html>
5. Дягилев Р.А. Программа расчета регистрационных возможностей сейсмических сетей и групп, SAgra / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020662170 от 09.10.2020 г.
6. Оскорбин Л.С., Бобков А.О. Макросейсмическое проявление землетрясений на территории южной части Дальнего Востока // Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 45–64.
7. Поплавская Л.Н., Бобков А.О., Кузнецова В.Н., Нагорных Т.В., Рудик М.И. Принципы формирования и состав алгоритмического обеспечения регионального центра обработки сейсмологических наблюдений (на примере Дальнего Востока) // Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР. Методические работы ЕССН. – М.: Наука, 1989. – С. 32–51.
8. Оскорбин Л.С., Бобков А.О. Сейсмический режим сейсмогенных зон юга Дальнего Востока // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Т. VI. (Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона). – Южно-Сахалинск: ИМГиГ, 1997. – С. 179–197.
9. Сафонов Д.А., Коновалов А.В. Использование программы ISOLA для определения тензора сейсмического момента землетрясений Курило-Охотского и Сахалинского регионов // Тихоокеанская геология. – 2017. – Т. 36, № 3. – С. 102–112.
10. Snoke J.A., Munsey J.W., Teague A.C., Bollinger G.A. A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data // Earthquake Notes. – 1984. – V. 55, N 3. – 15 p.
11. Sokos E., Zahradnik J. Evaluating Centroid Moment Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software // Seismological Research Letters. – 2013. – V. 84. – P. 656–665.
12. Соловьёв С.Л., Соловьёва О.Н. Скорость колебания земной поверхности в объемных волнах неглубокофокусных Курило-Камчатских землетрясений на расстояниях до 17° // Физика Земли. – 1967. – № 1. – С. 37–60.
13. Соловьёва О.Н., Соловьёв С.Л. Новые данные о динамике сейсмических волн неглубокофокусных Курило-Камчатских землетрясений // Проблемы цунами. – М.: Наука, 1968. – С. 75–97.
14. Гутенберг Б., Рихтер К.Ф. Магнитуда, интенсивность, энергия и ускорение как параметры землетрясений (II) // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 72–119.
15. Габсатарова И.П. Границы сейсмоактивных регионов России с 2004 г. // Землетрясения России в 2004 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 139.
16. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика. (Труды ИФЗ АН СССР; № 32 (199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
17. Соловьёв С.Л., Соловьёва О.Н. Соотношение между энергетическим классом и магнитудой Курильских землетрясений // Физика Земли. – 1967. – № 2. – С. 13–23.
18. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР / Отв. сост. Кондорская Н.В., Аранович З.И., Шебалин Н.В. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
19. Волкова Л.Ф., Поплавская Л.Н., Соловьёва О.Н. Шкалы *MPVA*, *MSHA* для определения магнитуд близких глубокофокусных землетрясений Дальнего Востока // Сейсмологические наблюдения на Дальнем Востоке СССР. Методические работы ЕССН. – М.: Наука, 1989. – С. 81–85.
20. Ким Ч.У., Сен Р.С. Результаты сейсмических исследований в окрестности Южно-Сахалинска с использованием цифровой сейсмической станции DATAMARK // Очаги сильных землетрясений Дальнего Востока. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 163–175.

21. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
22. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
23. Тектоника, глубинное строение и минерагения Приамурья и сопредельных территорий / Отв. ред. Г.А. Шатков, А.С. Вольский. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. – 190 с.
24. Сафонов Д.А. Реконструкция поля тектонических напряжений глубокой части южного сегмента Курило-Камчатской и северного сегмента Японской зоны субдукции // Геодинамика и тектонофизика. – 2020. – Т. 11, № 4. – С. 743–755. DOI: <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-4-0504>
25. Benioff H. Earthquakes and rock creep // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1951. – V. 41, N 1. – P. 31–62.
26. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.В., Воропаев В.П. Количественный анализ сейсмичности. Оценка уровня сейсмической активности регионов России // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 82–88.
27. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.В. Количественный анализ сейсмичности. Оценка уровня сейсмической активности регионов России // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 83–89.
28. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
29. Михайлов В.И., Семёнова Е.П. Юг о. Сахалин // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 106–110
30. Михайлов В.И., Семёнова Е.П. Юг о. Сахалин // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 106–110
31. Hisada T., Nakagawa K. Present Japanese Development in Engineering Seismology and their Application to Buildings. – Building Research Institute, Ministry of Construction, Japanese Government, 1958.
32. Katsumata K., Ichiyanagi M., Ohzono M. et al. The 2018 Hokkaido Eastern Iwate earthquake ( $M_{JMA}=6.7$ ) was triggered by a strike-slip faulting in a stepover segment: insights from the aftershock distribution and the focal mechanism solution of the main shock // Earth Planets Space. – 2019. – V. 71, N 53. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1032-8>
33. International Seismological Centre. (2023). Библиографический справочник ISC. <https://doi.org/10.31905/EJ3B5LV6>
34. Семенова Е.П., Сафонов Д.А. Сиретокские землетрясения в октябре-ноябре 2018 г. с  $M_w=5.9$  (Кунаширский прол., о. Хоккайдо) // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 340–353. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.30> EDN: FNAKYM

***SEISMICITY of the AMUR and PRIMORYE, SAKHALIN  
and the KURIL-OKHOTSK REGION in 2018–2019***

***T.A. Fokina<sup>1</sup>, D.A. Safonov<sup>2</sup>, D.V. Kostylev<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup>*Sakhalin branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk*

<sup>2</sup>*Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk*

**Abstract.** A review of the Amur and Primorye, Sakhalin, and the Kuril-Okhotsk region seismicity for 2018–2019 is presented on the basis of data from the regional network of stationary seismic stations of the Sakhalin branch of the Geophysical Survey RAS with the involvement of data from adjacent seismological Russian and foreign agencies, as well as ten stations of the local network operating in the south Sakhalin. Parameters of 4989 seismic events have been determined, 193 of them are explosions. Focal mechanisms were calculated for 88 earthquakes. 116 earthquakes have shown a macroseismic effect. A map of the epicenters is presented, the distribution of the number  $N$  of crustal and deep-focus earthquakes by a magnitude, a total seismic energy  $\sum E$  for seismically active regions of three regions are given, in comparison with the average parameters  $N$  and  $\sum E$  for 2001–2017. For each region, an analysis of the parameters of the seismic regime in 2018–2019 is given in comparison with long-term averages, the maximum and significant seismic events are described. The seismicity of the Primurye and Primorye, Sakhalin, and the Kuril-Okhotsk region in 2018–2019 can be characterized as a moderate one.

**Keywords:** earthquake, seismicity, seismic station, magnitude, seismic energy.

**For citation:** Fokina, T.A., Safonov, D.A., & Kostylev, D.V. (2023). [Seismicity of the Amur and Primorye, Sakhalin and the Kuril-Okhotsk region in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 154–170. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.13> EDN: YUDPGA

## References

1. GS RAS. (2023). Bulletin of Teleseismic Stations, 2018–2019. Retrieved from [http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic\\_bulletin/2019/](http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2019/)
2. Japan Meteorological Agency. (2023). Retrieved from <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
3. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
4. National Earthquake Data Center. (2023). Retrieved from <http://data.earthquake.cn/index.html>
5. Dyagilev, R.A. (2020). [Program for calculating registration capabilities of seismic networks and groups, SARra]. Certificate of state registration of a computer program № 2020662170. (In Russ.).
6. Oskorbin, L.S., & Bobkov, A.O. (1997). [Macroseismic demonstration of earthquakes in the southern part of the Far East] *Geodinamika tektonosfery zony sochleneniya Tikhogo okeana s Evrazii. T. VI. (Problemy seismicheskoy opasnosti Dal'nevostochnogo regiona)* [Geodynamics tektonosfer of a zone of a joint of the Pacific Ocean with Eurasia. V. VI. (Problems of seismic hazard of the Far East region)] (pp. 45–64). Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMGIG Publ. (In Russ.).
7. Poplavskaya, L.N., Bobkov, A.O., Kuznetsova, V.N., Nagornykh, T.V., & Rudik, M.I. (1989). [The principles of formation and structure of algorithmic providing the regional center of processing of seismological observations (on the example of the Far East)]. In *Seismologicheskiye nablyudeniya na Dal'nem Vostoke USSR. Metodicheskiye raboty ESSN* [Seismological observations in the Far East of the USSR. Methodical works of ESSN]. (pp. 32–51). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
8. Oskorbin, L.S., & Bobkov, A.O. (1997). [Seismic mode of seismogene zones of the South of the Far East]. In *Geodinamika tektonosfery zony sochleneniya Tikhogo okeana s Evrazii. T. VI. (Problemy seismicheskoy opasnosti Dal'nevostochnogo regiona)* [Geodynamics tektonosfer of a zone of a joint of the Pacific Ocean with Eurasia. V. VI. (Problems of seismic hazard of the Far East region)] (pp. 179–197). Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMGIG Publ. (In Russ.).
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. Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.C., & Bollinger, G.A. (1984). A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data. *Earthquake Notes*, 55(3), 15 p.
11. Sokos, E., & Zahradník, J. (2013). Evaluating Centroid Moment Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software. *Seismological Research Letters*, 84, 656–665.
12. Solov'yov, S.L., & Solov'yova, O.N. (1967). [Earth surface oscillation velocity in body waves of shallow focus Kuril-Kamchatka earthquakes at distances up to 17°]. *Fizika Zemli* [Izvestiya. Physics of the Solid Earth], 1, 37–60. (In Russ.).
13. Solov'yov, S.L., & Solov'yova, O.N. (1968). [New data on the dynamics of seismic waves of shallow focus Kuril-Kamchatka earthquakes]. In *Problemy cunami* [Tsunami problems] (pp. 75–97). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
14. Gutenberg, B., & Richter, K.F. (1961). [Magnitude, intensity, energy and acceleration as parameters of earthquakes (II)]. In *Slabye zemletriaseniia* [Weak earthquakes] (pp. 72–119). Moscow, Russia: IL Publ. (In Russ.).
15. Gabsatarova, I.P. (2007). [Borders of seismoactive regions of Russia since 2004]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2004 godu* [Earthquakes in Russia, 2004]. Obninsk, Russia: GS RAS Publ., 139 p. (In Russ.).
16. Rautian, T.G. (1964). [On determining the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Ekspierimental'naiia seismika. Trudy IFZ AN SSSR № 32(199)* [Experimental seismic] (pp. 88–93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
17. Solov'yov, S.L., & Solov'yova, O.N. (1967). [Relationship between the energy class and the magnitude of the Kuril earthquakes]. *Fizika Zemli* [Izvestiya. Physics of the Solid Earth], 2, 13–23. (In Russ.).
18. *Instruktsiia o poriadke proizvodstva i obrabotki nabliudenii na seismicheskikh stantsiiakh Edinoi sistemy seismicheskikh nabliudenii SSSR* [Instructions on the procedure for the production and processing of observations at seismic stations of the Unified Seismic Observation System of the USSR]. (1982). Moscow, Russia: Nauka Publ., 273 p. (In Russ.).



19. Volkova, L.F., Poplavskaya, L.N., & Solov'yova, O.N. (1989). [MPVA, MSHA scales for determining magnitudes of nearby deep focus earthquakes in the Far East]. In *Seismologicheskie nablyudeniya na Dal'nem Vostoke SSSR. Metodicheskie raboty ESSN* [Seismological observations in the Far East of the USSR. Methodological work of ECHS] (pp. 81–85). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
20. Kim, Ch.U., & Sen, R.S. (1997). [Results of seismic studies in the vicinity of Yuzhno-Sakhalinsk using a digital seismic station DATAMARK]. In *Ochagi sil'nyh zemletryasenij Dal'nego Vostoka* [The centers of strong earthquakes in the Far East] (pp. 163–175). Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMGiG Publ. (In Russ.).
21. Rautian, T.G. (1960). [Energy of earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti (Trudy IFZ AN SSSR, № 9(176))* [Methods of Detail Study of Seismicity] (pp. 75–114). Moscow, Russia: Inst. Fiz. Zemli Akad. Nauk SSSR Publ. (In Russ.).
22. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
23. Shatkov, G.A., & Volsky, A.S. (2004). *Tektonika, glubinnoe stroenie i minerageniya Priamur'ya i sopredel'nyh territorij* [Tectonics, deep structure and minerageny of the Amur region and adjacent territories]. St. Petersburg, Russia: VSEGEI Publ., 190 p.
24. 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.). DOI: <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-4-0504>
25. Benioff, H. (1951). Earthquakes and rock creep. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 41(1), 31–62.
26. Saltykov, V.A., Kravchenko, N.M., Poygina, S.G., & Voropaev, V.P. (2020). [Estimation of the level of seismic activity in Russian regions]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2018 godu* [Earthquakes in Russia, 2018] (pp. 82–88). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
27. Saltykov, V.A., Kravchenko, N.M., & Poygina S.G. (2021). [Estimation of the level of seismic activity in Russian regions]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2019 godu* [Earthquakes in Russia, 2019] (pp. 83–89). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
28. Saltykov, V.A. (2011). [Statistical estimation of the level of seismic: methodology and application results on the example of Kamchatka]. *Vulkanologiya i sejsmologiya* [Volcanology and seismology], 2, 53–59. (In Russ.).
29. Mikhaylov, V.I., & Semenova, E.P. (2020). [South of Sakhalin]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2018 godu* [Earthquakes in Russia, 2018] (pp. 106–110). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
30. Mikhaylov V.I., & Semenova, E.P. (2021). [South of Sakhalin]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2019 godu* [Earthquakes in Russia, 2019] (pp. 106–110). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
31. Hisada, T., & Nakagawa, K. (1958). Present Japanese Development in Engineering Seismology and their Application to Buildings. *Building Research Institute, Ministry of Construction, Japanese Government*.
32. Katsumata, K., Ichiyanagi, M., Ohzono, M., Aoyama, H., Tanaka, R., Takada, M., ... & Ueno, T. (2019). The 2018 Hokkaido Eastern Iwate earthquake ( $M_{JMA}=6.7$ ) was triggered by a strike-slip faulting in a step-over segment: insights from the aftershock distribution and the focal mechanism solution of the main shock. *Earth, Planets and Space*, 71(53). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1032-8>
33. International Seismological Centre. (2023). Search the Event Bibliography. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/EJ3B5LV6>
34. Semenova, E.P., & Safonov, D.A. (2023). [Siretok earthquakes in October–November 2018 with  $M_w=5.9$  (Kunashirsky Strait, Hokkaido Island)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 340–353. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.30> EDN: FNAKYM