

УДК 550.348. (571.642)

СЕЙСМИЧНОСТЬ ПРИАМУРЬЯ и ПРИМОРЬЯ, САХАЛИНА и КУРИЛО-ОХОТСКОГО РЕГИОНА в 2020 году

Д.А. Сафонов¹, Т.А. Фокина², Д.В. Костылев^{1,2}

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, d.safonov@imgg.ru

²Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, fokina@seismo.sakhalin.ru

Аннотация. Представлен обзор сейсмичности Приамурья и Приморья, Сахалинского и Курило-Охотского регионов по данным каталогов Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН, полученных с использованием региональной сети сейсмических станций филиала, с привлечением данных сейсмологических российских и зарубежных агентств. Определены параметры 2038 сейсмических событий. Для 43 землетрясений рассчитаны механизмы очага. От 65 землетрясений с эпицентрами на территории вышеуказанных регионов отмечен макросейсмический эффект. Приведены карты эпицентров, проанализировано число коровых и глубокофокусных землетрясений, их магнитуда и суммарная сейсмическая энергия в сравнении со средними параметрами в предыдущие годы. Дано краткое описание сильнейших сейсмических событий. Сейсмичность Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2020 г. можно охарактеризовать как умеренную, в пределах фонового уровня.

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

Для цитирования: Сафонов Д.А., Фокина Т.А., Костылев Д.В. Сейсмичность Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2020 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 148–161. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.13> EDN: GWQRAP

Введение. Территория, сейсмичность которой представлена в настоящей статье, включает три региона: Приамурье и Приморье, Сахалин и Курильские острова. Ранее обзоры сейсмичности проводились отдельно для каждого региона. Но с 2015 г. анализ сейсмичности всех трех регионов объединен в один обзор, поскольку сейсмический мониторинг осуществляется одной сетью станций – Сахалинского филиала (СФ) ФИЦ ЕГС РАН. В статье представлены обзор и анализ сейсмичности трех регионов в 2020 году. Основой статьи являются каталоги землетрясений (Прил. PR2, SH3, KL2), которые составляются по результатам обработки данных, получаемых сетью сейсмических станций СФ ФИЦ ЕГС РАН (Прил. PR1, SH1, SH2, KL1). Для отдельных землетрясений рассчитаны механизмы очагов методом инверсии волновых форм (Прил. PR3, SH4, KL4). Для ощутимых землетрясений собраны сведения об интенсивности макросейсмических проявлений на территории региона (Прил. PR4, SH6, KL6).

Региональная сеть станций. Сеть сейсмологических наблюдений Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН в 2020 г., по сравнению с таковой в 2019 г., почти не изменилась [1]. Мониторинг сейсмической активности в зоне ответственности филиала проводился с использованием данных, поступающих от 42 стационарных сейсмических станций и пунктов инструментальных непрерывных сейсмологических наблюдений Сахалинского филиала, расположенных на о. Сахалин (Прил. SH1, SH2), Курильских островах (Прил. KL1), в Приамурье и Приморье (Прил. PR1). К определению параметров землетрясений привлекались данные сейсмологических российских и зарубежных агентств [2–5].

Три автономных пункта регистрации («Вал» и «Новиково» на о. Сахалин и «Кировский» в Амурской области) в течение всего года были временно законсервированы в связи с выходом из строя оборудования.

В рамках взаимодействия со структурными подразделениями ГУ МЧС России по Сахалинской области летом 2020 г. сотрудниками СФ ФИЦ ЕГС РАН в пос. Южно-Курильск (о. Кунашир) и Китовое (о. Итуруп) установлены пункты наблюдения с комплектом сейсмологического оборудования: широкополосным велосиметром Guralp CMG-6T, акселерометром Guralp Fortis, регистратором сейсмических сигналов Guralp Minimus+ и системой передачи данных. Информация с пунктов наблюдения в режиме реального времени передается в информационно-вычислительный центр СФ ФИЦ ЕГС РАН и в аварийно-спасательный центр мониторинга и прогноза чрезвычайных ситуаций Главного управления МЧС России по Сахалинской области [6].

Регистрационные возможности сети по состоянию на 31 декабря 2020 г. рассмотрены в статье [7], согласно которой текущая конфигурация сети сейсмических станций, с учетом установленного оборудования и привлечения в оперативном режиме данных станций соседних регионов, позволяет обеспечить на большей части зоны ответственности возможность регистрации как минимум тремя сейсмостанциями (что необходимо для корректного определения эпицентра) землетрясений, начиная с представительной магнитуды $M_{\min}=3.0$. Исключения составляют центральная часть Охотского и северная часть Японского морей, район Средних Курильских островов и приграничная часть Приамурья, где представительной можно считать магнитуду событий $M_{\min}=3.5-4.0$. Благодаря более плотной сети станций, а также доступу к короткопериодным станциям Хоккайдского университета, на части Южных Курил и территории Сахалинского региона порог уверенной регистрации составляет $M_{\min}=2.5$.

Методика обработки сейсмологических данных не изменилась по сравнению с предыдущим периодом. Границы регионов также остались прежними [8].

Классификация коровых землетрясений Приамурья и Приморья проводилась по энергетическому классу K_p Т.Г. Раутиан [9] с пересчетом в магнитуду по формуле:

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

Энергия коровых землетрясений Приамурья и Приморья оценивалась по формуле Т.Г. Раутиан [10]:

$$E=10^{K_p} \text{ (Дж)}. \quad (2)$$

Классификация землетрясений, регистрируемых локальной сетью Южного Сахалина (Прил. SH2), также осуществлялась по энергетическому классу K_p шкалы Т.Г. Раутиан [9] с помощью номограммы [11] с переходом к расчетной магнитуде M^p .

Для остальных землетрясений Сахалинского и Курило-Охотского регионов определялся по возможности энергетический класс K_c С.Л. Соловьёва [12] или, для Сахалинского региона, если не было данных для его определения, класс K_p . Для землетрясений Сахалинского, Курило-Охотского регионов и глубокофокусных землетрясений Приамурья и Приморья определялись по возможности магнитуды MLH , MPV , MSH по имеющимся велоси- и акселерограммам в эмуляции записи среднепериодного сейсмометра СКД [13] и $MPVA$, $MSHA$ – по эмуляции записи короткопериодного сейсмометра СКМ-3 [13, 14]. Для отдельных землетрясений зоны ответственности филиала методом инверсии волновых форм [15, 16] рассчитаны тензор сейсмического момента центра и моментная магнитуда M_w рег (Прил. PR3, SH4, KL4).

Переход к расчетной магнитуде M^p осуществлялся с применением формул из [17, 18] в порядке приоритета сверху вниз:

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

$$M^p=M_w \text{ рег};$$

$$M^p=MLH;$$

$$M^p=(K_c-1.2)/2;$$

$$M^p=(K_p-4)/1.8;$$

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

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

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

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

для событий с глубиной $h > 80$ км:

$$M^p=M_w \text{ рег};$$

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

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

$$M^p=(K_c-1.2)/2;$$

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

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

Для землетрясений Сахалинского, Курило-Охотского регионов и глубокофокусных землетрясений Приамурья и Приморья расчет сейсмической энергии осуществлялся по формуле Гутенберга-Рихтера [19]:

$$\text{Lg}(E, \text{ Дж})=4.8+1.5 \cdot M^p \quad (3)$$

Сейсмичность зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН. В каталоги землетрясений зоны ответственности Сахалинского филиала за 2020 г. внесены параметры 2038 землетрясений (Прил. PR2, SH3, KL2), общая карта эпицентров приведена на рис. 1.

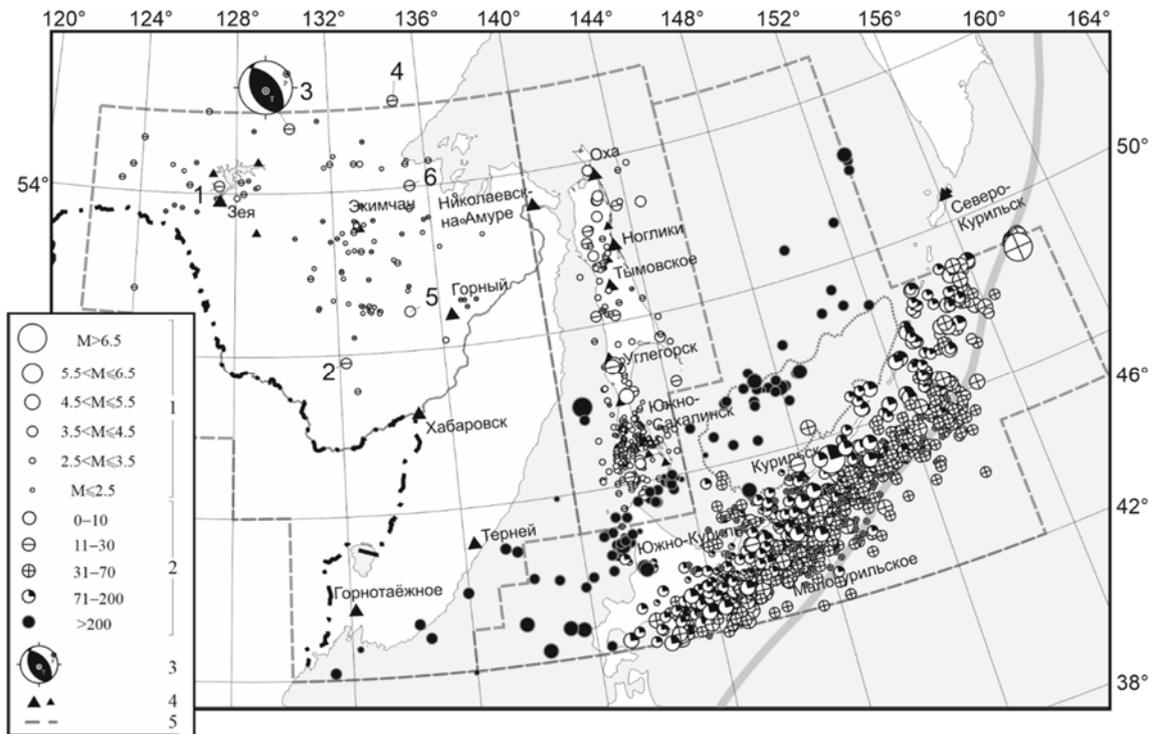


Рис. 1. Эпицентры землетрясений Приамурья и Приморья, Сахалинского и Курило-Охотского регионов в 2020 г.

1 – магнитуа M^P ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – стереограмма механизма очага в проекции на нижнюю полусферу, зачернены области сжатия; 4 – сейсмические станции; 5 – граница регионов зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН. Нумерация землетрясений соответствует каталогу Приамурья и Приморья.

Макросейсмический эффект зарегистрирован от 65 землетрясений с эпицентрами на территории трех регионов: от трех – в Приамурье (максимальная интенсивность $I_{\max}=4$ балла), 13 – в Сахалинском регионе ($I_{\max}=5-6$ баллов), 49 – на Курильских островах ($I_{\max}=5-6$ баллов) (Прил. PR6, SH7, KL6). Для 43 землетрясений методом инверсии волновых форм [14, 15] рассчитаны тензор сейсмического момента центра и моментная магнитуа M_w рег.

Каталог землетрясений **региона Приамурье и Приморье** за 2020 г. (Прил. PR2) содержит основные параметры 117 сейсмических событий, из них 92 землетрясения с очагами в земной коре, девять глубокофокусных, 16 событий отнесено к категории «возможно взрыв». По трем событиям получены макросейсмические данные (Прил. PR4).

Эпицентры всех мелкофокусных ($h=0-22$ км) землетрясений (и взрывов) расположены в центральной и северной частях региона, магнитуа землетрясений каталога находится в диапазоне $M^P=0.8-4.9$.

Наиболее сильное коровое землетрясение с эпицентром на территории региона в 2020 г. (3 на рис. 1) – событие 28 февраля в 23^h09^m UTC ($K_p=12.9$; M_w рег=4.7; $h=12$ км). Очаговая область землетрясения находится вблизи Станового хребта в слабозаселенной части Зейского района Амурской области. В г. Зeya (282 км) и пос. Горный (157 км) землетрясение ощущалось с интенсивностью в 2 балла, в пос. Верхнезейск (153 км) – 2–3 балла. Согласно решению механизма очага взбросового типа, землетрясение произошло в условиях ЮЗ–СВ горизонтального сжатия.

Максимальная интенсивность сотрясений на территории Приамурья и Приморья в 2020 г. зарегистрирована при землетрясении, произошедшем в районе Зейского водохранилища (1 на рис. 1) 4 февраля в 03^h48^m UTC ($K_p=11.2$; $h=12$ км). Энергия этого землетрясения невелика, однако эпицентр расположен в довольно населенной части Зейского района. Это объясняет относительно высокую зарегистрированную интенсивность сотрясений – до 4 баллов в пос. Береговой (24 км), 3 балла в пос. Кировский (35 км), Золотая Гора (45 км), г. Зeya (49 км).

На рис. 2 показаны изменение ежегодного числа коровых землетрясений региона с $K_p \geq 7.6$ и их суммарная сейсмическая энергия ΣE за период 2000–2020 гг. Можно отметить продолжение снижения числа зарегистрированных землетрясений с $K_p \geq 7.6$ при небольшом увеличении их суммарной сейсмической энергии по сравнению с таковым за предыдущий год.

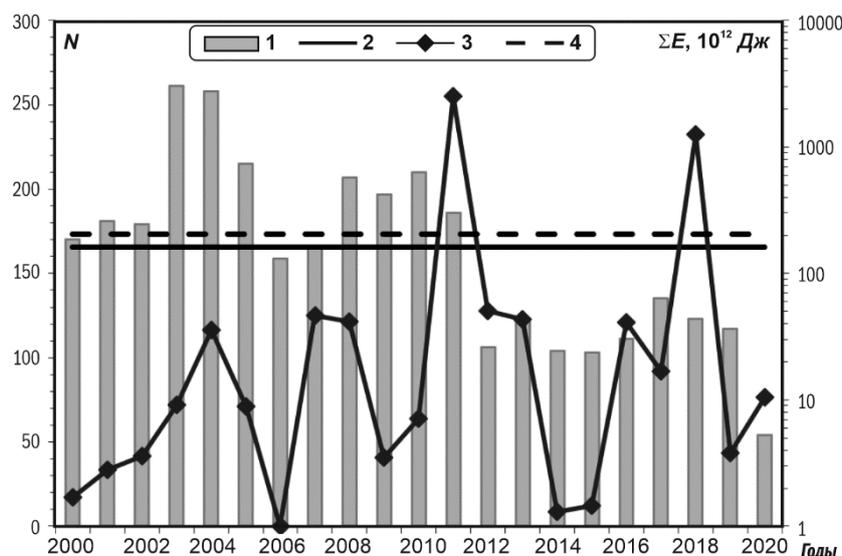


Рис. 2. Изменение ежегодного числа N землетрясений с $K_p \geq 7.6$ и суммарной сейсмической энергии ΣE коровых землетрясений Приамурья и Приморья за период 2000–2020 гг.

1 – N ; 2 – среднегодовое число $N_{ср}$ землетрясений с $K_p \geq 7.6$ за 2000–2019 гг.; 3 – ΣE ; 4 – среднегодовое значение суммарной сейсмической энергии $\Sigma E_{ср}$ за 2000–2019 гг.

Ход сейсмического процесса в регионе характеризует график Бенъоффа [20] на рис. 3, где для сравнения приведены данные за 2020 г. и предыдущие два года. Энергия коровых землетрясений оценивалась по формуле Раутиан (2), глубокофокусных – по формуле Гутенберга-Рихтера (3). Стрелками показаны отдельные землетрясения 2018–2020 гг.

Наибольшую ступень на графике за три последних года по-прежнему образует сильное событие 7 июля 2018 г. с $M^P=5.6$, произошедшее в северной части региона и ставшее вторым сильнейшим коровым землетрясением на территории Приамурья за десятилетие (после Сковородинского землетрясения 14.10.2011 г. с $M^P=6.2$ [21]) и входящее в десять сильнейших известных событий за весь период наблюдений, начиная с 1864 года. На этом фоне заметную ступень на графике создают только события с магнитудой $M^P \geq 3.8$.

Наиболее заметным на графике событием 2020 г. является упомянутое выше землетрясение 28 февраля в 23^h09^m UTC с $M^P=4.9$. Также несколько выделяется событие 24 апреля 11^h35^m UTC ($M^P=4.4$; $h=18$ км), эпицентр которого находится за северной границей региона (4 на рис. 1), однако его параметры включены в каталог. В июле и начале августа произошло несколько глубокофокусных землетрясений с эпицентрами в южной части региона, которые выделяются суммарной ступенью на графике, особенно два события 14 и 16 июля. Остальные землетрясения каталога незначительно выделяются над уровнем фоновых событий, общий наклон графика остается примерно постоянным.

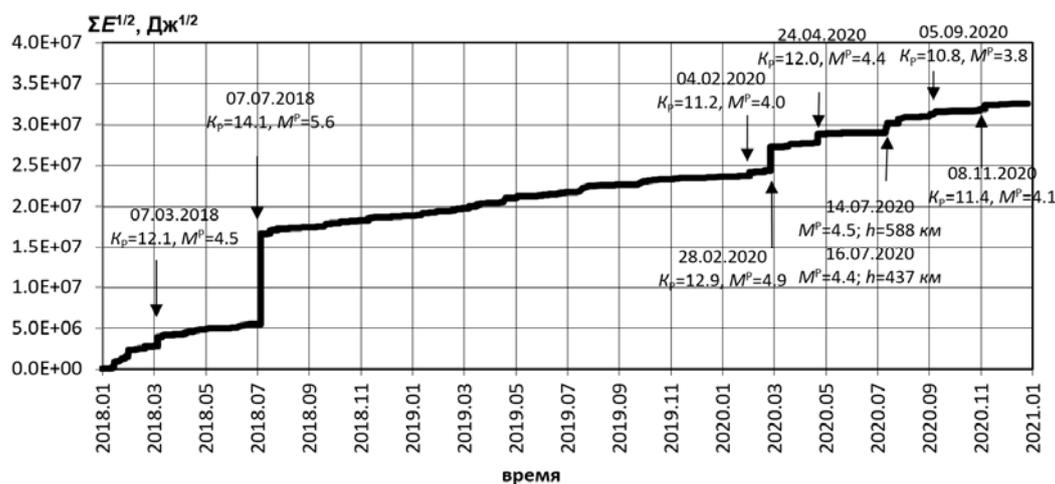


Рис. 3. График Бенъоффа региона Приамурье и Приморье за 2018–2020 гг.

Статистическая оценка уровня сейсмичности «СОУС'09» [22] для 2020 г. приведена в [23, 24]. Коровую сейсмичность региона Приамурье и Приморье за 2020 г. по этому показателю можно отнести к «фоновому среднему» уровню.

В работе [23] отмечен «пониженный фоновый» уровень глубокофокусной сейсмичности в регионе по данным оперативного каталога 2020 г., однако учет еще нескольких умеренно-сильных событий, попавших в окончательный каталог (Прил. PR2), поднимает уровень сейсмичности до 27 процентиля, т.е. в пределы «фонового среднего».

В каталог **Сахалинского региона** 2020 г. (Прил. SH3) включены параметры 349 землетрясений, включая 20 глубокофокусных событий. 36 событий каталога идентифицированы как «взрыв» и при анализе сейсмичности не учитывались.

Макросейсмические проявления зарегистрированы в 12 случаях (Прил. SH6), для трех землетрясений определены механизмы очага (Прил. SH4). Отдельно обзор сейсмичности Южного Сахалина по данным локальной сети приведен в [25].

Большая часть землетрясений региона относится к коровым событиям ($h=1-16$ км), эпицентры вытянуты вдоль основных разломных систем острова в меридиональном направлении (рис. 4). Эпицентры глубокофокусных ($h=303-613$ км) событий, относящихся к продолжению под территорию региона Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны, в основном расположены в южной части региона. Самое глубокое событие ($h=613$ км) произошло ближе к центральной части под Татарским проливом (10 на рис. 4).

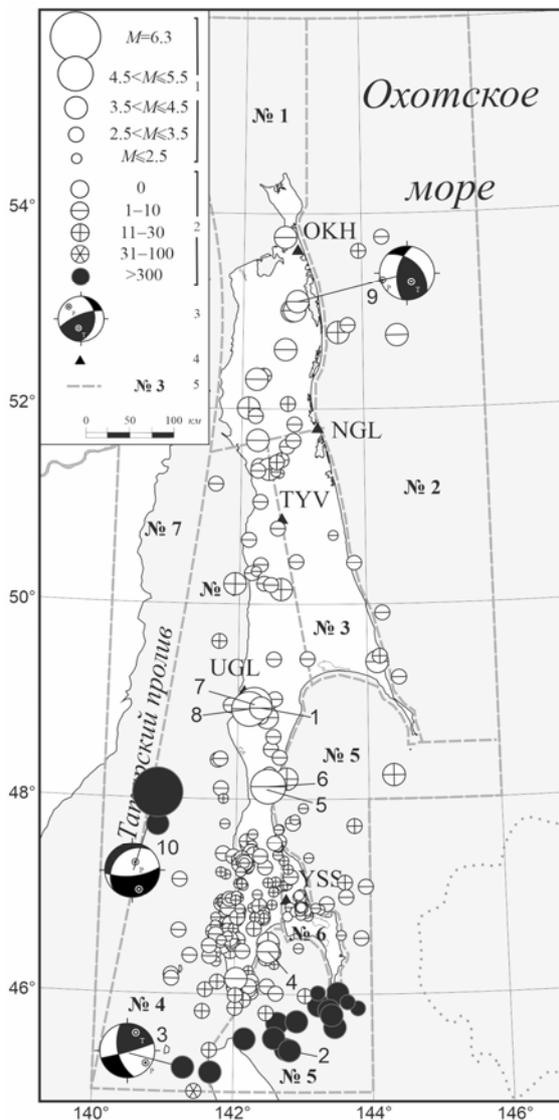


Рис. 4. Землетрясения Сахалинского региона в 2020 г.

1 – магнитуда M^P ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – стереограмма механизма очага в проекции на нижнюю полу-сферу, зачернены области сжатия; 4 – сейсмические станции СФ ФИЦ ЕГС РАН; 5 – граница региона и сейсмоактивных районов, номера сейсмоактивных районов. Нумерация землетрясений соответствует каталогу Сахалинского региона (Прил. SH3).

Наиболее значительная сейсмическая активизация в земной коре региона произошла в Углегорском районе Сахалинской области. Здесь 13 сентября зарегистрированы два близких землетрясения: в 13^h42^m UTC с $MLH=4.9$; $h=10$ км (7 на рис. 4) и в 14^h09^m UTC с $MLH=4.7$; $h=10$ км. (8 на рис. 4). В последующие три дня в эпицентральной области этих землетрясений были зафиксированы повторные толчки. Первое из этих землетрясений произвело максимальный макросейсмический эффект в регионе в этом году: интенсивность сотрясений достигала 5–6 баллов в с. Никольское (10 км), 5 баллов в пос. Краснополье (5 км), Медвежье (8 км), 4–5 баллов в г. Углегорск (19 км). Поскольку эпицентры землетрясений находятся вблизи активно эксплуатируемого Солнцевского угольного разреза, где в 2019–2020 гг. зарегистрирована значительная активизация буровзрывных работ [26], выдвигались предположения о техногенной природе этих событий. Детальная информация опубликована в статьях [27, 28].

Согласно данным агентства GCMТ (Прил. SH5), механизм очага события 7 –

взбросо-сдвигового типа, очаг сформировался в условиях субмеридионального сжатия и близгоризонтального субширотного растяжения.

Самое сильное по магнитуде ($M_w \text{рег}=6.3$) в 2020 г. землетрясение в Сахалинском регионе произошло 30 ноября в 22^h54^m UTC на глубине $h=613$ км (10 на рис. 4). Эпицентр находился в центральной части Татарского пролива примерно на широте перешейка Поясок. Несмотря на большую глубину гипоцентра, почти предельную для землетрясений Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны, землетрясение ощущалось на поверхности. Макросейсмический эффект зафиксирован во многих населенных пунктах южной части о. Сахалин: до 3 баллов в г. Томари (99 км), с. Синегорск (162 км), Троицкое (186 км), а также к западу от Татарского прол.: г. Советская Гавань (108 км) – 3 балла. Механизм очага землетрясения классифицируется как взрез либо пологий сброс с субвертикальной плоскостью широтного и субгоризонтальной плоскостью юго-западного простирания (Прил. SH4). Землетрясение произошло в условиях сжатия субдущирующей плиты, ось которого ориентирована примерно вдоль направления ее падения.

На рис. 5 показано изменение ежегодного числа мелкофокусных землетрясений региона с $M^p \geq 3.0$ и их суммарная сейсмическая энергия за период 2001–2020 гг. Как видно из диаграммы, количество землетрясений и величина суммарной сейсмической энергии в 2020 г. находятся на уровне последних лет, существенно ниже средних значений за весь предшествующий период.

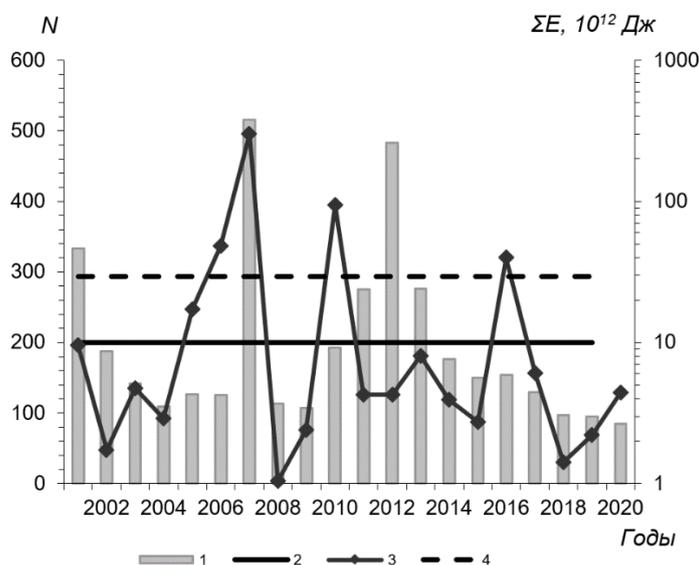


Рис. 5. Изменение ежегодного числа N землетрясений с $M^p \geq 3.0$ и суммарной сейсмической энергии ΣE мелкофокусных землетрясений Сахалина за период 2001–2020 гг.

1 – N ; 2 – среднегодовое число $N_{\text{ср}}$ землетрясений с $M^p \geq 3.0$ за 2001–2019 гг.; 3 – ΣE ; 4 – среднегодовое значение суммарной сейсмической энергии $\Sigma E_{\text{ср}}$ за 2001–2019 гг.

На рис. 6 представлен график Беньоффа, характеризующий ход сейсмического процесса в Сахалинском регионе в течение 2018–2020 гг. Как видно из графика, сильнейшим с 2018 г. событием региона является глубокофокусное землетрясение 30 ноября в 22^h54^m UTC с $M^p=6.3$. Это редкое для региона Сахалин событие с глубиной более 500 км. За время наблюдений с 1900 г. в области землетрясения 30 ноября 2020 г. произошло еще три таких события – 12.05.1990 г. ($M=6.5$, $h=614$ км), 11.11.2002 г. ($M=5.3$, $h=605$ км) и 14.01.2015 г. ($M=5$, $h=585$ км) [4]. Землетрясению в Татарском проливе 30 ноября посвящена отдельная статья в наст. журнале [29].

Небольшой ступенью на уровне фоновой сейсмичности выделяются упомянутые выше события 13 сентября в 13^h42^m и 14^h09^m UTC, а также землетрясение 2 июля в 13^h48^m UTC ($M^p=4.6$, $h=3$ км), эпицентр которого расположен в районе перешейка Поясок, что является редким случаем для этого слабосейсмичного района острова.

Наклон графика Беньоффа весной 2020 г. несколько уменьшился, однако вернулся к прежнему уровню после событий 13 сентября.

Функция распределения сейсмической энергии землетрясений Сахалинского региона по данным каталога 2020 г. приведена в [23, 24], уровень сейсмичности региона в 2020 г. по методике «СОУС’09» [22] отнесен в [23] к категории «фоновый повышенный», однако, как показано в [24], это относится к мантийной сейсмичности, в то время как уровень коровой можно охарактеризовать как «фоновый средний».

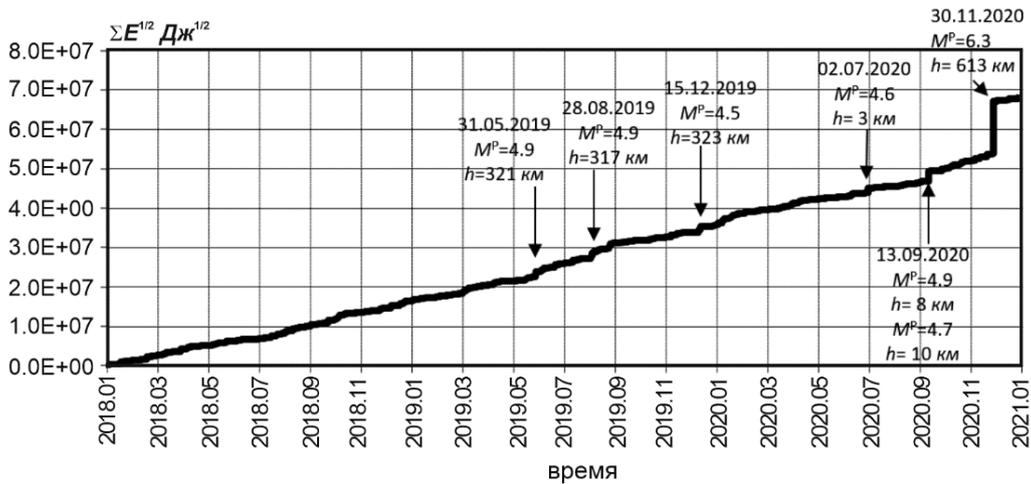


Рис. 6. График Беньюфа землетрясений Сахалинского региона за 2018–2020 гг.

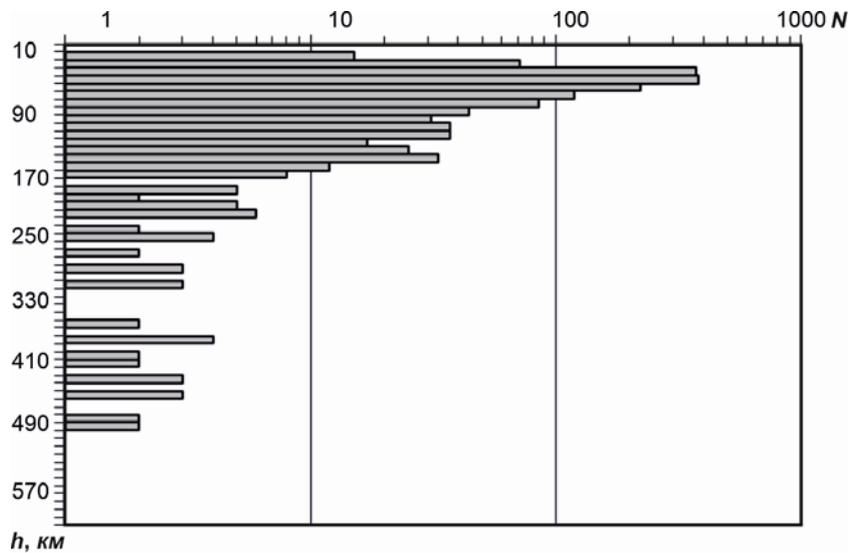


Рис. 7. Распределение землетрясений Курило-Охотского региона в 2020 г. по глубине гипоцентра h , км

В региональный каталог **Курило-Охотского региона** (Прил. KL2) включены параметры 1572 землетрясений с $M^p=2.5-7.5$. Распределение событий по глубине: 1180 землетрясений (75.1 %) в верхнем глубинном интервале $h \leq 70$ км, 360 (22.9 %) – в промежуточном слое $h=71-300$ км, 32 события (2.0 %) глубокофокусные $h > 300$ км. Детально распределение событий по глубине представлено на рис. 7.

Сведения о макросейсмическом эффекте 49 землетрясений с эпицентрами в Курило-Охотском регионе приведены в (Прил. KL6). Максимальная интенсивность в 5–6 баллов по шкале MSK-64 [30] наблюдалась для двух событий.

Для 39 событий региона было получено решение тензора сейсмического момента центра (Прил. KL4).

На рис. 8 приведены эпицентры и механизмы очагов землетрясений Курило-Охотского региона в 2020 году. Большая часть эпицентров зарегистрированных событий располагается вдоль северо-западного склона Курило-Камчатского глубоководного желоба напротив Южных Курил, что отвечает как высокой сейсмичности этого района, так и лучшим регистрационным возможностям региональной сейсмологической сети. В каталоге землетрясений Международного Сейсмологического центра ISC [4] присутствуют еще 79 событий Курило-Охотского региона в диапазоне магнитуд $m_b=2.7-4.3$, которые не были зарегистрированы сетью Сахалинского филиала. Эпицентры пропущенных землетрясений располагаются в основном в районе Средних Курил, в акватории Охотского моря, а также восточнее о. Хоккайдо.

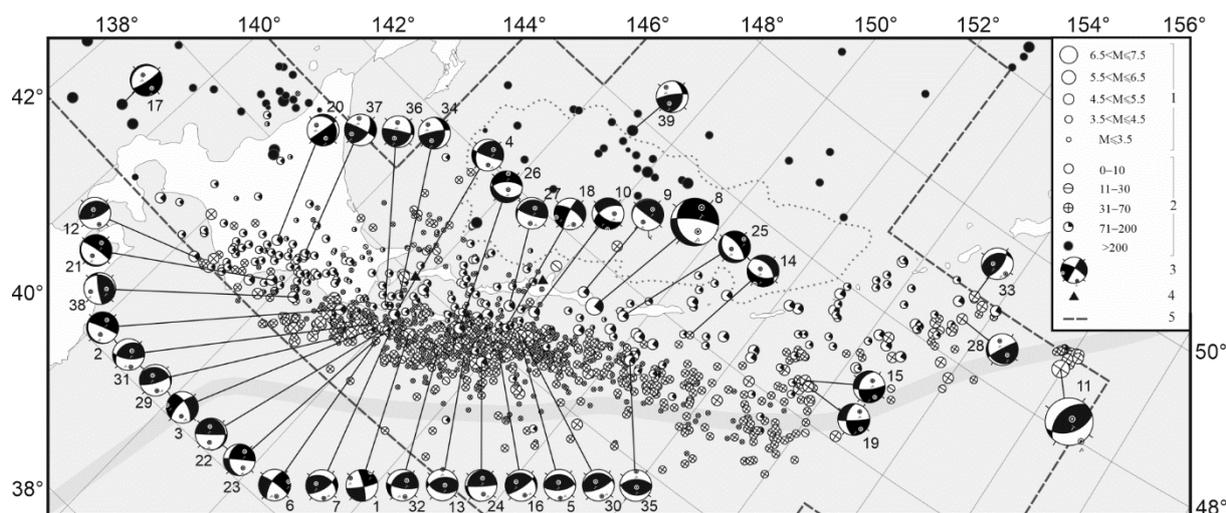


Рис. 8. Эпицентры и механизмы очагов землетрясений Курило-Охотского региона в 2020 г.

1 – магнитуда M^P ; 2 – глубина h гипоцентра, км; 3 – стереограмма механизма очага в проекции на нижнюю полусферу, зачернены области сжатия; 4 – сейсмические станции СФ ФИЦ ЕГС РАН; 5 – граница региона. Нумерация землетрясений соответствует каталогу Курило-Охотского региона (Прил. KL2).

Сильнейшее (11 на рис. 8) за последнее десятилетие землетрясение ($M_w \text{ рег}=7.5$, $MLH=7.5$) с эпицентром в Курило-Охотском регионе в пределах зоны ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН, получившее название Парамуширское, произошло 25 марта в 02^h49^m UTC. Гипоцентр расположен под юго-восточным склоном Курильского глубоководного желоба напротив Северных Курил на глубине $h=60$ км, что является редким случаем для землетрясений в данном районе. Событие ощущалось на территории Сахалинской области вдоль всей Курильской островной дуги с интенсивностью до 5–6 баллов в г. Северо-Курильске, в г. Петропавловске-Камчатском ощущались сотрясения с интенсивностью 4–5 баллов. Механизм очага землетрясения – взбросовый, нодальные плоскости ориентированы вдоль островной дуги. В течение года, по данным СФ, в очаговой области землетрясения зарегистрировано несколько десятков афтершоков, магнитуда самых сильных не превысила $MLH=5.0$. Афтершоки также вызывали ощутимые колебания в г. Северо-Курильске с интенсивностью до 3–4 баллов. Необходимо отметить, что событие произошло на границе зоны ответственности Сахалинского и Камчатского филиалов ФИЦ ЕГС РАН, так что часть афтершоков с севера очаговой зоны не вошла в каталог Сахалинского филиала. Землетрясение вызвало большой интерес у исследователей [31, 32, 33 и др.]. В данном издании присутствует отдельная статья по этому сейсмическому событию [34]. Землетрясение 25 марта стало самым сильным внутриплитовым событием на изгибе Тихоокеанской плиты в Курило-Камчатской зоне субдукции с известным механизмом очага, сформировавшимся в его нижней части в условиях субгоризонтального сжатия.

Еще одно сильное ($M_w \text{ рег}=6.9$) землетрясение произошло 13 февраля в 10^h33^m UTC в районе Южных Курил с эпицентром между островами Итуруп и Уруп на глубине $h=142$ км. Землетрясение ощущалось во всех населенных пунктах Южно-Курильского и Курильского районов с интенсивностью сотрясений до 5–6 баллов в пос. Горячие Ключи (107 км), Горный (126 км), Малокурильское (244 км) и Крабовоздовское (252 км). Механизм очага классифицируется как взрез либо пологий сброс, субвертикальная нодальная плоскость ориентирована вдоль островной дуги, субгоризонтальная падает на юг. Согласно ориентации оси растяжения T , очаг сформировался в условиях геодинамического состояния растяжения (минимального девиаторного сжатия) субдуцирующей Тихоокеанской плиты в направлении ее падения. Землетрясение является внутриплитовым и одним из сильнейших в диапазоне промежуточных глубин ($h=70$ –300 км) в Курило-Охотском регионе. Оно произошло в нижнем слое двойной сейсмофокальной зоны, сформированной обратным изгибом Тихоокеанской плиты. Подробная информация о землетрясении изложена в публикации [35], а также в отдельной статье данного издания [36].

На рис. 9 показано изменение ежегодного числа землетрясений региона с $M^P \geq 4.3$ и их суммарной сейсмической энергии в 2001–2020 гг.

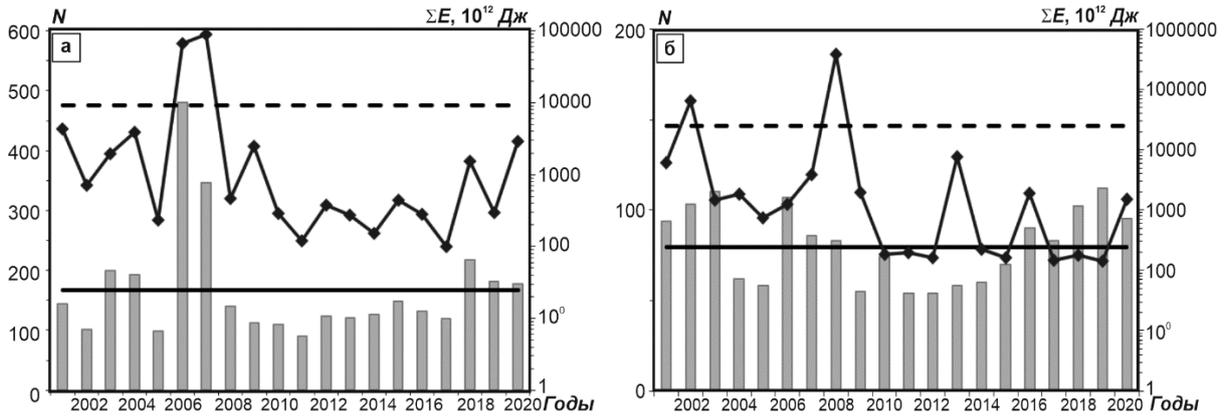


Рис. 9. Распределение числа землетрясений с $M^P \geq 4.3$ с $h \leq 80$ км (а) и $h > 80$ км (б) и величины суммарной сейсмической энергии ΣE Курило-Охотского региона за 2001–2020 гг.

Условные обозначения как на рис. 5.

Число землетрясений с магнитудой $M^P \geq 4.3$ в 2020 г. зарегистрировано примерно на уровне предыдущих лет, несколько выше среднего количества за двадцатилетие. Суммарная сейсмическая энергия этих событий как в верхнем глубинном диапазоне, так и в нижнем, оказалась несколько выше уровня предыдущих лет, хотя и не достигла среднего уровня, определяемого сильнейшими землетрясениями 2006–2008 гг.

На рис. 10 представлен график Бенъоффа, характеризующий ход сейсмического процесса в Курило-Охотском регионе в течение 2018–2020 гг. Примерно одинаковый наклон графика может свидетельствовать об отсутствии областей затишья или активизации перед сейсмическими событиями регионального масштаба. На общем уровне явно выделяются два описанных выше события, 13 февраля с $M^P = 6.9$ и 25 марта с $M^P = 7.5$. Остальные землетрясения региона в 2020 г. с $M^P \leq 5.5$ можно отнести к фоновой сейсмичности.

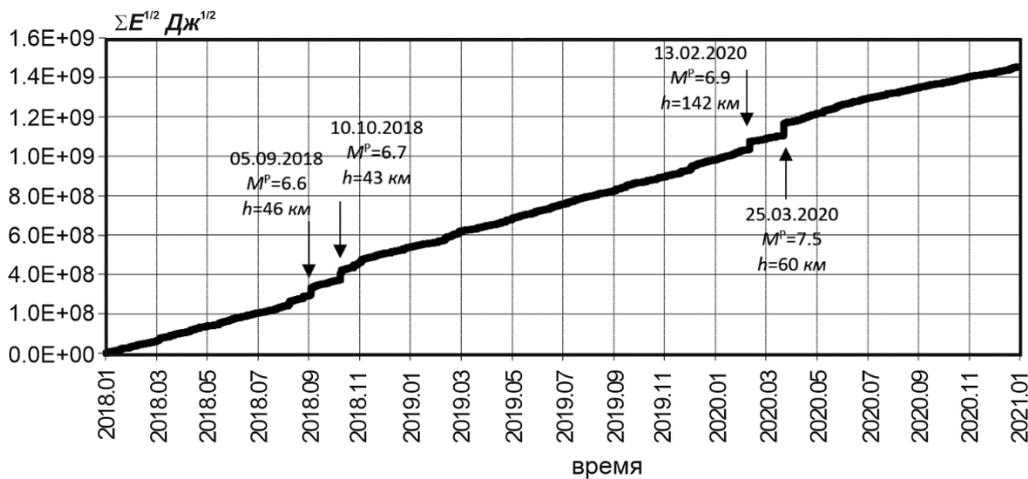


Рис. 10. График Бенъоффа для землетрясений Курило-Охотского региона за 2018–2019 гг.

Функция распределения сейсмической энергии «СОУС’09» [22] Курило-Охотского региона по данным [23, 24], несмотря на два относительно сильные события, не выходит за пределы «фоновое среднего» уровня.

Заключение. В 2020 г. в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН наблюдалась некоторая сейсмическая активизация в районе северной и южной частей Курильской островной дуги, где произошло два редких сильных внутриплитовых землетрясения в пределах Тихоокеанской плиты в нижней части зоны ее изгиба до и после контакта с Охотской плитой. Изучение этих событий может внести вклад в понимание субдукционных процессов.

В Сахалинском регионе можно отметить двойное событие в Углегорском районе, имеющее, согласно публикациям, признаки техногенной природы. Можно подчеркнуть важность

сейсмического мониторинга районов добычи полезных ископаемых, включая угольные разрезы, для выявления влияния их разработки на региональную сейсмичность. Также в 2020 г. в Татарском проливе произошло редкое сильное сверхглубокофокусное землетрясение с гипоцентром в нижней части средней мантии, ощущавшееся на поверхности.

Сейсмичность Сахалинского региона в 2020 г. оказалась на несколько повышенном уровне, главным образом, за счет глубокофокусного землетрясения, относящегося к продолжению под территорию региона Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны.

Сейсмичность Приамурья и Приморья продолжает оставаться относительно низкой, но в пределах «среднего» уровня значений функции распределения сейсмической энергии. Уровень сейсмичности Курило-Охотского региона в 2020 г. оказался самым высоким за последние несколько лет (с 2013 г.), однако продолжает оставаться в пределах среднего фонового уровня сейсмичности. Исходя из полученных решений механизмов очага и положения гипоцентров, большинство землетрясений, включая два крупнейших в этом году, относятся к зоне субдукции и являются следствием погружения Тихоокеанской литосферной плиты под Охотскую.

Исследование выполнено в рамках государственного финансирования Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № 075-00682-24) 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., Величко Л.Ф., Дорошкевич Е.Н., Карташова О.Л., Костылев Д.В., Лукаш Н.А., Лысенко Т.Н., Михайлов В.И., Пиневиц М.В., Пойгина С.Г., Сафонов Д.А., Фокина Т.А., Швидская С.В.

Электронные приложения (<http://www.gsras.ru/zse/app-27.html>): App08_Priamurye_Primorye_2020: PR1 – Сейсмические станции Приамурья и Приморья в 2020 г.; PR2 – Каталог землетрясений и взрывов Приамурья и Приморья за 2020 г.; PR3 – Каталог механизмов очагов землетрясений Приамурья и Приморья за 2020 г.; PR4 – Макросейсмический эффект землетрясений Приамурья и Приморья в населенных пунктах в –2020 г.; PR5 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях землетрясений Приморья и Приамурья за 2020 год. App09_Sakhalin_2020: SH1 – Стационарные сейсмические станции и сеть цунами Сахалина в 2020 г.; SH2 – Локальная сеть сейсмических станций Сахалина в 2020 г.; SH3 – Каталог землетрясений и взрывов Сахалина за 2020 г.; SH4 – Каталог механизмов очагов землетрясений Сахалина за 2020 г.; SH5 – Дополнение к каталогу механизмов очагов землетрясений Сахалина за 2020 г.; SH6 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Сахалина в 2020 г.; SH7 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях землетрясений Сахалина за 2020 год.

Л и т е р а т у р а

1. 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
2. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2020. (2024) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2020
3. Japan Meteorological Agency. (2024). – URL: <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
4. International Seismological Centre. (2024). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
5. National Earthquake Data Center. (2024). – URL: <http://data.earthquake.cn/index.html>
6. Маловичко А.А., Коломиец М.В., Рузайкин А.И. Сейсмичность России в 2020 году // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2021. – № 5. – С. 22–33. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869780921040068>
7. Костылев Д.В. Формирование единой системы сбора сейсмологической информации в Сахалинском филиале ФИЦ ЕГС РАН // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 1. – С. 41–53. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.03>
8. Границы каталогов для регионов и территорий Северной Евразии в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 378.
9. 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.

10. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
11. 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.
12. Соловьёв С.Л., Соловьёва О.Н. Соотношение между энергетическим классом и магнитудой Курильских землетрясений // Физика Земли. – 1967. – № 2. – С. 13–23.
13. 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.
14. 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.
15. Sokos E., Zahradnik J. Evaluating Centroid Moment Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software // Seismological Research Letters. – 2013. – V. 84. – P. 656–665.
16. Сафонов Д.А., Коновалов А.В. Использование программы ISOLA для определения тензора сейсмического момента землетрясений Курило-Охотского и Сахалинского регионов // Тихоокеанская геология. – 2017. – Т. 36, № 3. – С. 102–112.
17. 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.
18. Соловьёва О.Н., Соловьёв С.Л. Новые данные о динамике сейсмических волн неглубокофокусных Курило-Камчатских землетрясений // Проблемы цунами. – М.: Наука, 1968. – С. 75–97.
19. Гутенберг Б., Рихтер К.Ф. Магнитуда, интенсивность, энергия и ускорение как параметры землетрясений (II) // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 72–119.
20. Benioff H. Earthquakes and rock creep // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1951. – V. 41, N 1. – P. 31–62.
21. Ханчук А.И., Сафонов Д.А., Радзиминович Я.Б., Коваленко Н.С., Коновалов А.В., Шестаков Н.В., Быков В.Г., Серов М.А., Сорокин А.А. Сильнейшее современное землетрясение в Верхнем Приамурье 14 октября 2011 г.: первые результаты комплексного исследования // Доклады академии наук. – 2012. – Т. 445, № 3. – С. 338–341.
22. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
23. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.В. Оценка уровня сейсмической активности регионов России // Землетрясения России в 2020 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 85–91.
24. Сафонов Д.А., Фокина Т.А. Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2020 году // Геосистемы переходных зон. – 2021. – Т. 5, № 4. – С. 308–319. DOI: <https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.4.308-319>
25. Михайлов В.И., Семенова Е.П. Юг о. Сахалин // Землетрясения России в 2020 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 108–112.
26. Kostyleva N., Kostylev D. Catalog of industrial explosions in the coal mining area on Sakhalin Island (Russia) for 2019–2022. ISC Seismological Dataset Repository. (2024). – URL: <https://doi.org/10.31905/PCCATG12>
27. Семенова Е.П., Богинская Н.В., Костылев Д.В. Углегорское землетрясение 13 сентября 2020 года (о. Сахалин): предпосылки возникновения и результаты наблюдений в эпицентральной зоне // Геосистемы переходных зон. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 474–485. DOI: <https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.4.474-485>
28. Kostylev D.V., Boginskaya N.V., Zakupin A.S. Seismic Activity in the Focus of the Uglegorsk Earthquakes, Sakhalin Island, Related to Intensive Development of Coal Deposits // Pure and Applied Geophysics. – 2022. – V. 179, N 11. – P. 4221–4232. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02933-6>
29. Семенова Е.П., Костылев Д.В., Костылева Н.В. Глубокофокусное землетрясение 30 ноября 2020 г. в Татарском проливе $M_w=6.4$ (о. Сахалин) // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020 г.). – С. 323–334. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.29> EDN: VHNXIF
30. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
31. Ye L., Lay T., Kanamori H. The 25 March 2020 M_w 7.5 Paramushir, northern Kuril Islands earthquake and major ($M_w \geq 7.0$) near-trench intraplate compressional faulting Earth and Planetary Science Letters. – 2021. – V. 556. – P. 116728. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116728>

32. Prytkov A.S., Vasilenko N.F. The March 25, 2020 M_w 7.5 Paramushir earthquake and its impact on recent geodynamics of the adjacent section of the Kuril-Kamchatka subduction zone // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2022. – V. 13, N 3. – P. 8. DOI: <https://doi.org/10.5800/gt-2022-13-3-0641>
33. Чебров Д.В., Абубакиров И.Р., Губанова А.А., Глухов В.Е., Ландер А.В., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Салтыков В.А., Сеньюков С.Л., Титков Н.Н. Парамуширское землетрясение 25 марта 2020 г. $M_w=7.4$ // *Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле*. – 2023. – № 2. – С. 49–66.
34. Чебров Д.В., Матвеев Е.А., Абубакиров И.Р., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Раевская А.А., Ромашева Е.И., Салтыков В.А., Сеньюков С.Л. Землетрясение 25 марта 2020 г. $M_w=7.4$ // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2024. – Вып. 27 (2020 г.). – С. 289–300. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.26> EDN: RZVNFO
35. Safonov D.A. The Earthquake of February 13, 2020, $M=7.0$ and Seismotectonic Conditions at Intermediate Depths of the Southern Kuril Islands // *Pure and Applied Geophysics*. – 2022. – V. 179. – № 11. – С. 4147–4162.
36. Сафонов Д.А., Семёнова Е.П. Землетрясение 13 февраля 2020 г., $M=6.9$ (пролив Фриза, Курильские острова) // *Землетрясения Северной Евразии*. – 2024. – Вып. 27 (2020 г.). – С. 323–334. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.29> EDN: VHNXIF

***SEISMICITY of the AMUR and PRIMORYE, SAKHALIN
and the KURIL-OKHOTSK REGION in 2020***

D.A. Safonov¹, T.A. Fokina², D.V. Kostylev^{1,2}

¹*Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk*
²*Sakhalin branch of Geophysical Survey RAS, Yuzhno-Sakhalinsk*

Abstract. A review of the Amur and Primorye, Sakhalin, and the Kuril-Okhotsk region seismicity for 2020 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. Parameters of 2038 seismic events have been determined. Focal mechanisms were calculated for 43 earthquakes, 65 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 ΣE for seismically active areas of three regions are given, in comparison with the average parameters previous years. The significant seismic events are described. The seismicity of the Priamurye and Primorye, Sakhalin, and the Kuril-Okhotsk region in 2020 can be characterized as a moderate one within the background level.

Keywords: earthquake, seismicity, magnitude, seismic energy.

For citation: Safonov, D.A., Fokina, T.A., & Kostylev, D.V. (2024). [Seismicity of the Amur and Primorye, Sakhalin and the Kuril-Okhotsk region in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 148–161. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.13> EDN: GWQRAP

R e f e r e n c e s

1. 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
2. GS RAS. (2024). Bulletin of Teleseismic Stations, 2020. Retrieved from http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2020/
3. Japan Meteorological Agency. (2024). Retrieved from <https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
4. International Seismological Centre. (2024). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
5. National Earthquake Data Center. (2024). Retrieved from <http://data.earthquake.cn/index.html>
6. Malovichko, A.A., Kolomiets, M.V., & Ruzaykin, A.I. (2021) [Seismicity of Russia in 2020]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology], 5, 22–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869780921040068>
7. Kostylev, D.V. (2021). [Formation of a unified system for collecting seismological information in the Sakhalin Branch of GS RAS]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(2): 41–53. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.03>

8. [Catalog boundaries for the regions and territories of Northern Eurasia in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 378. (In Russ.).
9. 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.).
10. 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.).
11. 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.).
12. 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 Earth], 2, 13–23. (In Russ.).
13. *Instruktsiia o poriadke proizvodstva i obrabotki nabliudenii na seismicheskikh stantsiakh 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.).
14. 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.).
15. Sokos, E., & Zahradnik, J. (2013). Evaluating Centroid Moment Tensor Uncertainty in the New Version of ISOLA Software. *Seismological Research Letters*, 84, 656–665.
16. Safonov, D.A., & Konovalov, A.V. (2017) [Moment tensor inversion in the Kuril-Okhotsk and Sakhalin Regions using ISOLA software]. *Tikhookeanskaya geologiya* [Pacific geology], 36(3), 102–112. (In Russ.).
17. 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.).
18. 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.).
19. 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.).
20. Benioff, H. (1951). Earthquakes and rock creep. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 41(1), 31–62.
21. Khanchuk, A.I., Safonov, D.A., Radziminovich, Ya.B., Kovalenko, N.S., Konovalov, A.V., Shestakov, N.V., Bykov, V.G., Serov, M.A., & Sorokin, A.A. (2012). The Largest Recent Earthquake in the Upper Amur Region on October 14, 2011: First Results of Multidisciplinary Study. *Doklady Earth Sciences*, 445(1), 916–919.
22. Saltykov, V.A. (2011). [Statistical estimation of the level of seismic: methodology and application results on the example of Kamchatka]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and seismology], 2, 53–59. (In Russ.).
23. Saltykov, V.A., Kravchenko, N.M., & Poygina, S.G. (2022). [Estimation of the level of seismic activity in Russian regions]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2020 godu* [Earthquakes in Russia, 2020] (pp. 85–91). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
24. Safonov, D.A., & Semenova, E.P. (2021). Seismicity of the South Far East of Russia in 2020. *Geosistemy perekhodnykh zon* [Geosystems of Transition Zones], 5(4), 308–319. (In Russ.).
25. Mikhaylov, V.I., & Semenova, E.P. (2022). [South of Sakhalin]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2020 godu* [Earthquakes in Russia, 2020] (pp. 108–112). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
26. Kostyleva, N., & Kostylev, D. (2023). Catalog of industrial explosions in the coal mining area on Sakhalin

- Island (Russia) for 2019–2022. ISC Seismological Dataset Repository. (2024). Retrieved from <https://doi.org/10.31905/PCCATG12>
27. Semenova, E.P., Boginskaya, N.V., & Kostylev, D.V. (2020). Ulegorsk earthquake on September 13, 2020 (Sakhalin Island): preconditions for the occurrence and the results of observations in the epicentral zone. *Geosistemy perekhodnykh zon* [Geosystems of Transition Zones], 4(4), 474–485. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30730/gtr.2020.4.4.474-485>
 28. Kostylev, D.V., Boginskaya, N.V., & Zakupin, A.S. (2022). Seismic Activity in the Focus of the Ulegorsk Earthquakes, Sakhalin Island, Related to Intensive Development of Coal Deposits. *Pure and Applied Geophysics*, 179(11), 4221–4232. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02933-6>
 29. Semenova, E.P., Kostylev, D.V., & Kostyleva, N.V. (2024). [Deep-focus earthquake on November 30, 2020, in the Tatar strait, $M_w=6.4$ (Sakhalin island)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 323–334. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.29> EDN: VHNXIF
 30. 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.).
 31. Ye, L., Lay, T., & Kanamori, H. (2021). The 25 March 2020 M_w 7.5 Paramushir, northern Kuril Islands earthquake and major ($M_w \geq 7.0$) near-trench intraplate compressional faulting. *Earth and Planetary Science Letters*, 556, 116728. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116728>
 32. Prytkov, A.S., & Vasilenko, N.F. (2022). The March 25, 2020 M_w 7.5 Paramushir earthquake and its impact on recent geodynamics of the adjacent section of the Kuril-Kamchatka subduction zone. *Geodynamics & Tectonophysics*, 13(3), 8. DOI: <https://doi.org/10.5800/gt-2022-13-3-0641>
 33. Chebrov, D.V., Abubakirov, I.R., Gubanova, A.A., Glukhov, V.E., Lander, A.V., Matveenko, E.A., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Saltykov, V.A., Senyukov, S.L., & Titkov, N.N. (2023). The Paramushir $M_w=7.4$ earthquake of March 25, 2020. *Bull. Kamchatka Reg. Assoc. Earth Sci.*, 41(2), 49–66, DOI: <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2023-2-58-49-66>
 34. Chebrov, D.V., Matveenko, E.A., Abubakirov, I.R., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Raevskaya, A.A., Romasheva, E.I., Saltykov, V.A., & Senyukov, S.L. (2024). [Earthquake on March 25, 2020, $M_w=7.4$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 289–300. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.26> EDN: RZVNFO
 35. Safonov, D.A. (2022). The Earthquake of February 13, 2020, $M=7.0$ and Seismotectonic Conditions at Intermediate Depths of the Southern Kuril Islands. *Pure and Applied Geophysics*, 179(11), 4147–4162.
 36. Safonov, D.A., & Semenova, E.P. (2024). [Earthquake on February 13, 2020, $M=6.9$ (Frieze strait, Kuril Islands)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 323–334. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.29> EDN: VHNXIF