

УДК 550.348. (571.66)

СЕЙСМИЧНОСТЬ КАМЧАТКИ и КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ в 2020 году

Д.В. Чебров, Е.А. Матвеев, И.Р. Абубакиров, С.Я. Дрозина, С.В. Митюшкина,
В.М. Павлов, А.А. Раевская, Е.И. Ромашева, В.А. Салтыков

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия, van@emsd.ru

Аннотация. Приведен обзор сейсмичности Камчатки и прилегающих территорий за 2020 год. Представительность каталога землетрясений Камчатки в целом по зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН может оцениваться как $ML_{min}=3.5$ ($K_{min}=8.5$), для Камчатской сейсмоактивной области ($\varphi=50.5-56.5^\circ$ с.ш., $\lambda=156.0-167^\circ$ в.д., глубина до 300 км) – $ML_{min}=3.0$ ($K_{min}=7.5$), а для охотоморских землетрясений, происходящих на глубине нескольких сотен километров, – $ML_{min}=4.1$ ($K_{min}=9.7$). Публикуемый в настоящем выпуске журнала каталог землетрясений 2020 г., зарегистрированных Камчатской региональной сетью, включает 1666 событий с $ML \geq 3.5$, где локальная магнитуа $ML=K_S/2-0.75$. Из них 94 события с $ML=3.5-7.65$ ощущались с интенсивностью I от 1–2 до 6–7 баллов по шкале ШСИ-17 на Камчатке и прилегающих территориях. Для 49 землетрясений с $ML \geq 5.0$ из зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН рассчитаны тензор сейсмического момента, глубина h и длительность эквивалентного точечного источника. Уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» в 2020 г. соответствует высокому. Сильнейшее на Камчатке в 2020 г. землетрясение, названное Парамуширским, произошло 25 марта с $M_w=7.4$.

Ключевые слова: Камчатка, сейсмичность, каталог, землетрясение, механизм очага, макросейсмика, уровень сейсмичности.

Для цитирования: Чебров Д.В., Матвеев Е.А., Абубакиров И.Р., Дрозина С.Я., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Раевская А.А., Ромашева Е.И., Салтыков В.А. Сейсмичность Камчатки и Командорских островов в 2020 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 162–173. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.14>. EDN: HIOXIU

Введение. Регион «Камчатка и Командорские острова» является одним из наиболее сейсмоактивных районов Земли. В статье представлен обзор и анализ сейсмичности Камчатки и Командорских островов в 2020 году. Основой статьи является каталог землетрясений (Прил. 2), который составляется по результатам обработки данных, получаемых сетью сейсмических станций КФ ФИЦ ЕГС РАН (Прил. 1). Для сильных землетрясений рассчитаны механизмы очагов (Прил. 3), для ощутимых событий приводится информация о макросейсмическом эффекте (Прил. 5). Для каждой из десяти сейсмоактивных зон оценивается уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09».

Сеть сейсмических станций. В 2020 г. новых станций установлено не было, но продолжилась работа по модернизации сети сейсмических станций Камчатки [1] (Прил. 1, рис. 1).

На станции «Русская» (RUS) была снята аппаратура с приборами CM-3 и установлен велосиметр Guralp CMG-6TD. На станциях «Козыревск» (KOZ) и «Крутоберегово» (KBG) проведены работы по замене оборудования, установлены велосиметры (Centaur-Nanometrics Trillium TC120-SV1) [2].

Методика обработки. Обработка сигналов сейсмических станций, расчет параметров гипоцентров и энергетических характеристик землетрясений производились при помощи программы DIMAS [3].

Сбор макросейсмических данных осуществлялся с использованием интерактивной анкеты на сайте КФ ФИЦ ЕГС РАН (<https://www.emsd.ru/Isopool/poll.php>), а также путем телефонного опроса респондентов. Оценка макросейсмической интенсивности I осуществлялась с использованием шкалы сейсмической интенсивности ШСИ-17 [4]. Шкала MSK-64 [5], использовавшаяся в Камчатском филиале ранее, является одной из шкал, результатом модернизации которых стала шкала ШСИ-17, вошедшая в национальный стандарт Российской Федерации в 2017 году. Полная методика ШСИ-17 в работу не внедрена, расчет средней оценки реакции категорий-сенсоров не проводится. Для оценки макросейсмических проявлений используются описания реакций категорий-сенсоров на землетрясение и их прочие признаки.

Представительность каталога землетрясений Камчатки в целом по зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН может оцениваться как $ML_{\min}=3.5$ ($K_{\min}=8.5$), для Камчатской сейсмоактивной области ($\varphi=50.5-56.5^\circ$ с.ш., $\lambda=156.0-167^\circ$ в.д., глубина до 300 км) – $ML_{\min}=3.0$ ($K_{\min}=7.5$), а для охотоморских землетрясений, происходящих на глубине нескольких сотен километров – $ML_{\min}=4.1$ ($K_{\min}=9.7$). Как показано в [6], оценка региональной представительности по графику Гутенберга-Рихтера для больших пространственных областей некорректна, поэтому реальная представительность каталога землетрясений Камчатки в 2020 г. может быть оценена путем сканирования сейсмоактивной области ячейками относительно небольшого размера и последующим объединением полученных результатов.

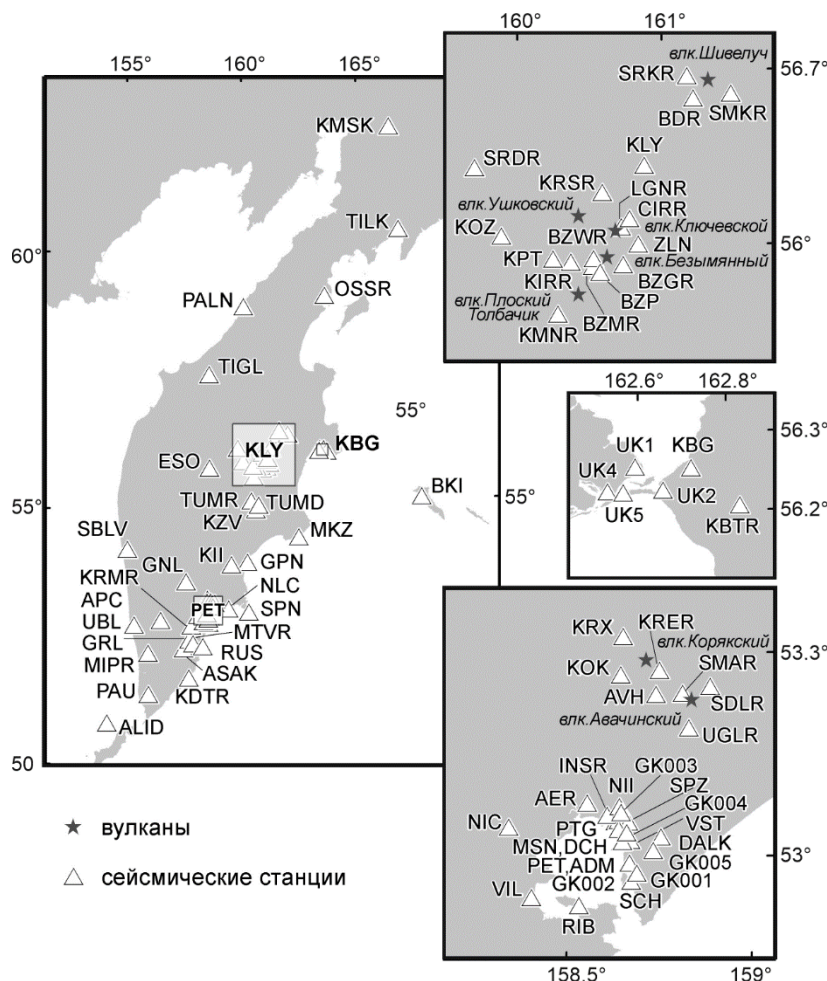


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Камчатки в 2020 г.

На рис. 2 представлена карта представительности каталога землетрясений 2020 г. в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН. Карта построена по результатам сканирования кругами радиусом 100 км с расчетом соответствующего уровня представительности каталога по локальной магнитуде $ML_{\min}$ или по энергетическому классу $K_{\min}$ со статистической значимостью $\alpha=0.3$. Используемый каталог ограничен снизу локальной магнитудой $ML=2.75$ (энергетическим классом $K_s=7.0$), что позволяет отделить вулканические землетрясения, происходящие в локальных областях и зарегистрированные специализированными сейсмометрическими сетями, обеспечивающими локальную представительность, существенно отличающуюся от региональной.

Характеристика исходных данных. Детальный анализ параметров сейсмического режима в 2020 г. представлен в работе [7]. Каталог землетрясений, публикуемый в настоящем выпуске журнала (Прил. 2), включает 1666 событий с $ML \geq 3.5$ ($K_s \geq 8.5$), зарегистрированных Камчатской региональной сетью сейсмических станций. Из них 1540 событий находятся внутри зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН, а 126 – за ее пределами. Анализ сейсмичности в данной статье проводится по землетрясениям внутри зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН, контуры которой показаны на рис. 2.

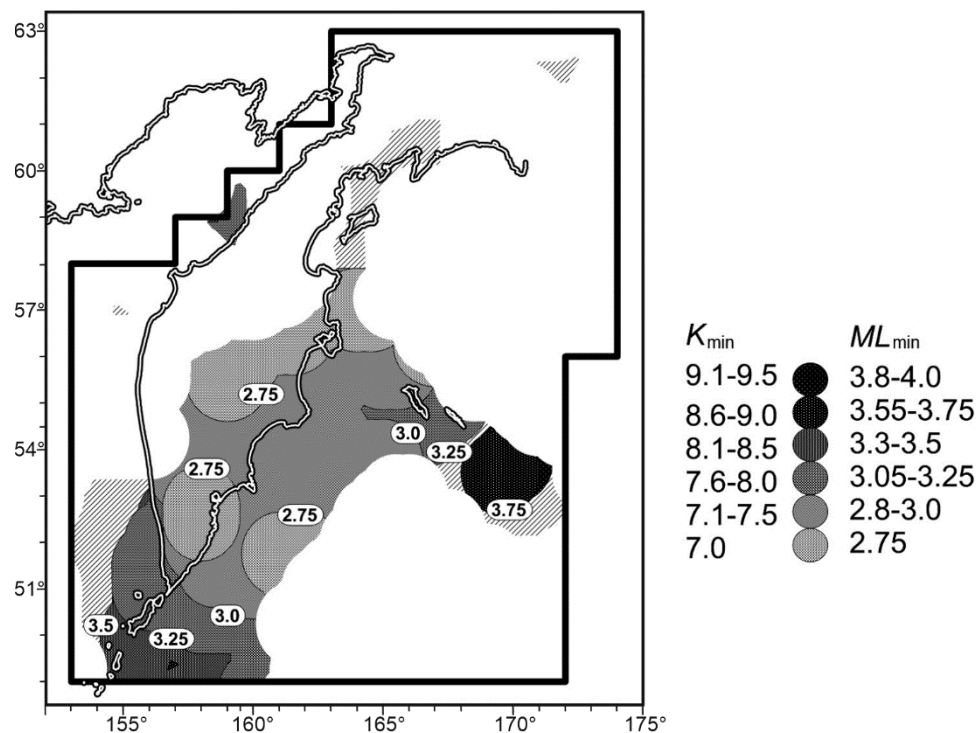


Рис. 2. Карта региональной представительности $K_{\min}$ каталога землетрясений 2020 г. в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН

Незакрашенные области соответствуют отсутствию землетрясений в 2020 году. Косая штриховка обозначает территории, где плотность землетрясений представительной магнитуды не достигла порогового для расчета уровня $N=25$ на единичный круг.

Всего в 2020 г. в зоне ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН определены параметры 6576 землетрясений в энергетическом диапазоне $ML=0.45-7.65$ ($K_S=2.4-16.8$). Распределение числа землетрясений по магнитудам с шагом 0.5 и по энергетическим классам с шагом 1 приведено на рис. 3.

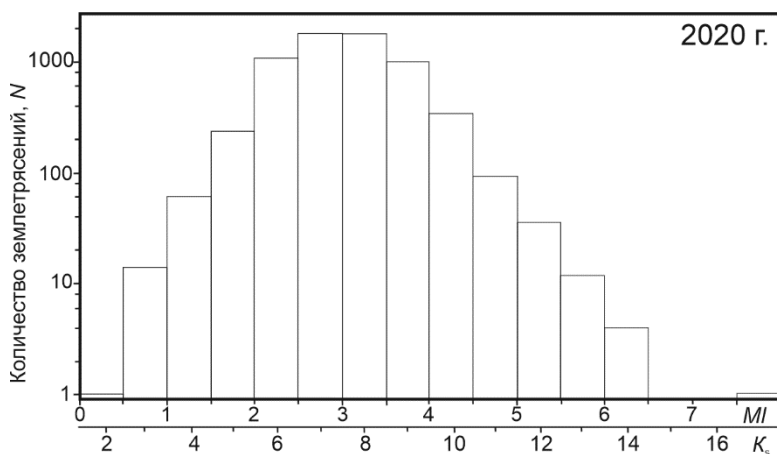


Рис. 3. Распределение числа землетрясений по магнитудам ML и энергетическим классам K_S в 2020 г. для зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН

Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов, включающий землетрясения с $ML \geq 3.5$, доступен через веб-интерфейс Единой информационной системы сейсмологических данных Камчатского филиала (ЕИССД) [8] по адресу <http://sdis.emsd.ru>.

Для получения информации о более слабых событиях необходимо пройти регистрацию в ЕИССД по ссылке <https://sdis.emsd.ru/pers/registration.php> и оформить запрос на расширенный доступ.

Анализ данных. На рис. 4 а представлена карта эпицентров землетрясений с $ML \geq 3.5$ за 2020 год. Вертикальные разрезы поля гипоцентров за 2020 г.: (б) – продольный разрез по линии $B-B'$ и (в) – поперечный разрез по линии $A-A'$. Линии $B-B'$ и $A-A'$ показаны на рис. 4 а. В Камчатском регионе в 2020 г. зафиксировано 60 землетрясений (53 в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН) с $ML \geq 5.0$, они пронумерованы на карте (а) в соответствии с нумерацией в каталоге (Прил. 2).

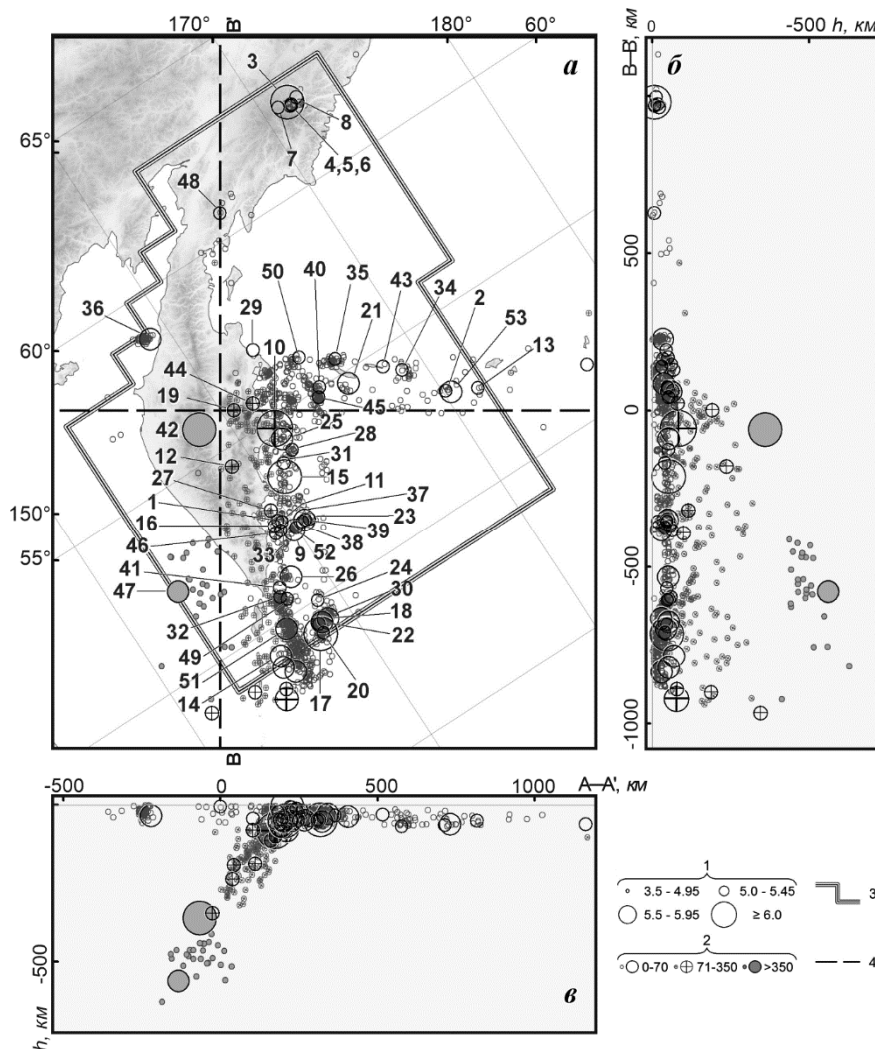


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Камчатки с $ML \geq 3.5$ за 2020 г. (а); проекции гипоцентров землетрясений на вертикальные плоскости разрезов вдоль линий $A-A'$ (в) и $B-B'$ (б)

1 – локальная магнитуда ML ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – граница зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН; 4 – линия вертикального разреза вкост ($A-A'$) и вдоль ($B-B'$) фокальной зоны; числа 1–53 соответствуют номерам землетрясений с $ML \geq 5.0$ ($K_s \geq 11.5$) согласно каталогу (Прил. 2).

Уровень сейсмичности в регионе Камчатки и Командорских островов оценивался исходя из величины функции распределения F для выделившейся в 2020 г. сейсмической энергии. Методика расчета функции распределения F и градации шкалы уровня сейсмичности «СОУС'09» описаны в [9]. В 2020 г. суммарная энергия всех зарегистрированных в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН землетрясений составила $\Sigma E = 6.4 \cdot 10^{16}$ Дж. Функция распределения F выделившейся за год сейсмической энергии построена по данным за 1962–2022 гг. (рис. 5). Для 2020 г. $F = 0.98 \pm 0.02$, что соответствует высокому уровню сейсмичности по шкале «СОУС'09».

На рис. 6 а представлено ежесуточное число N землетрясений с $ML \geq 3.5$ для зоны ответственности Камчатского филиала, а на рис. 6 б – график выделившейся сейсмической энергии за 2020 год.

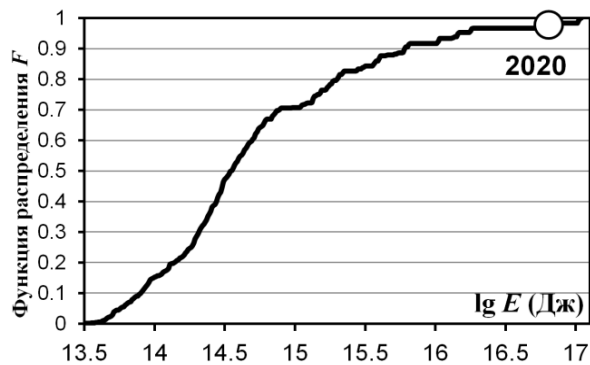


Рис. 5. Функция распределения F годовой сейсмической энергии для региона Камчатки и Командорских островов

Кружком отмечено значение функции распределения F в 2020 г.

13 февраля в 10^h33^m с глубиной $h=158$ км, $K_p=14.3$, $MPSP=7.5$, $M_S=6.4$, $M_w=7.0$ с эпицентром в Охотском море вблизи северо-западного побережья о. Итуруп (информация о землетрясении доступна для зарегистрированных в ЕИССД пользователей на странице <https://sdis.emsd.ru/info/earthquakes/bulletin.php>). По землетрясениям с макросейсмическим эффектом собрана информация из 126 пунктов (Прил. 6). Зафиксированы ощущения в 83 пунктах – всего от очевидцев поступило 1162 сообщения. Максимальная интенсивность сотрясений $I_{max}=6-7$ баллов наблюдалась в г. Северо-Курильске ($\Delta=223$ км) во время Парамуширского землетрясения (17) 25 марта в 02^h49^m с $ML=7.65$ ($K_S=16.8$, $M_w=7.4$), $h=48$ км [10, 11].

В г. Петропавловске-Камчатском (П-К) сотрясения с интенсивностью I от 1–2 до 4–5 баллов ощущались в совокупности 27 раз от землетрясений разных магнитуд (классов) в диапазоне $ML=4.25-7.65$ ($K_S=10.0-16.8$), из них 19 событий с $ML \geq 5.0$ ($K_S \geq 11.5$) (Прил. 5).

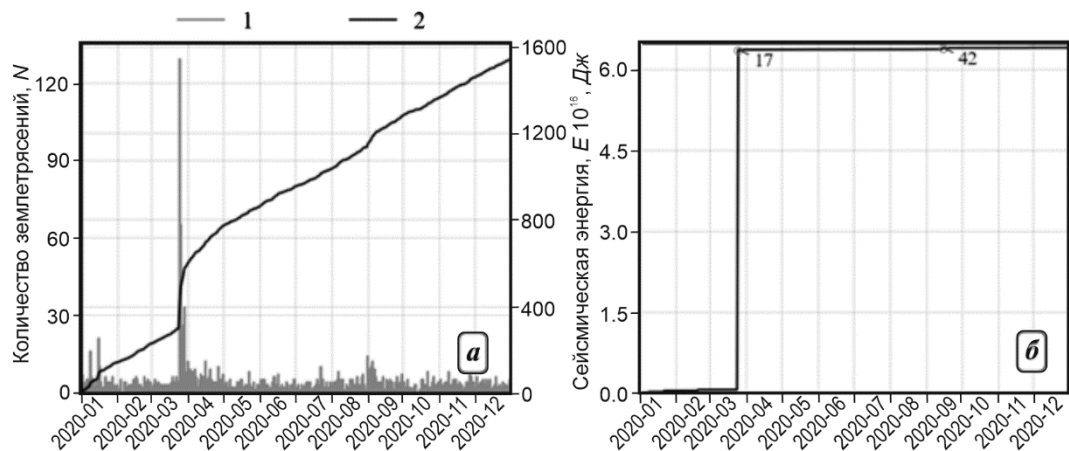


Рис. 6. Ежесуточное число N землетрясений с $ML \geq 3.5$ (а) и кумулятивный график выделившейся сейсмической энергии ΣE (б) в 2020 г. для зоны ответственности сети станций КФ ФИЦ ЕГС РАН

1, 2 – гистограмма распределения и кумулятивный график числа N землетрясений; на рис. 6 б отмечены землетрясения с $ML \geq 6.5$, их номера соответствуют каталогу (Прил. 2).

Для расчета механизмов и параметров очагов из регионального каталога Камчатки и Командорских островов отбирались события с $K_S \geq 11.5$ вне зависимости от того, попадают ли они в зону ответственности или нет. В соответствии с этим критерием для последующей обработки было отобрано 60 землетрясений (Прил. 3).

Тензор сейсмического момента (ТСМ), глубину h и длительность эквивалентного точечного источника удалось рассчитать для 55 землетрясений в диапазоне $K_S=11.5-16.8$. Расчеты про-

Максимальный всплеск числа землетрясений на рис. 6 а и наибольший скачок выделившейся сейсмической энергии на рис. 6 б обусловлены реализацией Парамуширского землетрясения (17)¹ 25 марта 2020 г. в 02^h49^m с $ML=7.65$, $M_w=7.41$, эпицентр которого расположен на северо-западе Тихого океана в пределах Курило-Камчатского глубоководного желоба [10, 11].

На территории Камчатского края и Северных Курильских островов в 2020 г. с интенсивностью I от 1–2 до 6–7 баллов по шкале ШСИ-17 [4] ощущались 94 землетрясения с $ML=3.55-7.65$ ($K_S=8.6-16.8$) (Прил. 5), а также наблюдались проявления не вошедшего в Камчатский каталог землетрясения

¹ Номера событий здесь и далее соответствуют таковым в каталоге (Прил. 2)

водились для модели ТСМ «двойной диполь без момента» с использованием алгоритма, описанного в [12, 13]. В расчетах использовались широкополосные волновые формы, зарегистрированные сейсмостанциями Камчатки, Дальнего Востока России, острова Хоккайдо (Япония), Алеутских островов и Аляски (США). По ТСМ определены механизмы очага и значения скалярного сейсмического момента M_0 (Прил. 3, рис. 7, 8). По значениям M_0 определялась моментная магнитуда M_w . Использовалась стандартная формула $M_w = (2/3) \cdot (\lg M_0 [\text{Н} \cdot \text{м}] - 9.1)$ [14]. Оценки моментной магнитуды M_w лежат в диапазоне $M_w = 4.2 - 7.4$.

Для пяти землетрясений с $K_s = 11.5 - 11.9$ оценки механизмов и параметров очагов получить не удалось из-за недостатка исходных данных с приемлемым отношением сигнал/шум. Из этих пяти событий два расположены в районе Алеутской островной дуги ($K_s = 11.6 - 11.9$), еще два относятся к афтершоковой последовательности землетрясения в Корякском нагорье 9 января 2020 г., $M_w = 6.3$ [15], и одно событие из афтершоковой последовательности Парамуширского землетрясения 25 марта 2020 г., $M_w = 7.4$. [10, 11, 16]. Характеристики очага землетрясения 25 марта и его афтершоков переопределены заново с использованием актуализированных данных о положении эпицентров и с привлечением большего числа исходных волновых форм, обеспечивающих более полное азимутальное покрытие.

Сейсмичность сейсмоактивных областей Камчатки и Командорских островов. Рассмотрим особенности сейсмического процесса региона в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН в пространственных областях, определенных в соответствии с регионализацией сейсмоактивного объема Камчатки и прилегающих территорий [17], учитывающей тектоно-географическое положение землетрясений. Оценки распределения количества землетрясений представлены в табл. 1 на двух энергетических срезах – $ML \geq 3.5$ ($K_s \geq 8.5$) и $ML \geq 5.0$ ($K_s \geq 11.5$). Они сравниваются с соответствующими средними значениями за весь период инструментальных наблюдений с 1962 по 2019 год. Для выделенных зон сделаны и статистические оценки уровня сейсмичности по шкале «СОУС'09», которые также приведены в табл. 1.

В **сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки** (зона № 1) произошло 388 землетрясений с $ML \geq 3.5$, по шкале «СОУС'09» для этой зоны отмечается фоновый средний уровень сейсмичности (табл. 1). В 2020 г. здесь зафиксировано девять землетрясений с $ML \geq 5$ (рис. 7).

Всего в сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки произошло 25 ощутимых землетрясений с интенсивностью сотрясений I от 1–2 до 5 баллов и $ML = 3.9 - 5.95$ ($K_s = 9.3 - 13.4$), два события лоцируются вне зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН (Прил. 5). Максимальная интенсивность сотрясений $I_{\max} = 5$ баллов зафиксирована на ближайшей радионавигационной станции «Подгорная» ($\Delta = 97$ км, о. Парамушир) при самом сильном землетрясении зоны № 1 в 2020 г. (51) 27 ноября в 18^h45^m с $ML = 5.95$ ($K_s = 13.4$, $M_w = 5.2$). В течение 3 сек. ощущалось два толчка до 5 баллов, с потолка осыпалась штукатурка; в г. Северо-Курильске ($\Delta = 112$ км, $I = 4 - 5$ баллов) большинство жителей ощущали землетрясение как жесткую тряску около 10 сек., многие из спавших людей проснулись.

В **северной части Камчатской сейсмофокальной зоны** (зона № 2) в 2020 г. отмечался фоновый повышенный уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09». В зоне реализовалось 385 землетрясений с $ML \geq 3.5$, 20 из них – с $ML \geq 5$ (табл. 1, рис. 7). Как и в 2018–2019 гг., в 2020 г. не было зафиксировано ни одного землетрясения в глубоком слое северной части Камчатской сейсмофокальной зоны.

В зоне № 2 зафиксировано 42 ощутимых землетрясения с $ML = 3.55 - 6.45$ ($K_s = 8.6 - 14.4$) и интенсивностью сотрясений I от 1–2 до 5–6 баллов. Самые сильные сотрясения $I_{\max} = 5 - 6$ баллов вызвало землетрясение (10) 22 января в 01^h22^m с $ML = 6.4$ ($K_s = 14.3$), $h \sim 83$ км на ближайшем к эпицентру кордоне Кроноки ($\Delta = 47$ км). С момента Жупановского землетрясения [18] такого сильного события респонденты на кордоне не ощущали. В течение 1.5–2 минут в одноэтажном блочном здании кордона ощущалась очень сильная жесткая тряска. Сильно раскачивались висевшие предметы. Подпрыгивала посуда, из кружки выплескивалась вода. Из шкафов без дверей выпадали банки, малоподвижные сейф и большой тяжелый шкаф очень сильно раскачивались. Открывались дверцы у тумбы. Скрипели полы, потолки, стены. Было видно, как сотрясается здание. С интенсивностью сотрясений I от 1–2 до 5 баллов это событие ощущалось еще в 17 населенных пунктах Камчатского края ($\Delta = 121 - 311$ км).

Самое сильное землетрясение зоны № 2 (42) 15 сентября 2020 г. в 03^h41^m с $ML = 6.45$ ($K_s = 14.4$, $M_w = 6.4$), $h = 360$ км – второе по площади макросейсмического проявления из ощутимых землетрясений года после Парамуширского землетрясения событие – замечено на расстояниях более 1500 км от эпицентра. Макросейсмический эффект события типичен для глубоких и про-

межуточных землетрясений камчатской зоны субдукции – максимальная интенсивность сотрясений имеет смещение в сторону восточного побережья полуострова, в район выхода тихоокеанской плиты на поверхность [19]. С интенсивностью сотрясений I от 2 до 4–5 баллов событие ощущалось в 11 населенных пунктах ($\Delta=188$ –454 км), расположенных на восточном побережье п-ва Камчатка, и в пос. Южно-Курильск ($\Delta=1596$ км) на о. Кунашир. В ближайшем к эпицентру с. Эссо ($\Delta=9$ км) землетрясение не ощущалось, как и в ближайших населенных пунктах в зоне Центральной Камчатской депрессии ($\Delta=72$ –166 км) и в пунктах на западном побережье полуострова. Самые сильные сотрясения $I_{\max}=4$ –5 баллов зафиксированы на м. Шипунский ($\Delta=321$ км) и на двух кордонах Кроноцкого заповедника – Долина Гейзеров ($\Delta=188$ км) и Аэродром ($\Delta=194$ км). В самых крайних пунктах восточного побережья Камчатки, где землетрясение ощущалось, – на севере в пос. Усть-Камчатск ($\Delta=248$ км) и на юге на ГМС Водопадная ($\Delta=454$ км) – интенсивность сотрясений составила $I=2$ –3 балла; в г. Петропавловске-Камчатском ($\Delta=318$ км) она не превышала $I=2$ балла.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений с $ML \geq 3.5$ ($K_s \geq 8.5$) и $ML \geq 5$ ($K_s \geq 11.5$) в 2020 г. в сопоставлении с их средними оценками за период 1962–2019 гг., а также оценка уровня сейсмичности для различных сейсмоактивных областей в границах региона Камчатки и Командорских островов

№	Зона	Слой	Средние значения за 1962–2019 гг.				Значения за 2020 г.				F (lgE)	Уровень сейсмичности
			N ($ML \geq 3.5$)	N/N_{Σ} , %	N ($ML \geq 5.0$)	ΣE , 10^{14} Дж	N ($ML \geq 3.5$)	N/N_{Σ} , %	N ($ML \geq 5.0$)	ΣE , 10^{14} Дж		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки	I	222	20.7	11	1.92	275	17.9	7	0.38	0.48 ± 0.06	Фоновый средний
		II	63	5.8	3	0.80	88	5.7	1	0.01		
		III	10	1.0	1	18.32	25	1.6	1	0.16		
2	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	I	391	36.5	16	2.08	298	19.4	14	2.28	0.87 ± 0.04	Фоновый повышенный
		II а	94	8.8	2	3.23	87	5.6	6	4.55		
		III а	<1	<0.1	<1	0.02	—	—	—	—		
3	Командорский сегмент Алеутской дуги	I	143	13.3	7	3.45	176	11.4	9	0.39	0.57 ± 0.06	Фоновый средний
4	Тихий океан	I	73	6.8	2	2.30	489	31.8	6	631.26	1.00	Экстремально высокий
5	Мелкофокусные землетрясения Северных Курил	I	2	0.2	<1	<0.01	1	<0.1	—	<0.01	0.59 ± 0.06	Фоновый средний
6	Континентальные области Камчатки	I	42	3.9	<1	0.27	5	0.3	—	<0.01	0.09 ± 0.04	Фоновый пониженный
7	Корякский сейсмический пояс	I	25	2.4	1	1.64	32	2.1	8	1.64	0.93 ± 0.03	Фоновый повышенный
		II	<1	<0.1	—	<0.01	1	<0.1	—	<0.01		
9	Залив Шелихова	I	2	0.2	<1	<0.01	61	4.0	1	0.16	0.99 ± 0.01	Высокий
10	Охотия	I	1	0.1	<1	<0.01	2	0.1	—	<0.01	0.65 ± 0.06	Фоновый средний
	Всего		1072	100	44	34.04	1540	100	53	640.84 ± 0.02	0.98	Высокий

Примечание. Цифрами I, II и III обозначены поверхностный ($0 < h \leq 70$ км), промежуточный ($70 < h \leq 350$ км) и глубокий ($h > 350$ км) слои соответственно; зона № 2 имеет границы зон промежуточного ($70 < h \leq 380$ км) и глубокого ($h > 380$ км) слоев, отличные от других; они обозначаются как II а и III а соответственно. Символ "—" означает, что сейсмическая активность указанного уровня не зарегистрирована.

В **Командорском сегменте Алеутской дуги** (зона № 3) зафиксировано 176 землетрясений с $ML \geq 3.5$, из них девять имеют $ML=5.0-5.95$ ($K_S=11.5-13.4$) (рис. 8), причем все события реализованы в поверхностном слое (табл. 1). Уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» оценен как фоновый средний (табл. 1). С интенсивностью сотрясений I от 1–2 до 4 баллов ощущалось 14 землетрясений с $ML=3.75-5.95$ ($K_S=9.0-13.4$). Самые сильные сотрясения $I_{\max}=4$ балла вызвали два события: самое сильное землетрясение зоны № 3 в 2020 г. с эпицентром вблизи о. Беринга (21) 4 апреля в 06^h18^m с $ML=5.95$ ($K_S=13.4$, $M_w=5.4$), максимально ощущавшееся в селе Никольское ($\Delta=60$ км) на этом острове, и событие с эпицентром на Камчатском полуострове 1 ноября в 20^h53^m с $ML=4.55$ ($K_S=10.6$), с 4-балльными проявлениями в селе Крутоберегово ($\Delta=20$ км) и поселке Усть-Камчатске ($\Delta=31$ км).

В **Тихом океане** (зона № 4) в 2020 г. отмечался экстремально высокий уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» (табл. 1). Всего произошло 489 землетрясений с $ML \geq 3.5$, из которых шесть с $ML=5.1-7.65$ ($K_S=11.7-16.8$) (табл. 1) и восемь ощутимых землетрясений с $ML=5.45-7.65$ ($K_S=10-16.8$), вызвавших сотрясения интенсивностью I от 1–2 до 6–7 баллов. Самое сильное событие зоны № 4 – Парамуширское землетрясение (17) 25 марта в 02^h49^m с $ML=7.65$ ($K_S=16.8$, $M_C=7.5$, $M_w=7.4$) – является сильнейшим землетрясением 2020 г. с максимальным макросейсмическим эффектом $I_{\max}=6-7$ баллов. Отдельная статья по этому землетрясению включена в данный выпуск журнала [20].

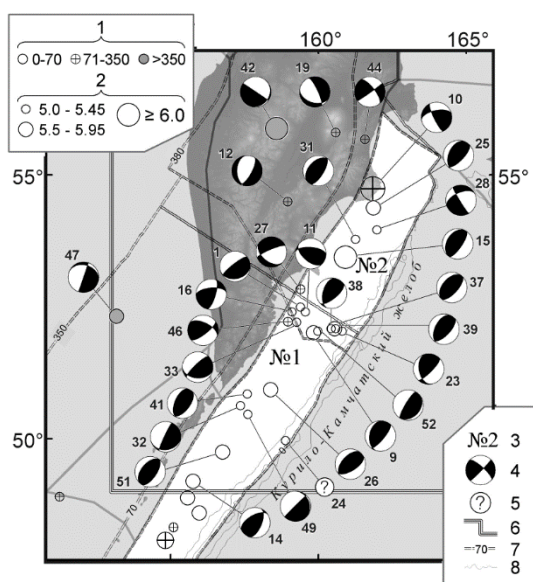


Рис. 7. Карта эпицентров и диаграммы механизмов очагов землетрясений с $K_S \geq 11.5$ ($ML > 5.0$) Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны № 1 и № 2) за 2020 г.

1 – глубина гипоцентра h , км; 2 – локальная магнитуда ML ; 3 – номер зоны из табл. 1; 4 – диаграмма механизма очага землетрясения; 5 – механизм для землетрясения не определен; 6 – граница зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН; 7 – граница зоны сейсмичности (обозначениями $=0=$, $=70=$, $=350$ (380)= показаны границы слоев с $h=0$, $h=70$, $h=350$ или 380 км соответственно в зонах № 1 и № 2); 8 – изобаты 6000 и 7000 м; число возле диаграммы соответствует номеру землетрясения в каталоге (Прил. 2).

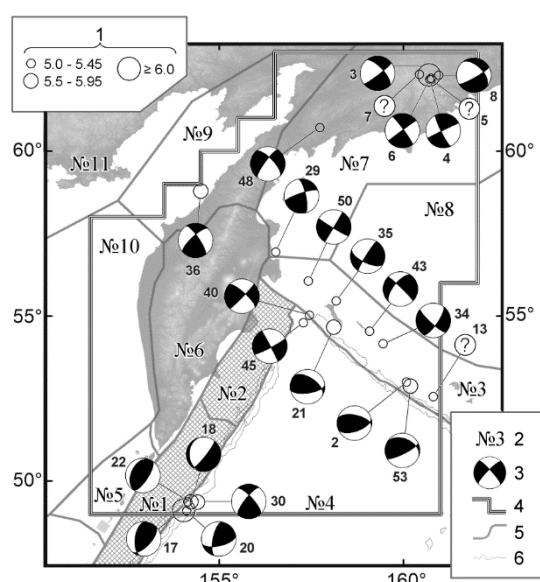


Рис. 8. Карта эпицентров и диаграммы механизмов очагов землетрясений с $K_S \geq 11.5$ ($ML \geq 5.0$) зон № 3–11 за 2020 г.

1 – локальная магнитуда ML ; 2 – номер зоны из табл. 1; 3 – диаграмма механизма очага землетрясения; 4 – граница зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН; 5 – границы зон из табл. 1; 6 – изобаты 6000 и 7000 м; число возле диаграммы соответствует номеру землетрясения в каталоге (Прил. 2). Остальные обозначения приведены на рис. 7.

В **зоне Северные Курилы** (зона № 5) в 2020 г. по шкале «СОУС'09» отмечался фоновый средний уровень сейсмичности (табл. 1). За год в зоне № 5 произошло одно ($ML \geq 3.5$) землетрясение 23 октября 2020 г. в 02^h07^m с $ML=4.25$ ($K_S=10$), $h=6$ км (Прил. 2). Вызванный этим событием короткий резкий толчок с интенсивностью сотрясения $I=2$ балла был замечен в г. Северо-Курильске ($\Delta=329$ км).

В *континентальных областях Камчатки* (зона № 6) в 2020 г. отмечался фоновый пониженный уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» (табл. 1). Зафиксировано пять неощутимых землетрясений с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$) (Прил. 2).

В *Корякском сейсмическом поясе* (зона № 7) по шкале «СОУС'09» в 2020 г. отмечается фоновый повышенный уровень сейсмичности (табл. 1). В зоне произошло восемь событий с $ML=5-6.35$ ($K_S=11.5-14.2$) (табл. 1), два из которых – ощутимые с интенсивностью сотрясений I от 2 до 3–4 баллов (Прил. 2 и 5).

Самое сильное землетрясение (3) зоны № 7 в 2020 г. произошло 9 января 2020 г. в 08^h38^m с $ML=6.35$ ($K_S=14.2$, $M_w=6.3$), $h=8$ км (Прил. 2). За весь период инструментальных наблюдений КФ ФИЦ ЕГС РАН это самое сильное событие в центральной части Корякского нагорья. Землетрясение ощущалось в шести населенных пунктах Пенжинского и Олюторского районов Камчатского края ($\Delta=152-268$ км), а также в с. Ваеги ($\Delta=208$ км) Анадырского района Чукотского автономного округа, с наибольшими сотрясениями $I_{\max}=3-4$ балла в с. Слаутное ($\Delta=199$ км).

В *Заливе Шелихова* (зона № 9) в 2020 г. отмечается фоновый высокий уровень сейсмичности (табл. 1). В зоне зафиксировано 61 землетрясение с $ML \geq 3.5$. Единственное землетрясение с $ML \geq 5.0$ (36) произошло в поверхностном слое 1 сентября 2020 г. в 00^h51^m с $ML=5.85$ ($K_S=13.2$, $M_w=5.5$) на глубине $h=35$ км. С интенсивностью сотрясений I от 2–3 до 4–5 баллов землетрясение ощущалось в пяти населенных пунктах Тигильского района ($\Delta=58-125$ км), включая пос. Палана ($\Delta=64$ км), где зафиксирована максимальная интенсивность сотрясений $I_{\max}=4-5$ баллов.

В зонах *Берингово море* (зона № 8) и *Охотия* (зона № 10) ежегодно наблюдается низкая сейсмическая активность (в абсолютном измерении). Так, камчатской региональной сетью станций в 2020 г. в зоне № 8 не зарегистрировано ни одного землетрясения, а в зоне № 10 локализовано два события с $ML=3.8$ ($K_S=9.1$) и $ML=4.3$ ($K_S=10.1$). В этой зоне в 2020 г. отмечается фоновый средний уровень сейсмичности (табл. 1).

Заключение. В 2020 г. в пределах Камчатской зоны ответственности наблюдалась типичная картина расположения эпицентров землетрясений для большинства зон, за исключением зоны Тихий океан. В зоне № 4 с 2018 г. наблюдается увеличение числа событий на порядок от среднегодовых значений. В марте в Тихом океане произошло Парамуширское землетрясение [10, 11] с магнитудой $M_w=7.4$. Это второе после землетрясения Углового Поднятия 2018 г. [21] событие с магнитудой более 7, которое реализовалось в северо-западной части Тихоокеанской литосферной плиты за последние 50 лет.

Для каталога Камчатки и Командорских островов число зафиксированных событий в 2020 г. с $ML \geq 3.5$ превышает среднегодовое значение в полтора раза.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие Д.В. Чебров, С.Л. Сеньюков, И.Р. Абубакиров, В.М. Павлов, С.Я. Дрознина, И.Н. Нуждина, Е.А. Матвеев, С.В. Митюшкина, А.А. Раевская, Ю.В. Шевченко, Е.Л. Музуров, Р.А. Кутанов, Е.А. Карпенко, Н.А. Леднева, З.А. Назарова, Е.И. Ромашева, С.Л. Толочкова, Т.Ю. Кожевникова, О.В. Соболевская, С.Г. Пойгина, Г.М. Бахтиярова.

Электронное приложение App11_Kamchatka_2020 (<http://www.gsras.ru/zse/app-27.html>): 1 – Сейсмические станции сети Камчатки и Командорских островов в 2020 г.; 2 – Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2020 г.; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2020 г.; 4 – Дополнение к каталогу механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2020 г.; 5 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Камчатки и Командорских островов в населенных пунктах в 2020 г.; 6 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2020 г.; 7 – SH3 – Каталог землетрясений и взрывов Сахалина за 2020 год.

Л и т е р а т у р а

1. Чебров Д.В., Тихонов С.А., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я., Матвеев Е.А. Митюшкина С.В., Салтыков В.А., Сеньюков С.Л., Серафимова Ю.К., Сергеев В.А., Яшук В.В. Система сейсмического мониторинга и прогнозирования на Камчатке и ее развитие. Основные результаты наблюдений в 2016–2020 гг. // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 3. – С. 28–49. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.3.02>

2. Чебров Д.В., Дрознина С.Я., Сениюков С.Л., Шевченко Ю.В., Митюшкина С.В. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2020 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2022. – С. 73–84.
3. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34.
4. ГОСТ Р 57546–2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 27 с.
5. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
6. Салтыков В.А. О возможных проблемах оценки пространственно-временных особенностей предстательности каталога землетрясений (на примере камчатского каталога Единой геофизической службы РАН) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2019. – Вып. 43, № 3. – С. 66–74.
7. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Воропаев П.В. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2020 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 92–98.
8. Чеброва А.Ю., Чемарев А.С., Матвеевко Е.А., Чебров Д.В. Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. – 2020. – Т. 21, № 3. – С. 66–91. DOI: <https://doi.org/10.21455/gr2020.3-5>
9. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
10. Прытков А.С., Василенко Н.Ф. Парамуширское землетрясение 25 марта 2020 г. $M_w=7.5$ // Геосистемы переходных зон. – 2021. – Т. 5, № 2. – С. 113–127. DOI: <https://doi.org/10.30730/gtrz.2021.5.2.113-120.121-127>
11. Чебров Д.В., Абубакиров И.Р., Губанова А.А., Глухов В.Е., Ландер А.В., Матвеевко Е.А., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Салтыков В.А., Сениюков С.Л., Титков Н.Н. Парамуширское землетрясение 25 марта 2020 г. $M_w=7.4$ // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2023. – Вып. 58, № 2. – С. 49–66.
12. Павлов В.М., Абубакиров И.Р. Алгоритм расчета тензора сейсмического момента сильных землетрясений по региональным широкополосным сейсмограммам объемных волн // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2012. – № 2 (20). – С. 149–158.
13. Абубакиров И.Р., Павлов В.М. Определение тензора момента двойного диполя для землетрясений Камчатки по волновым формам региональных сейсмических станций // Физика Земли. – 2021. – № 3. – С. 45–62. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002333721030017>
14. Kanamori H. The energy release in great earthquakes // Journal of Geophysical Research. – 1977. – V. 82, N 20. – P. 2981–2987.
15. Svirgkas N., Atzori S., Kozhurin A., Tolomei C., Antonioli A., Pezzo G. Implications for the geometry of plate boundaries in NE Asia based on the geodetic analysis of the 2020 M_w 6.4 Koryak event // Geophysical Journal International. – 2023. – V. 234, N 2. – P. 1412–1421. <https://doi.org/10.1093/gji/ggad142>
16. 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, N 0012–821X, P. 116728. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116728>
17. Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю. Сейсмичность Камчатского региона 1962–2011 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 41–64.
18. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Иванова Е.И., Матвеевко Е.А., Митюшкина С.В., Отожюк Д.А., Павлов В.М., Раевская А.А., Салтыков В.А., Сениюков С.Л., Серафимова Ю.К., Скоркина А.А., Титков Н.Н., Чебров Д.В. Жупановское землетрясение 30.01.2016 г. с $K_S=15.7$, $M_w=7.2$, $I=6$ (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2016. – Вып. 29, № 1. – С. 5–16.
19. Левина В.И., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю., Иванова Е.И. Тумрокское-I землетрясение 16 июня 2003 г. с $M_w=6.9$, $I_0=6$ и Тумрокское-II землетрясение 10 июня 2004 г. с $M_w=6.8$, $I_0=5-6$ (Камчатка) // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 314–323.
20. Чебров Д.В., Абубакиров И.Р., Губанова А.А., Глухов В.Е., Ландер А.В., Матвеевко Е.А., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Раевская А.А., Салтыков В.А., Сениюков С.Л., Титков Н.Н. Парамуширское землетрясение 25 марта 2020 г. $M_w=7.4$ // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 27 (2020). – С. 289–300. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.26> EDN: RZVNFO
21. Чебров Д.В., Кугаенко Ю.А., Ландер А.В., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К., Титков Н.Н. Землетрясение углового поднятия 20 декабря 2018 г. $M_w=7.3$ в зоне сочленения Камчатского и Алеутского океанических желобов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2020. – Вып. 45, № 1. – С. 100–117.

SEISMICITY of KAMCHATKA and COMMANDER ISLANDS in 2020

**D.V. Chebrov, E.A. Matveenکو, I.R. Abubakirov, S.Ya. Droznina, S.V. Mityushkina, V.M. Pavlov,
A.A. Raevskaya, E.I. Romasheva, V.A. Saltykov**

*Kamchatka branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, van@emsd.ru*

Abstract. The seismicity review of Kamchatka and surrounding territories for 2020 is given. In the Kamchatka earthquake catalogue, the minimum local magnitude of completeness is $ML_{\min}=3.5$, and for the Kamchatka seismically active region ($\varphi=50.5-56.5^\circ$ N, $\lambda=156.5-167^\circ$ E) $ML_{\min}=3.0$, and for earthquakes with $h\geq 350$ km under the Okhotsk sea $ML_{\min}=4.1$. The Kamchatka earthquake catalogue for 2020, published in the Appendix to this article, includes 1666 events with $ML\geq 3.5$; 94 earthquakes with $ML=3.55-7.65$ were felt in Kamchatka and surrounding areas with seismic intensity I of 1–2 to 6–7 according to the Seismic Intensity Scale-2017 (Russian state standard). For 49 events with $ML\geq 5.0$ that occurred in 2020 within the area of responsibility of Kamchatka branch of Geophysical Survey RAS, an attempt to calculate the seismic moment tensor (SMT) was made. The level of seismicity according to the "SOUS'09" scale in 2020 corresponded to the "high". On March 25, 2020, there was a strong earthquake with $M_w=7.4$, named "the Paramushirskoe earthquake". The earthquake was accompanied by a large number of aftershocks.

Keywords: Kamchatka, seismicity, catalogue, earthquake, focal mechanism, macroseismic, seismicity level.

For citation: Chebrov, D.V., Matveenکو, E.A., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ya., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Raevskaya, A.A., Romasheva, E.I., & Saltykov, V.A. (2024). [Seismicity of Kamchatka and Commander Islands in 2020]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 27(2020), 162–173. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2024.27.14> EDN: HIOXIU

R e f e r e n c e s

1. Chebrov, D.V., Tikhonov, S.A., Droznin, D.V., Droznina, S.Ya., Matveenکو, E.A., Mityushkina, S.V., Saltykov, V.A., Senyukov, S.L., Serafimova, Yu.K., Sergeev, V.A., & Yashchuk, V.V. (2021). [Kamchatka seismic monitoring and Earthquake prediction system and its evolution. Main results of observations in 2016–2020]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(3), 28–49. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.3.02>
2. Chebrov, D.V., Droznina, S.Ya., Senyukov, S.L., Shevchenko, Yu.V., & Mityushkina, S.V. (2022). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2020 godu* [Earthquakes in Russia, 2022] (pp. 73–84). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
3. Droznin, D.V., & Droznina, S.Ya. (2011). Interactive DIMAS software for seismic signal processing. *Seismic Instruments*, 47(3), 215–224. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.3103/S0747923911030054>
4. GOST R 57546-2017. (2017). [Earthquakes. Seismic Intensity Scale]. Moscow, Russia: Standardin form Publ., 27 p. (In Russ.).
5. 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.).
6. Saltykov, V.A. (2019). [Possible Problems of Evaluation of Spatial-Temporal Features of Earthquake Catalog Representativity: Case Study for the Kamchatka Catalog of Geophysical Survey of RAS]. *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences], 3(43), 66–74. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2019-3-43-66-74>
7. Saltykov, V.A., Kravchenko, N.M., & Voropaev, P.V. (2022). [Quantitative analysis of Kamchatka seismicity]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2020 godu* [Earthquakes in Russia, 2022] (pp. 92–98). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
8. Chebrova, A.Yu., Chemarev, A.S., Matveenکو, E.A., & Chebrov, D.V. (2020). [Seismological data information system in Kamchatka branch of GS RAS: organization principles, main elements and key functions]. *Geofizicheskiye issledovaniya* [Geophysical research], 21(3), 66–91. (In Russ.).
9. Saltykov, V.A. (2011). A statistical estimate of seismicity level: the method and results of application to Kamchatka. *Journal of Volcanology and Seismology*, 5(2), 123–128. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0742046311020060>
10. Prytkov, A.S., & Vasilenko, N.F. (2021). [The Paramushir earthquake on March 25, 2020 $M_w=7.5$]. *Geosistemy perekhodnykh zon* [Geosystems of Transition Zones], 5(2), 113–127. (In Russ.).

11. 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 earthquake on March 25, 2020 $M_w=7.4$]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences], 2(58), 49–66. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2023-2-58-49-66>
12. Pavlov, V.M., & Abubakirov, I.R. (2012). [Algorithm for calculating the tensor of the seismic moment of strong earthquakes from regional broadband seismograms of volume waves]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences], 2(20), 149–158. (In Russ.).
13. Abubakirov, I.R., & Pavlov, V.M. (2021). Determination of the double dipole moment tensor for Kamchatka earthquakes by wave forms of regional seismic stations. *Izvestiya, Physics of the solid Earth*, 57(3), 332–347. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002333721030017>
14. Kanamori, H. (1977). The energy release in great earthquakes. *Journal of Geophysical Research*, 82(20), 2981–2987.
15. Svigkas, N., Atzori, S., Kozhurin, A., Tolomei, C., Antonioli, A., & Pezzo, G. (2023). Implications for the geometry of plate boundaries in NE Asia based on the geodetic analysis of the 2020 M_w 6.4 Koryak event. *Geophysical Journal International*, 234(2), 1412–1421. DOI: <https://doi.org/10.1093/gji/ggad142>
16. 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(0012–821X), 116728. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116728>
17. Levina, V.I., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., & Chebrova, A.Yu. (2023). Seismicity of the Kamchatka region 1962–2011. *Volcanology and seismology*, 1, 41–64.
18. Chebrov, V.N., Kugaenko, Yu.A., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ya., Ivanova, E.I., Matveenko, E.A., Mityushkina, S.V., Ototyuk, D.A., Pavlov, V.M., Raevskaya, A.A., Saltykov, V.A., Senyukov, S.L., Serafimova, Yu.K., Skorkina, A.A., Titkov, N.N., & Chebrov, D.V. (2016). [The Zhupanov earthquake of 30.01.2016 with $K_s=15.7$, $M_w=7.2$, $I=6$ (Kamchatka)]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences], 1(29), 5–16. (In Russ.).
19. Levina, V.I., Mityushkina, S.V., Chebrova, A.Yu., & Ivanova, E.I. (2016). [Tumrok-I earthquake on June 16, 2003 with $M_w=6.9$, $I_0=6$ and Tumrok-II earthquake on June 10, 2004 with $M_w=6.8$, $I_0=5-6$ (Kamchatka)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2010 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 314–323). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
20. 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. (2024). [Paramushir 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
21. Chebrov, D.V., Kugaenko, Yu.A., Lander, A.V., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ya., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Saltykov, V.A., Serafimova, Yu.K., & Titkov, N.N. (2020). [The Uglovoye Podnyatiye Earthquake on December 20, 2018 ($M_w=7.3$) in the Junction Zone between Kamchatka and Aleutian Oceanic Trenches]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences], 1(45), 100–117. (In Russ.).