

УДК 550.348. (571.66)

СЕЙСМИЧНОСТЬ КАМЧАТКИ и КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ в 2018–2019 гг.

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

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

Аннотация. Приведен обзор сейсмичности Камчатки и прилегающих территорий за 2018–2019 гг. Представительность каталога землетрясений Камчатки по зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН оценивается как $ML_{\min}=3.8$ ($K_{S\min}=9.0$), для Камчатской сейсмоактивной области ($\varphi=50.5\text{--}56.5^\circ$ с.ш., $\lambda=156.5\text{--}167^\circ$ в.д.) – $ML_{\min}=3.7$ ($K_{S\min}=8.8$). Публикуемый в настоящем выпуске журнала каталог землетрясений 2018–2019 гг., зарегистрированных Камчатской региональной сетью, включает 3646 событий с $ML\geq 3.5$, где локальная магнитуда $ML=K_s/2-0.75$. Из них 228 событий с $ML=3.65\text{--}7.3$ ощущались с интенсивностью I от 1–2 до 6–7 баллов по шкале ШСИ-17 на Камчатке и прилегающих территориях. Для 134 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 2018 г. соответствует фоновому повышенному, в пределах точности оценки – высокому; в 2019 г. – фоновому среднему уровню сейсмичности. Количества зафиксированных событий с $ML\geq 3.5$ ($K_s\geq 8.5$) и сильных землетрясений с $ML\geq 5.0$ ($K_s\geq 11.5$) превысили среднегодовые значения. 20 декабря 2018 г. произошло уникальное событие – землетрясение Углового поднятия с $M_w=7.3$. Землетрясение является сильнейшим внутриплитным событием, принадлежность которого к району южнее зоны сочленения Камчатского и Алеутского желобов надежно установлена.

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

Для цитирования: Чебров Д.В., Матвеевко Е.А., Ромашева Е.И., Салтыков В.А., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Раевская А.А. Сейсмичность Камчатки и Командорских островов в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 171–184. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.14> EDN: YYEACE

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 2018–2019 гг. 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 2018–2019 гг. продолжилась работа по модернизации сети сейсмических станций Камчатки [1], сведения о которых приведены в Прил. 1, а расположение представлено на рис. 1.

За рассматриваемый в статье период установлены две новые цифровые широкополосные сейсмические станции: 30 ноября 2018 г. на территории объединенной гидрометеорологической станции в пос. Соболево введена в действие цифровая широкополосная сейсмическая станция «Соболево» (SBLV), а 20 декабря 2018 г. в подвале здания поселковой администрации в пос. Усть-Большерецк введена в действие цифровая широкополосная сейсмическая станция «Усть-Большерецк» (UBL).

Станции SBLV и UBL укомплектованы велосиметрами Nanometrics T120-QA-SV1 и регистраторами Nanometrics Centaur CTR3-6S. На станциях «Беринг» (ВКИ) и «Эссо» (ЕСО) проведены работы по замене оборудования, установлены велосиметры (Centaur-Nanometrics Trillium TC120-SV1) и акселерометры (CMG-5TDE, CMG-5TD соответственно). Подробное описание изменений в сети изложено в [2, 3].

Методика обработки. Обработка сигналов сейсмических станций, расчет параметров гипоцентров и энергетических характеристик землетрясений производились при помощи программы DIMAS [4, 5].

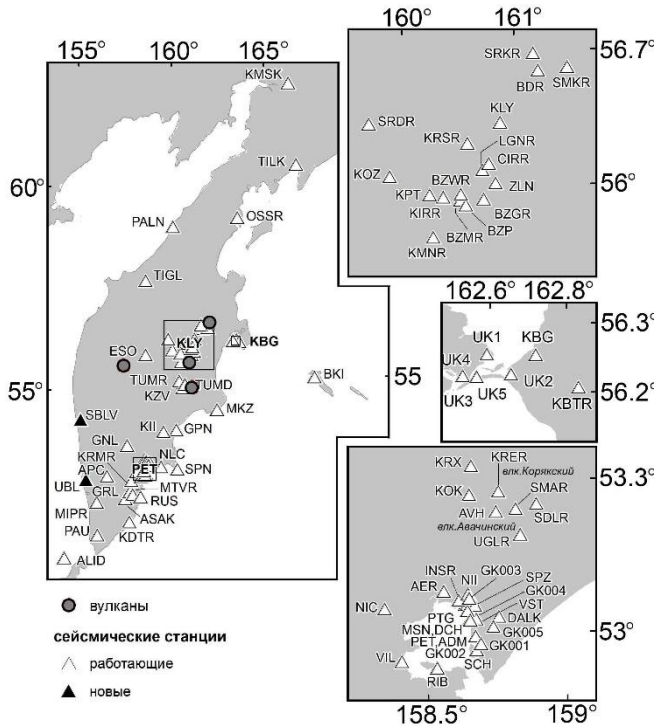


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Камчатки в 2018–2019 гг.

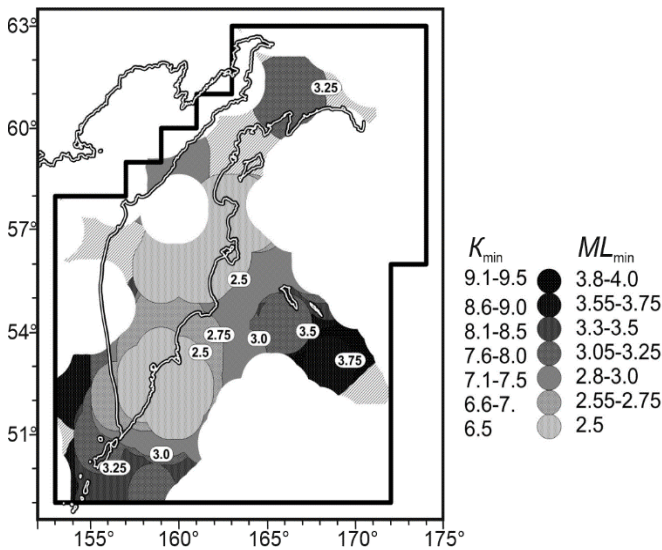


Рис. 2. Карта региональной представительности каталога землетрясений 2018–2019 гг. в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН

Незакрашенной области соответствует отсутствие землетрясений в 2018–2019 гг. Косая штриховка обозначает территории, где плотность землетрясений представительной магнитуды не достигла порогового для расчета уровня $N=25$ на единичный круг.

нальной сетью сейсмических станций. Из них 3358 событий находятся внутри зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН, а 288 – 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.

Представительность каталога.

Представительность каталога землетрясений Камчатки в целом по зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН может оцениваться как $M_{Lmin}=3.8$ ($K_{min}=9.0$), для Камчатской сейсмоактивной области ($\varphi=50.5-56.5^\circ$ с.ш., $\lambda=156.5-167^\circ$ в.д.) – $M_{Lmin}=3.7$ ($K_{min}=8.8$), а для охотоморских землетрясений, происходящих на глубине нескольких сотен километров, – $M_{Lmin}=3.8$ ($K_{min}=9.0$). Как показано в [6], оценка региональной представительности по графику Гутенберга-Рихтера для больших пространственных областей некорректна, поэтому реальная представительность каталога землетрясений Камчатки в 2018–2019 гг. может быть оценена путем сканирования сейсмоактивной области ячейками относительно небольшого размера и последующим объединением полученных результатов.

На рис. 2 представлена карта представительности каталога землетрясений 2018–2019 гг. 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 M_{Lmin} или по энергетическому классу K_{min} со статистической значимостью $\alpha=0.3$. Используемый каталог ограничен снизу локальной магнитудой $M_L=2.5$ (энергетическим классом $K_S=6.5$), 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 2018–2019 гг. представлен в работах [7, 8]. Каталог землетрясений, публикуемый в настоящем выпуске журнала (Прил. 2), включает 3646 событий с $M_L \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), зарегистрированных Камчатской региональной сетью сейсмических станций.

Всего в 2018–2019 гг. внутри зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН определены параметры 17044 землетрясений в энергетическом диапазоне $ML=0.35-7.3$ ($K_S=2.2-16.1$). Распределение числа землетрясений по магнитудам с шагом 0.5 и по энергетическим классам с шагом 1 приведено на рис. 3.

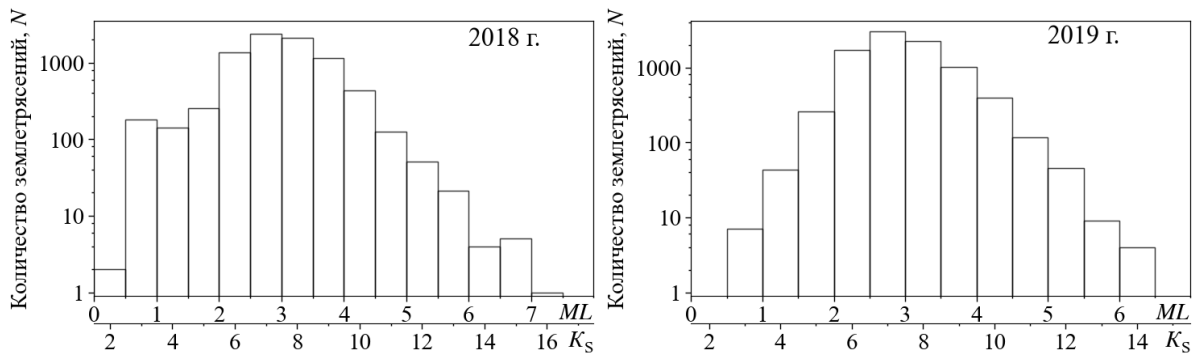


Рис. 3. Распределение числа землетрясений по магнитудам ML и энергетическим классам K_S в 2018 г. и 2019 г. для зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН

Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов, включающий землетрясения с $ML \geq 3.5$, доступен в интернете по адресу <http://sdis.emsd.ru/info/earthquakes>. Для получения информации о более слабых событиях необходимо зарегистрироваться (<https://sdis.emsd.ru/pers/registration.php>) и оформить запрос на расширенный доступ.

Анализ данных. На рис. 4 а представлены карты эпицентров землетрясений с $ML \geq 3.5$ за 2018 (слева) и 2019 (справа) годы. Вертикальные разрезы поля гипоцентров также показаны отдельно за 2018 и 2019 гг.: (б) – продольный разрез по линии $B-B'$ (в центре рис. 4) и (в) – поперечный разрез по линии $A-A'$ (внизу рисунка). В Камчатском регионе в 2018–2019 гг. зафиксировано 156 землетрясений (140 в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН) с $ML \geq 5.0$ ($K_S \geq 11.5$), они пронумерованы на карте (а) в соответствии с нумерацией в каталоге (Прил. 2).

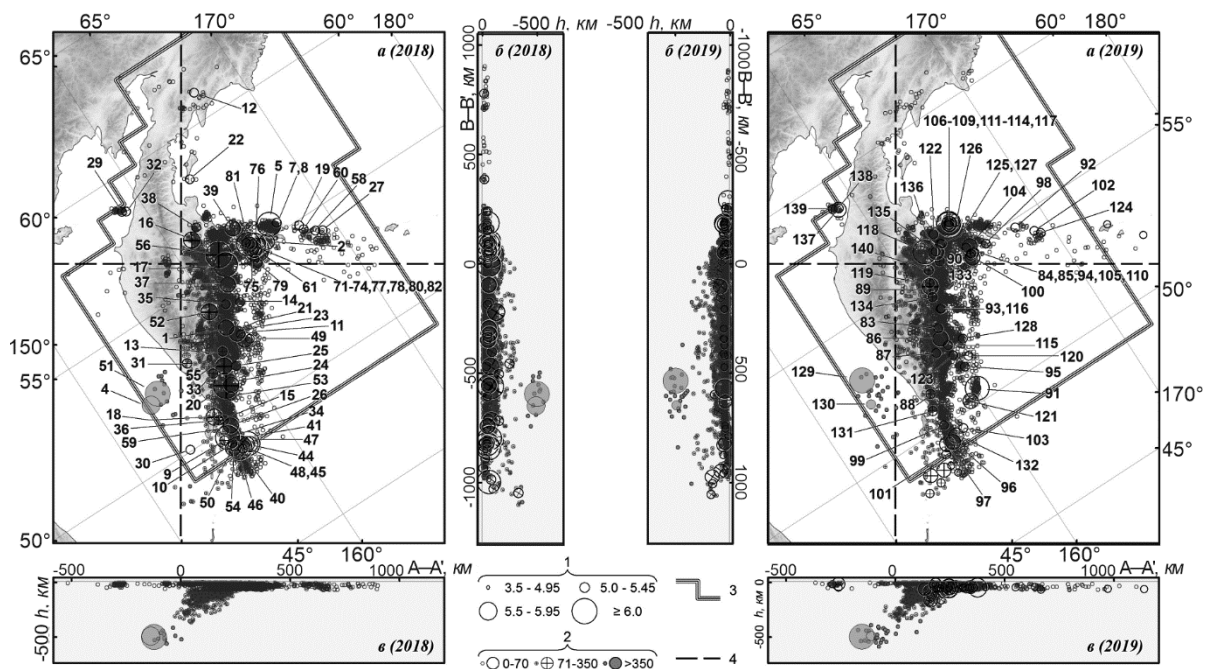


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Камчатки с $ML \geq 3.5$ за 2018 и 2019 гг. (а); проекции гипоцентров землетрясений на вертикальные плоскости разрезов вдоль линий $A-A'$ (в) и $B-B'$ (б)

1 – локальная магнитуда ML ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – граница Камчатского региона; 4 – линия вертикального разреза вкrest ($A-A'$) и вдоль ($B-B'$) фокальной зоны; числа 1–140 соответствуют номерам землетрясений с $ML \geq 5.0$ ($K_S \geq 11.5$) согласно каталогу (Прил. 2).

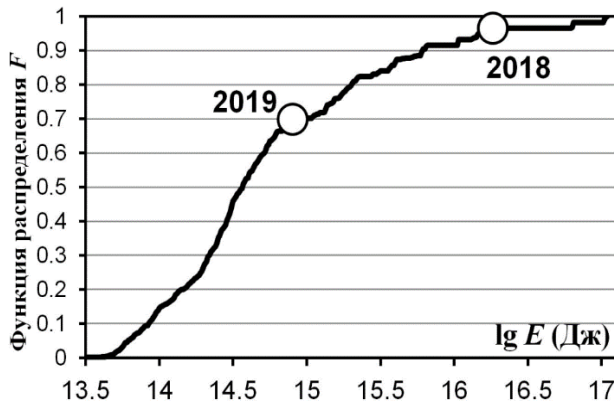


Рис. 5. Функция распределения F годовой сейсмической энергии для региона Камчатки и Командорских островов

Кружком отмечено значение функции распределения F в 2018 и 2019 гг.

Уровень сейсмичности в регионе Камчатки и Командорских островов оценивался исходя из величины функции распределения F для выделившейся в 2018 и 2019 гг. сейсмической энергии. Методика расчета функции распределения F и градации шкалы уровня сейсмичности «СОУС'09» описаны в [9]. В 2018 г. суммарная энергия всех зарегистрированных в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН землетрясений составила $\Sigma E = 1.8 \cdot 10^{16}$ Дж, в 2019 г. – $\Sigma E = 8.0 \cdot 10^{14}$ Дж. Функция распределения F выделившейся за год сейсмической энергии построена по данным за 1962–2021 гг. (рис. 5). Для 2018 г. значение $F = 0.97 \pm 0.02$ соответствует фоновому повышенному (но в пределах точности оценки – высокому) уровню сейсмичности по шкале «СОУС'09», а для 2019 г. ($F = 0.70 \pm 0.06$) – фоновому среднему.

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 2018–2019 гг.

Максимальный всплеск на рис. 6 а и наибольший скачок на рис. 6 б обусловлен землетрясением (61) 20 декабря 2018 г. ($ML = 7.3$, $Mw = 7.3$) в поверхностном слое сейсмофокальной зоны Командорского сегмента Алеутской дуги с эпицентром в Тихом океане, в 208 км на юго-восток от села Никольское (на о. Беринга). Это событие было названо «землетрясением Углового поднятия» (ЗУП) [10, 11].

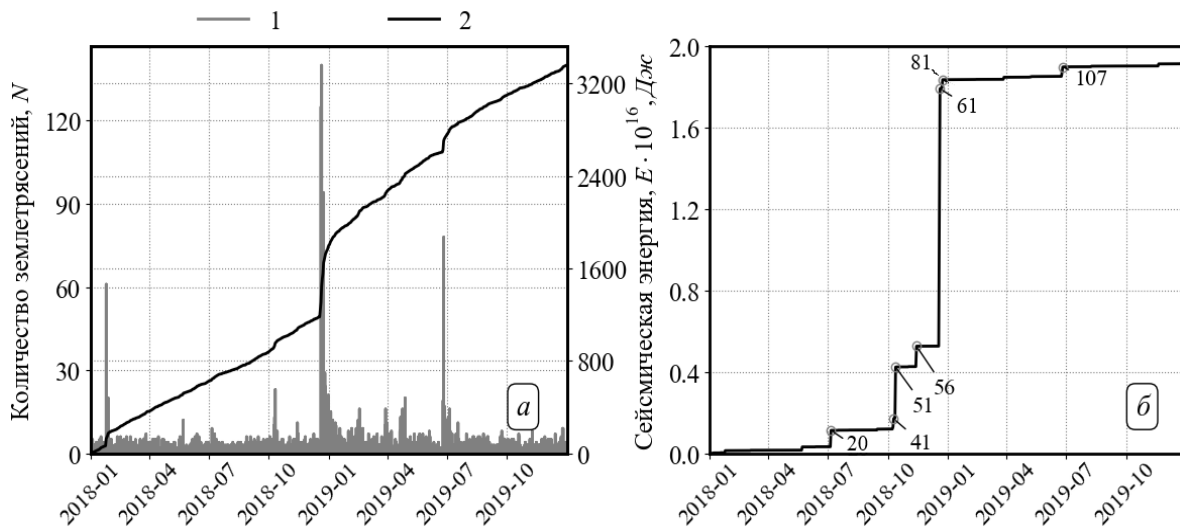


Рис. 6. Ежесуточное число N землетрясений с $ML \geq 3.5$ (а); кумулятивный график выделившейся сейсмической энергии ΣE (б) в 2018–2019 гг. для зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН

1 – гистограмма распределения; 2 – кумулятивный график; на рис. 6 б отмечены землетрясения с $ML \geq 6.5$, их нумерация соответствует каталогу (Прил. 2).

На территории Камчатского края и Северных Курильских островов в 2018–2019 гг. с интенсивностью I от 1–2 до 6–7 баллов по шкале ШСИ-17 [12] ощущалось 230 землетрясений с $ML = 3.1–7.3$ ($KS = 7.7–16.1$), из них 228 событий с $ML = 3.65–7.3$ ($KS = 8.8–16.1$) (Прил. 5) представлены в каталоге, публикуемом в настоящем выпуске журнала (Прил. 2). По этим землетрясениям собрана информация из 126 пунктов (Прил. 6). Зафиксированы ощущения в 89 пунктах (всего от очевидцев поступило 1210 сообщений), наибольшее число ощутимых землетрясений ($N = 64$)

зафиксировано на о. Беринга в селе Никольское (Прил. 5). Максимальная интенсивность сотрясений $I_{\max}=6-7$ баллов наблюдалась в пунктах ГМС Водопадная ($\Delta=54$ км) и маяк Круглый ($\Delta=84$ км) во время землетрясения (20) 6 июля 2018 г. в 01^h40^m с $ML=6.4$, $h=75$ км.

В г. Петропавловске-Камчатском (П-К) сотрясения с интенсивностью I от 1–2 до 4–5 баллов ощущались в совокупности 46 раз от землетрясений разных магнитуд (классов) в диапазоне $ML=4.25-7.3$ ($K_S=10.0-16.1$), из них 33 события с $ML \geq 5.0$ ($K_S \geq 11.5$) (Прил. 5).

Для расчета механизмов и параметров очагов землетрясений 2018 г. из регионального каталога Камчатки и Командорских островов отбирались события с $ML \geq 5.0$ ($K_S \geq 11.5$), произошедшие в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН; для 2019 г. – все события с $ML \geq 5.0$ ($K_S \geq 11.5$) вне зависимости от того, попадают ли они в зону ответственности или нет. В региональном каталоге Камчатки и Командорских островов (Прил. 2) за 2018 и 2019 гг. набралось, соответственно, 82 и 67 таких событий. Тензор сейсмического момента (ТСМ), глубину h и длительность эквивалентного точечного источника удалось рассчитать для 67 землетрясений 2018 г. в диапазоне $ML=5.0-7.3$ ($K_S=11.5-16.1$) и для 67 событий 2019 г. в диапазоне $ML=5.0-6.5$ ($K_S=11.5-14.4$). Расчеты проводились для модели ТСМ «двойной диполь без момента» с использованием алгоритма, описанного в [13, 14]. 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 .

Результаты расчетов приведены в Прил. 3 и на рис. 7, 8. Оценки моментной магнитуды M_w пересчитаны из M_0 . Для событий 2018 г. они расположены в диапазоне $M_w=4.2-7.3$; для 2019 г. – в диапазоне $M_w=4.1-6.4$.

Для 15 землетрясений 2018 г. с $ML=5.0-6.0$ ($K_S=11.5-13.4$) оценки механизмов и параметров очагов получить не удалось из-за недостатка исходных данных с приемлемым отношением сигнал/шум или вследствие наложения сигналов от нескольких событий; девять из этих событий относятся к афтершоковой последовательности ЗУП 20 декабря 2018 г. ($M_w=7.3$) [10, 11]. Характеристики очага этого землетрясения 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.

Для отобранных событий 2019 г. оценки механизмов и параметров очагов получены для всех землетрясений без исключения.

Сейсмоактивные области 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 [15, 16], 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 2017 год. Для выделенных зон сделаны статистические оценки уровня сейсмичности по шкале «СОУС'09», которые также приведены в табл. 1.

В сейсмофокальной зоне **Курил и Южной Камчатки № 1** в 2018 г. отмечается фоновый высокий уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09», в 2019 г. – фоновый средний уровень сейсмичности (табл. 1). Произошло 905 землетрясений (26.95 % всех событий) – 470 в 2018 г., 435 событий в 2019 году. По трем глубинным сейсмическим слоям события с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$) в 2018 г. распределились следующим образом: поверхностные – $N=351$ (74.68 % всех событий года в зоне № 1), промежуточные – $N=104$ (22.13 %) и глубокие – $N=15$ (3.19 %); в 2019 г.: поверхностные – $N=334$ (76.78 % всех событий года в зоне № 1), промежуточные – $N=75$ (17.24 %) и глубокие – $N=26$ (5.98 %). В 2018–2019 гг. зафиксировано 43 землетрясения с $ML \geq 5$ ($K_S \geq 11.5$) (рис. 7). Самое сильное по энергетической оценке землетрясение сейсмофокальной зоны № 1 – глубокое событие (51) 13 октября 2018 г. в 11^h10^m с $ML=6.95$ ($K_S=15.4$), $h=498.6$ км с эпицентром в акватории Охотского моря в ~160 км от ближайших населенных пунктов западного побережья Камчатки (поселков Октябрьский и Усть-Большерецк) [17]. Землетрясение имело самую большую площадь макросейсмического проявления в 2018–2019 гг. – ощущения зафиксированы на расстоя-

нии $\Delta=321\text{--}1119$ км от эпицентра в 13 населенных пунктах, расположенных на восточном побережье Камчатки ($\Delta=321\text{--}736$ км) и на островах Беринга (с. Никольское, $\Delta=848$ км), Парамушир (г. Северо-Курильск, $\Delta=259$ км) и Кунашир (пос. Южно-Курильск и Горячий Пляж, $\Delta=1113$ и 1119 км). Самые сильные сотрясения до 4 баллов зафиксированы на двух кордонах Кроноцкого заповедника (Кроноки и Узон, $\Delta=533$ и 462 км) и в г. Северо-Курильске. Событие имело макросейсмический эффект, характерный для глубоких землетрясений Курило-Камчатской зоны субдукции [18].

Всего в сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки № 1 произошло 59 ощутимых землетрясений с интенсивностью от 1–2 до 6–7 баллов и $ML=3.75\text{--}6.95$ ($K_S=9.0\text{--}15.4$). Максимальная интенсивность сотрясений $I_{\max}=6\text{--}7$ баллов зафиксирована при землетрясении (20) 6 июля 2018 г. в 01^h40^m с $ML=6.7$, ($K_S=14.9$), $h=75$ км в пунктах гидрометеорологическая станция (ГМС) Водопадная ($\Delta=54$ км) и маяк Круглый ($\Delta=84$ км), расположенных на юге восточного побережья п-ва Камчатка севернее эпицентра. Землетрясение вызвало слабые повреждения зданий. В течение 30–40 с в здании ГМС ощущались очень сильные колебания, здание сотрясилось. Появились тонкие трещины в штукатурке, откололись небольшие куски. Замечены тонкие трещины в кирпичной кладке печи и дымовой трубы. Дымовые трубы асбоцементные, стальные раскачивались, скрежетали. В километре от станции обнаружен обвал скалы значительного объема. По данным станции сильных движений КДТ, расположенной вблизи ГМС Водопадная, инструментальная интенсивность составила 7.3 балла [19]. В жилом здании маяка Круглый в штукатурке также образовались трещины, наблюдалось осыпание штукатурки, лопнула печь отопления. С интенсивностью сотрясений I от 1–2 до 5 баллов землетрясение ощущалось еще в 36 пунктах ($\Delta=76\text{--}332$ км) п-ва Камчатка и о-вов Шумшу и Парамушир. В г. Петропавловске-Камчатском ($\Delta=192$ км) ощущались сотрясения с интенсивностью $I=4\text{--}5$ баллов – самые сильные сотрясения в городе в 2018–2019 гг. (Прил. 5). Землетрясение вызвало афтершоковый процесс – в области очага было зафиксировано 189 событий, из них пять ощутимых (№ 61, 68, 80, 96, 130 в Прил. 5). Самый сильный афтершок (24) 17 июля 2018 г. в 01^h48^m с $ML=5.7$ ($K_S=12.9$), $h=56.4$ км ощущался с интенсивностью сотрясений I от 2 до 5–6 баллов в 13-ти пунктах; максимальная интенсивность зафиксирована на маяке Круглый ($\Delta=91$ км).

В северной части Камчатской сейсмофокальной зоны № 2 в 2018 г. отмечается фоновый повышенный уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09», в 2019 г. – фоновый средний уровень сейсмичности (табл. 1). Произошло 693 землетрясения с $ML\geq 3.5$ ($K_S\geq 8.5$) (20.64 % всех событий), из них 328 событий в 2018 г. и 365 событий в 2019 году. В 2018–2019 гг. не было зафиксировано ни одного землетрясения в глубоком слое северной части Камчатской сейсмофокальной зоны. По остальным двум глубинным сейсмическим слоям землетрясения с $ML\geq 3.5$ ($K_S\geq 8.5$) распределились следующим образом: в 2018 г. поверхностные – $N=240$ (73.17 % всех событий года в зоне № 2), промежуточные – $N=88$ (26.83 %); в 2019 г.: поверхностные – $N=280$ (76.71 % всех событий года в зоне № 2), промежуточные – $N=85$ (23.29 %). В 2018–2019 гг. зафиксировано 31 землетрясение с $ML\geq 5$ ($K_S\geq 11.5$) (рис. 7) и 74 ощутимых землетрясения с интенсивностью сотрясения I от 1–2 до 6 баллов и $ML=3.7\text{--}6.75$ ($K_S=8.9\text{--}15.0$).

Самое сильное по энергетической оценке землетрясение зоны № 2 событие (56), произошедшее в Камчатском заливе 14 ноября 2018 г. в 21^h21^m с $ML=6.75$ ($K_S=15.0$), $h=74.6$ км (Прил. 2), вызвало максимальную интенсивность сотрясений $I_{\max}=6$ баллов в пос. Усть-Камчатск ($\Delta=79$ км) и с. Крутоберегово ($\Delta=83$ км). Нарастающая по силе жесткая тряска ощущалась всеми жителями. Большинство людей в испуге выбежали на улицу, некоторые с трудом держали равновесие. На улице тряска ощущалась так же сильно, наблюдались земляные волны, подпрыгивали машины, сильно раскачивались деревья, птицы все взлетели, лаяли и выли собаки, скулили щенки. (Некоторые домашние питомцы за мгновение до землетрясения вели себя беспокойно, чувствуя приближение подземных толчков). Рыбаки, ловившие рыбу на льду реки, выбежали на берег. От тряски из лунок выплескивалась вода, пошел трещинами лед. Землетрясение сопровождалось глухим подземным гулом. Паники среди населения не было, хотя, по рассказам очевидцев, было страшно. При обследовании администрацией Усть-Камчатского сельского поселения состояния зданий и сооружений зафиксированы трещины с повреждением штукатурки, не представляющие опасности для дальнейшей эксплуатации зданий. Землетрясение проявилось с интенсивностью сотрясений от 2 до 5 баллов еще в 21 пункте Камчатского края ($\Delta=62\text{--}389$ км). В г. Петропавловске-Камчатском ($\Delta=371$ км) интенсивность сотрясений не превышала 2–3 балла (Прил. 5).

Землетрясение сопровождалось афтершоковым процессом – за период 2018–2019 гг. в очаговой зоне локализовано 248 афтершоков. Ощущался только самый сильный афтершок (57) 14 ноября 2018 г. в 21^h29^m с $ML=5.1$ ($K_S=11.7$), $h=80.8$ км в с. Крутоберегово ($\Delta=82$ км) и на ГМС мыс Африка ($\Delta=93$ км) с интенсивностью сотрясений $I=2$ 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 2018–2019 гг. в сопоставлении с их средними оценками за период 1962–2017 гг., а также оценка уровня сейсмичности для различных сейсмоактивных областей внутри границ региона Камчатки и Командорских островов

	№	1			2		3	4	5	6	7	9	10	
	Зона	Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки			Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны		Командорский сегмент Алеутской	Тихий океан	Мелкофокусные землетрясения Северных Курил	Континентальные области Камчатки	Корякский сейсмический пояс	Залив Шелихова	Охотия	
Период	Слой	I	II	III	I	II а	I	I	I	I	I	I	I	Всего
Период 1962–2017 г.	N , ($ML \geq 3.5$)	213	61	10	396	94	134	60	3	44	26	1	1	1043
2018 г.		351	104	15	240	88	399	527	1	12	25	19	4	1785
2019 г.		334	75	26	280	85	372	356	–	9	16	20	–	1573
1962–2017 г.	N/N_{Σ} , %	20.4	5.8	1.0	38.0	9.1	12.8	5.7	0.2	4.2	2.4	0.1	0.1	100
2018 г.		19.7	5.8	0.8	13.4	4.9	22.4	29.5	<0.1	0.7	1.4	1.1	0.2	100
2019 г.		21.2	4.8	1.7	17.8	5.4	23.6	22.6	–	0.6	1	1.3	–	100
1962–2017 г.	N , ($ML \geq 5.0$)	11	3	1	16	2	6	1	–	<1	1	<1	<0.1	42
2018 г.		20	7	2	9	5	19	14	1	1	2	2	–	82
2019 г.		10	2	2	12	5	15	9	–	–	–	3	–	58
1962–2017 г.	ΣE , 10^{14} Дж	1.87	0.68	18.51	2.11	3.16	3.39	0.11	<0.01	0.28	1.7	<0.01	<0.01	31.84
2018 г.		5.89	8.15	25.2	10.1	5.66	123	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	183
2019 г.		0.44	<0.1	1.01	0.46	<0.01	4.75	1.12	–	<0.01	<0.01	0.14	–	8.02
2018 г.	F (lgE)	0.98±0.02			0.91±0.04		0.94±0.03	0.97±0.02	1	0.71±0.06	0.70±0.06	0.93±0.03	0.93±0.03	0.97±0.02
2019 г.		0.71±0.06			0.38±0.06		0.93±0.03	0.95±0.03	0.56±0.06	0.53±0.06	0.41±0.06	0.97±0.02	0.41±0.06	0.70±0.06
2018 г.	Уровень сейсмичности	Высокий			Фоновый повышенный		Фоновый повышенный	Фоновый повышенный	Экстремально высокий	Фоновый средний	Фоновый средний	Фоновый повышенный	Фоновый повышенный	Фоновый повышенный
2019 г.		Фоновый средний			Фоновый средний		Фоновый повышенный	Фоновый повышенный	Фоновый средний	Фоновый средний	Фоновый средний	Фоновый повышенный	Фоновый средний	Фоновый средний

Примечание. Цифрами I, II и III обозначены поверхностный ($0 \leq h \leq 70$ 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 не зарегистрирована.

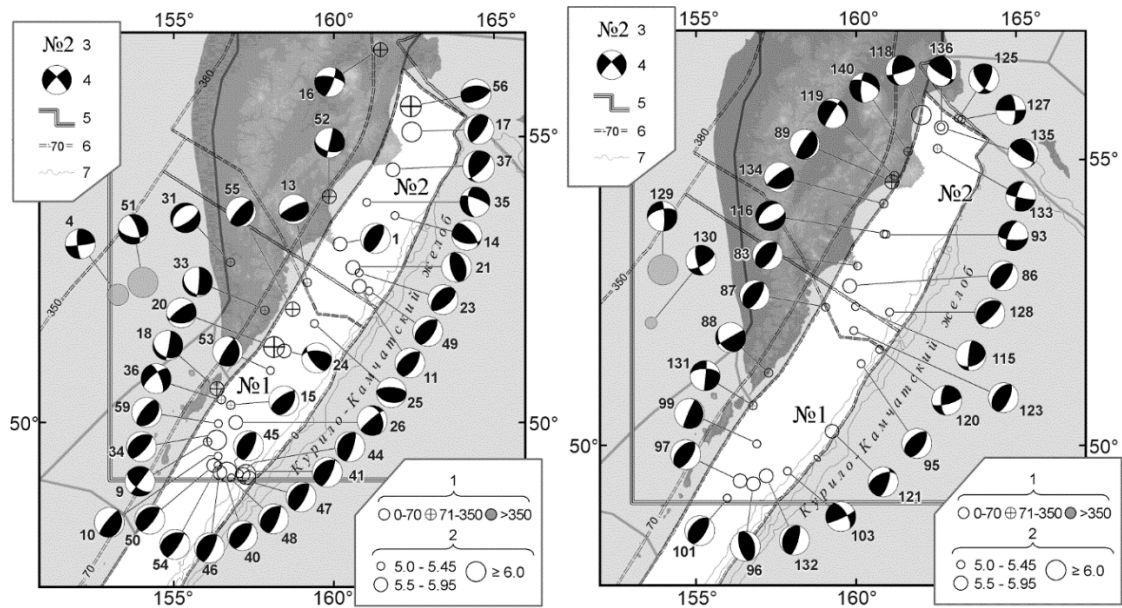


Рис. 7. Карты эпицентров и диаграммы механизмов очагов землетрясений ($ML > 5.0$) Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны № 1 и № 2) за 2018–2019 гг.

1 – глубина гипоцентра h , км; 2 – локальная магнитуда ML ; 3 – номер зоны из табл. 1; 4 – стереограмма механизма очага землетрясения; 5 – граница камчатского региона; 6 – граница зоны (обозначениями $=0=$, $=70=$, $=350$ (380)= $=$ показаны границы слоев с $h=0$, $h=70$, $h=350$ или 380 км соответственно в зонах № 1 и № 2); 7 – изобаты 6000 и 7000 м; число возле стереограммы соответствует номеру землетрясения в каталоге (Прил. 2).

В *Командорском сегменте Алеутской дуги (зона № 3)* уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» в 2018–2019 гг. оценен как фоновый повышенный. Зафиксировано 771 землетрясение (22.96 % всех событий) с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$); 399 в 2018 г., 372 в 2019 г., из них 34 имеют $ML = 5.0–6.55$ ($K_S = 11.5–14.6$) (рис. 8), все события реализованы в поверхностном слое. Самое сильное по энергетической оценке землетрясение зоны № 3 – событие (81) 24 декабря 2018 г. в $12^{\text{h}}41^{\text{m}}$ с $ML = 6.55$ ($K_S = 14.6$), $h = 51.4$ км – является самым сильным афтершоком ЗУП. Землетрясение проявилось с интенсивностью сотрясений I от 2 до 4 баллов в десяти населенных пунктах Камчатского края ($\Delta = 98–452$ км), с $I_{\text{max}} = 4$ балла – на ГМС мыс Африка ($\Delta = 125$ км), в пос. Усть-Камчатск ($\Delta = 163$ км), на кордонах Кроноки ($\Delta = 223$ км) и Аэродром ($\Delta = 259$ км); в ближайшем к эпицентру с. Никольское ($\Delta = 98$ км, на о. Беринга) интенсивность сотрясений не превышала 3 баллов (Прил. 5).

Всего в зоне № 3 ощущалось 63 землетрясения с интенсивностью сотрясений I от 1–2 до 5–6 баллов и $ML = 3.65–7.3$ ($K_S = 8.8–14.6$). Максимальная интенсивность сотрясений $I_{\text{max}} = 5–6$ баллов наблюдалась в ближайшем к эпицентру с. Никольское ($\Delta = 46$ км, о. Беринга) во время землетрясения (5) 25 января 2018 г. в $02^{\text{h}}10^{\text{m}}$ с $ML = 6.25$ ($K_S = 14.0$), $h = 45.6$ км (Прил. 5). Все жители села ощущали продолжительную сильную жесткую вертикальную тряску. Здания сотрясались в целом. Со слов респондентки (жительницы села), в квартире на первом этаже в двухэтажном деревянном многоквартирном доме землетрясение началось с сильного толчка. Затряслась вся мебель, открылись верхние мебельные дверцы у шкафов, холодильник «заходил ходуном», сильно раскачивалась люстра, слегка сдвинулся старый кинескопный телевизор, стоящий на тумбе. Дом скрипел и сотрясался. Сын респондентки 12 лет сильно испугался, встал в дверной проем. В окно женщина наблюдала, как на улицу из домов в испуге выходили люди. Со слов сына респондентки, от тряски в двухэтажной школе в кабинете на первом этаже упали цветочные горшки, стоявшие на шкафу. По данным расположенной в селе станции сильных движений ВКИ инструментальная интенсивность составила 5.6 балла [19].

Следует отметить два землетрясения 2019 г. (106, 107), локализованные в Камчатском проливе, отнесенные к категории событий-дуплетов. Землетрясение 25 июня 2019 г. в $09^{\text{h}}05^{\text{m}}$ с $ML = 6.4$ ($K_S = 14.3$), $h = 57$ км ощущалось с интенсивностью сотрясений I от 2 и до 5 баллов в девяти населенных пунктах Камчатского края ($\Delta = 65–302$ км) (Прил. 5). На ближайшей к эпи-

центру ГМС мыс Африка ($\Delta=65$ км, $I=5$ баллов) около 10 секунд сильно трясло дом, падали мелкие предметы. В пос. Усть-Камчатск ($\Delta=116$ км, $I=5$ баллов) продолжительное время ощущалось сильное плавное раскачивание. Много людей в испуге выбежали на улицу. В квартире на первом этаже открылись все межкомнатные двери, на верхних этажах пятиэтажных многоквартирных зданий падали мелкие и неустойчивые предметы. По данным станции сильных движений UK1, расположенной в поселке, инструментальная интенсивность составила 5.2 балла [19]. В с. Крутоберегово ($\Delta=106$ км, $I=5$ баллов) на четвертом этаже пятиэтажного панельного жилого дома респондентка сначала почувствовала отчетливое, а затем сильное плавное раскачивание, длившееся около 20 секунд. Когда женщина вскочила с дивана, возникло ощущение, что пол уходит из-под ног. Сильно качалась люстра, дребезжала посуда, стоящая на кухонном столе, в стакане колебалась вода; с кухонного подоконника упали три горшка с цветами, два из них разбились. Респондентка была сильно испугана, встала в безопасное место. Многие из ее соседей вышли на улицу. После землетрясения женщина обратила внимание, что на лестничной площадке со старых трещинок в потолке осыпались мелкие кусочки штукатурки; дома никаких повреждений обоев, стен, потолка не обнаружила. По данным станции сильных движений KBG, расположенной в с. Крутоберегово, инструментальная интенсивность составила 5.7 балла [19].

Произошедшее через 17 часов второе землетрясение дуплета (107) 26 июня 2019 г. в 02^h18^m с $ML=6.45$ ($K_S=14.4$), $h=52.5$ км ощущалось слабее. Событие проявилось с интенсивностью сотрясений I от 3–4 и до 4 баллов в четырех ближайших населенных пунктах ($\Delta=62$ –149 км) и на кордоне Кроноки ($\Delta=267$ км) (Прил. 5). В этот же день силами специалистов отдела ГО и ЧС и администрации Усть-Камчатского сельского поселения было проведено обследование социально значимых объектов на территории пос. Усть-Камчатск. Разрушений несущих конструкций и трещин в зданиях не обнаружено.

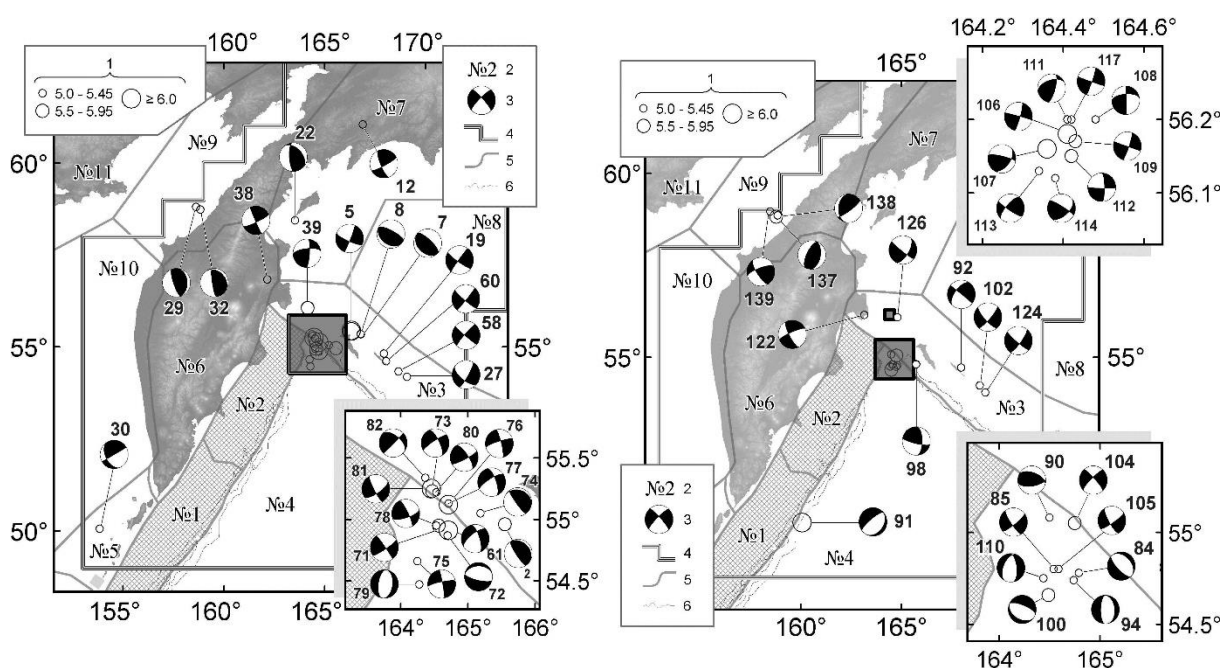


Рис. 8. Карта эпицентров и диаграммы механизмов очагов землетрясений ($ML \geq 5.0$) зон № 3–11 за 2018–2019 гг.

1 – локальная магнитуда ML ; 2 – номер зоны из табл. 1; 3 – стереограмма механизма очага землетрясения; 4 – граница камчатского региона; 5 – границы зон из табл. 1; 6 – изобаты 6000 и 7000 м; число возле стереограммы соответствует номеру землетрясения в каталоге (Прил. 2).

В Тихом океане (зона № 4) в 2018–2019 гг. отмечается фоновый повышенный уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» (табл. 1). Всего произошло 883 землетрясения с $ML \geq 3.5$: 527 событий в 2018 г. и 356 в 2019 г., из которых 23 сильных события с $ML=5.0$ –7.3 ($K_S=11.5$ –16.1) и 21 ощутимое землетрясение с интенсивностью сотрясений от 2 до 5–6 баллов и $ML=4.35$ –7.3 ($K_S=10.2$ –16.1).

20 декабря 2018 г. в 17^h01^m с $ML=7.3$ ($K_S=16.1$), $M_w=7.3$, $h=53.6$ км на крайнем северо-западе Тихого океана, южнее области сочленения Курило-Камчатской и Алеутской дуг, в зоне ответственности Камчатского филиала произошло самое сильное землетрясение (61) в 2018–2019 гг. (Прил. 2) – ЗУП. Землетрясение является сильнейшим внутриплитным событием, принадлежность которого к району южнее зоны сочленения Камчатского и Алеутского желобов надежно установлена. Событие породило слабую волну цунами, инструментально зарегистрированную глубоководными мореографами на расстояниях 720–780 км от эпицентра. На побережьях Камчатки и Командорских островов цунами не зафиксировано. Разрушений и пострадавших в результате этого события нет. Проведен опрос населения в 62 населенных пунктах Камчатского края. Событие ощущалось на расстоянии $\Delta \sim 90$ –500 км от эпицентра с интенсивностью сотрясений от 2 до 5–6 баллов в 36 пунктах (Прил. 5). Самые сильные проявления $I=5$ –6 баллов отмечены в ближайшем от эпицентра пункте – с. Никольское ($\Delta \sim 90$ км, о. Беринга), где в течение 1 минуты ощущалась сильная равномерная жесткая тряска. В селе проснулись все жители. Немногие люди выбежали из домов, некоторые в панике. Другие люди оставались в помещении по причине непогоды – был сильный ветер и метель; кто остался в помещении, придерживал от падения незакрепленную мебель и большие телевизоры. Мебель громыхала, сильно раскачивались висащие предметы. Застройка села состоит преимущественно из 12-квартирных двухэтажных деревянных домов, несколько зданий – из мелкоблочных конструкций. Здания сотрясались в целом. В двухэтажных новых домах сдвигалась мебель, упала и разбилась посуда. В помещении ГМС (первый этаж в двухэтажном мелкоблочном здании) упали мелкие предметы на столах и книги с полок, сильно раскачивался высокий тяжелый шкаф и висащие предметы; дежурная сотрудница в сильном испуге и в панике, не одеваясь, выбежала на улицу. Землетрясение началось и закончилось резко. По сообщению администрации Алеутского района, повреждения зданий и сооружений в с. Никольское не зафиксированы. Инструментальная интенсивность по данным станции сильных движений ВКИ составила 6 баллов. В Петропавловске-Камчатском ($\Delta \sim 500$ км) ЗУП ощущалось с интенсивностью 3–4 балла. За основным толчком землетрясения последовала длительная и многочисленная серия афтершоков, за период 2018–2019 гг. зафиксировано 4140 афтершоков, все они преимущественно располагались на глубине 35–55 км. Проведя аналитическую работу по сейсмической активности в месте расположения ЗУП за предыдущие годы, обратили внимание, что в конце 2016 г. около месяца наблюдалась повышенная сейсмическая активность в этом районе, самые сильные события были расположены вблизи будущего эпицентра ЗУП на глубине 30–50 км. При рассмотрении механизмов некоторых сильных землетрясений конца 2016 г., были получены те же закономерности, что и у механизма ЗУП. Сходство этих параметров с аналогичными для ЗУП и относительная близость во времени, месту и глубине позволяет предположить, что эти события являлись форшоками ЗУП.

В *зоне Северные Курилы (зона № 5)* в 2018 г. по шкале «СОУС'09» отмечается экстремально высокий уровень сейсмичности, в 2019 г. фоновый средний (табл. 1). За эти два года в зоне № 5 произошло только одно землетрясение (30) 27 августа 2018 г. в 15^h40^m с $ML=5.05$ ($K_S=11.6$), $h=6.6$ км (Прил. 2).

В *континентальных областях Камчатки (зона № 6)* в 2018–2019 гг. отмечается фоновый средний уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» (табл. 1). Зафиксировано 21 землетрясение с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), из которых два события ощутимых – единственное сильное землетрясение (38) 3 октября 2018 г. в 17^h52^m с $ML=5.05$ ($K_S=11.6$), $h=8.7$ км с интенсивностью сотрясений $I=2$ –3 балла в пос. Усть-Камчатск ($\Delta=70$ км) и событие 24 августа 2019 г. в 20^h45^m с $ML=4.15$ ($K_S=9.8$), $h=8.7$ км с $I=3$ –4 балла в пос. Ключи ($\Delta=16$ км) (Прил. 2 и 5).

В *Корякском сейсмическом поясе (зона № 7)* по шкале «СОУС'09» в 2018–2019 гг. отмечается фоновый средний уровень сейсмичности и фоновый повышенный уровень сейсмичности соответственно (табл. 1). Всего произошло 41 землетрясение с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), из которых два события с $ML=5.0$ и 5.15 ($K_S=11.5$ и 11.8) и шесть ощутимых землетрясений с интенсивностью сотрясений I от 2 до 4–5 баллов и $ML=4.05$ –5.15 ($K_S=9.6$ –11.8). Максимальная интенсивность сотрясений $I_{\max}=4$ –5 баллов наблюдалась на маяке Карагинский ($\Delta=12$ км) во время события (22) 8 июля 2018 г. в 08^h25^m с $ML=5.15$ ($K_S=11.8$), $h=16.5$ км (Прил. 2 и 5).

Залив Шелихова (зона 9) – в 2018–2019 гг. отмечается фоновый повышенный уровень сейсмичности. В зоне зафиксировано 51 землетрясение с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), из которых пять событий с $ML=5.05$ –5.8 ($K_S=11.6$ –13.1) и три ощутимые землетрясения с интенсивностью сотрясений I от 2 до 3–4 баллов и $ML=4.85$ –5.8 ($K_S=11.2$ –13.1). Максимальная интенсивность сотрясений

I_{\max} = 3–4 балла наблюдалась при землетрясении (137) 26 декабря 2019 г. в 17^h13^m с $ML=5.8$ ($K_S=13.1$), $h=13.6$ км в пос. Палана ($\Delta=72$ км) и с. Тигиль ($\Delta=118$ км). Ощущалось в селах Седанка ($\Delta=125$ км, $I=3$ балла) и Лесная ($\Delta=123$ км) (Прил. 2 и 5).

В зонах **Берингово море (№ 8)** и **Охотия (№ 10)** ежегодно наблюдается низкая сейсмическая активность (в абсолютном измерении). Так, камчатской региональной сетью станций в 2018–2019 гг. в зоне № 8 не зарегистрировано ни одного землетрясения с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), в зоне № 10 локализовано четыре события с $ML=3.7–4.9$ ($K_S=8.9–11.3$).

Заключение. Наибольший вклад в отличие картины сейсмичности 2018–2019 гг. от среднегодовых значений внесли две зоны сейсмичности: Тихий океан и Залив Шелихова. Произошедшее в 2018 г. землетрясение Углового поднятия привело к превышению среднегодовой выделенной сейсмической энергии для зоны Тихий океан более чем на два порядка. В зоне Залив Шелихова на протяжении 2018–2019 гг. регистрировалось число землетрясений с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), более чем на порядок превышающее среднегодовые значения в этой зоне.

Для каталога Камчатки и Командорских островов число зафиксированных событий в 2018–2019 гг. с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$) и сильных землетрясений с $ML \geq 5.0$ ($K_S \geq 11.5$) превышает среднегодовое значение в полтора раза.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01471-22) 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. Нужида, Е.А. Матвеевко, 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_2018–2019 (<http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>): 1 – Сейсмические станции сети Камчатки и Командорских островов в 2018–2019 гг.; 2 – Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2018–2019 гг.; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2018–2019 гг.; 5 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Камчатки и Командорских островов в населенных пунктах в 2018–2019 гг.; 6 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2018–2019 гг.

Л и т е р а т у р а

1. Чебров Д.В., Тихонов С.А., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я., Матвеевко Е.А. Митюшкина С.В., Салтыков В.А., Сеньюков С.Л., Серафимова Ю.К., Сергеев В.А., Ящук 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., Сеньюков С.Л., Шевченко Ю.В., Митюшкина С.В. Камчатка и Командорские острова. I. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 71–81.
3. Чебров Д.В., Дрознина С.Я., Сеньюков С.Л., Шевченко Ю.В., Митюшкина С.В. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 73–82.
4. Чебров В.Н., Левина В.И., Ландер А.В., Чеброва А.Ю., Сеньюков С.Л., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Региональный каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов 1962–2010 гг.: технология и методика создания // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 396–406.
5. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34.
6. Салтыков В.А., Волович О.Г. О проблеме оценки пространственно-временных особенностей представительности каталога землетрясений Камчатки // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Шестой научно-технической конференции / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – URL: <http://emsd.ru/conf2017lib/pdf/seism/saltikov.pdf>

7. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Воропаев П.В. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2018 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 89–97.
8. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Воропаев П.В. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 84–92.
9. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканонология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
10. Чебров Д.В., Ландер А.В., Кугаенко Ю.А., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Салтыков В.А., Титков Н.Н., Чеброва А.Ю. Землетрясение Углового поднятия и условия тектонического растяжения на северо-западе тихоокеанской плиты // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Седьмой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября–7 октября 2019 г. / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 228–232.
11. Чебров Д.В., Кугаенко Ю.А., Ландер А.В. и др. Землетрясение Углового поднятия 20 декабря 2018 г. $M_w=7.3$ в зоне сочленения Камчатского и Алеутского океанических желобов // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. – 2020. – № 1. – С. 100–117.
12. ГОСТ Р 57546–2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 27 с.
13. 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.
14. 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>
15. Чебров В.Н., Дрознина С.Я., Сеньюков С.Л., Ландер А.В. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2013 году. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 58–65.
16. Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю. Сейсмичность Камчатского региона 1962–2011 гг. // Вулканонология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 41–64.
17. Чебров Д.В., Чеброва А.Ю., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Митюшкина С.В., Копылова Г.Н., Ототюк Д.А., Павлов В.М., Сеньюков С.Л. Глубокое ($h\sim 500$ км) землетрясение 13.10.2018 г. с $M_w=6.7$ в Камчатской зоне субдукции с эпицентром в Охотском море // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2019. – Вып. 41, № 1. – С. 5–11. – URL: <http://www.kscnet.ru/journal/kraesc/article/viewFile/230/pdf>
18. 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. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 314–323.
19. Дрознин Д.В., Чебров Д.В., Дрознина С.Я., Ототюк Д.А. Автоматизированная оценка интенсивности сейсмических сотрясений по инструментальным данным в режиме, близком к реальному времени, и ее использование в рамках Службы срочных сейсмических донесений на Камчатке // Сейсмические приборы. – 2017. – Т. 53, № 3. – С. 5–19.

SEISMICITY of KAMCHATKA and COMMANDER ISLANDS in 2018–2019

D.V. Chebrov, E.A. Matveenko, E.I. Romasheva, V.A. Saltikov, I.R. Abubakirov, S.Ya. Droznina, S.V. Mityushkina, V.M. Pavlov, A.A. Raevskaya

*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 2018–2019 is given. In the Kamchatka earthquake catalogue, the minimum local magnitude of completeness is $ML_{\min}=3.8$, and for the Kamchatka seismically active region (latitude = 50.5–56.5° N, longitude = 156.5–167° E) $ML_{\min}=3.7$, and for earthquakes with $h\geq 350$ km under the Okhotsk sea $ML_{\min}=3.8$. The Kamchatka earthquake catalogue for 2018–2019, published in the Appendix to this article, includes 3646 events with $ML\geq 3.5$; 228 earthquakes with $ML=3.65-7.3$ 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 134 events with $ML\geq 5.0$ that occurred in 2018–2019 within the area of responsibility of Kamchatka branch of Geophysical Survey RAS, an attempt to calculate the seismic moment tensor (SMT) was made. The SMT and depth h of the equivalent point source were calculated for 67 earthquakes in 2018 with a range of $ML=5.0-7.3$, and for 67 events in 2019 with a range of $ML=5.0-6.45$. The level of

seismicity according to the "SOUS'09" scale in 2018 corresponded to the "background increased", but within the assessment accuracy – "high"; for 2019 it was the "background average". On December 20, 2018, there was a strong earthquake with $M_w=7.3$, named "the Angular Uplift earthquake". This earthquake was the strongest intraplate event, which belongs to the region south of the junction zone of the Kamchatka and Aleutian trenches. 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., Matveenko, E.A., Romasheva, E.I., Saltikov, V.A., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ya., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., & Raevskaya, A.A. (2023). [Seismicity of Kamchatka and Commander Islands in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 171–184. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.14> EDN: YYEACE

References

1. Chebrov, D.V., Tikhonov, S.A., Droznin, D.V., Droznina, S.Ya., Matveenko, 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. (2020). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2018 godu* [Earthquakes in Russia, 2020] (pp. 71–81). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
3. Chebrov, D.V., Droznina, S.Ya., Senyukov, S.L., Shevchenko, Yu.V., & Mityushkina, S.V. (2021). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2019 godu* [Earthquakes in Russia, 2021] (pp. 73–82). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
4. Chebrov, V.N., Levina, V.I., Lander, A.V., Chebrova, A.Yu., Senyukov, S.L., Droznin, D.V., & Droznina, S.Ya. (2016). [Regional earthquake catalogue of Kamchatka and Komandor Islands in 1962–2010: technology and method of formation]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2010 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 396–406). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
5. 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>
6. Saltykov, V.A., & Volovich, O.G. (2017). [On the problem of estimating the space-time features of the representativeness of the Kamchatka earthquake catalog]. *Trudy Shestoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii "Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii"* [Proceedings of the Sixth Scientific and Technical Conference "Problems of complex geophysical monitoring of Far East of Russia"]. Retrieved from <http://emsd.ru/conf2017lib/pdf/seism/saltikov.pdf> (In Russ.).
7. Saltykov, V.A., Kravchenko, N.M., & Voropaev, P.V. (2019). [Quantitative analysis of Kamchatka seismicity]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2018 godu* [Earthquakes in Russia, 2019] (pp. 89–97). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
8. Saltykov, V.A., Kravchenko, N.M., & Voropaev, P.V. (2020). [Quantitative analysis of Kamchatka seismicity]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2019 godu* [Earthquakes in Russia, 2020] (pp. 84–92). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (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. Chebrov, D.V., Lander, A.V., Kugaenko, Yu.A., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ya., Mityushkina, S.V., Pavlov, V.M., Saltykov, V.A., Titkov, N.N., & Chebrova, A.Yu. (2019). [Angular Uplift earthquake and tectonic stretching conditions in the Northwest Pacific Plate]. In *Trudy Sed'moy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii" 29 sentyabrya–7 oktyabrya 2019* [Proceedings of the 7th Scientific and Technical Conference "Problems of complex geophysical monitoring of Far East of Russia"] (pp. 228–232). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). Retrieved from <http://www.emsd.ru/conf2019lib/rpdf/seism/chebrov.pdf>
11. Chebrov, D.V., Kugaenko, Yu.A., & Lander, A.V. (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, 100–117. (In Russ.).
12. GOST R 57546-2017. (2017). [Earthquakes. Seismic Intensity Scale]. Moscow, Russia: Standardin form Publ., 27 p. (In Russ.).

13. Pavlov, V.M., & Abubakirov, I.R. (2012). Algorithm for Calculation of Seismic Moment Tensor of Strong Earthquakes Using Regional Broadband Seismograms of Body Waves. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences], 2(20), 149–158. (In Russ.).
14. Abubakirov, I.R., & Pavlov, V.M. (2021). Determining the Double Couple Moment Tensor for Kamchatka Earthquakes from Regional Seismic Waveforms. *Izvestiya, Physics of the solid Earth*, 57(3), 332–347. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S1069351321030010>
15. Chebrov, V.N., Droznina, S.Ya., Senyukov, S.L., & Lander, A.V. (2015). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2013 godu* [Earthquakes in Russia, 2013] (pp. 58–65). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
16. Levina, V.I., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., & Chebrova, A.Yu. (2013). The seismicity of the Kamchatka region: 1962–2011. *Journal of Volcanology and Seismology*, 7(2), 37–57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0742046313010053>
17. Chebrov, D.V., Chebrova, A.Yu., Abubakirov, I.R., Droznina, S.Ya., Mityushkina, S.V., Kopilova, G.N., Ototuk, D.A., Pavlov, V.M., & Senyukov, S.L. (2019). The October 13, 2018 deep earthquake with $M_w=6.7$ in the Kamchatka subduction zone with the epicenter in the Sea of Okhotsk. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences], 1(41), 5–11. (In Russ.).
18. Levina, V.I., Mityushkina, S.V., Chebrova, A.Yu., & Ivanova E.I. (2010). [Tumrok-I earthquake on June 16, 2003 and Tumrok-II earthquake on June 10, 2004 with $M_w=6.8$, $I_0=5-6$ (Kamchatka)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2004 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2004] (pp. 314–323). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
19. Droznin, D.V., Chebrov, D.V., Droznina, S.Ya., & Ototyuk, D.A. (2017). Automated assessment of the intensity of seismic shaking from instrumental data in near real time and its use within the framework of the Urgent Seismic Reporting Service in Kamchatka. *Seismic Instruments*, 53(3), 5–19.