

СЕЙСМИЧНОСТЬ КАМЧАТКИ и КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ в 2016–2017 гг.

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

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

Аннотация. Приведен обзор сейсмичности Камчатки и прилегающих территорий за 2016–2017 гг. Представительность каталога землетрясений Камчатки по зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН может оцениваться как $ML_{min}=4.0$ ($K_{Smin}=9.4$), а для Охотоморских землетрясений, происходящих на глубине нескольких сотен километров, – $ML_{min}=4.3$ ($K_{Smin}=10.0$). Публикуемый в настоящем выпуске журнала каталог землетрясений 2016–2017 гг., зарегистрированных Камчатской региональной сетью, включает 2898 событий с $ML \geq 3.5$, где локальная магнитуда $ML = Ks/2 - 0.75$. Из них 191 событие с $ML = 3.6 - 7.3$ ощущалось с интенсивностью I от 2 до 6 баллов по шкале MSK-64 на Камчатке и прилегающих территориях. Для 102 землетрясений с $ML \geq 5.0$ из зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН рассчитаны тензор сейсмического момента и глубина h эквивалентного точечного источника. Расчеты проводились для модели TCM «двойной диполь без момента» с использованием нелинейного алгоритма. Уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» в 2016 г. соответствует фоновому повышенному, для 2017 г. также фоновому повышенному, в пределах точности оценки – высокому. В 2016–2017 гг. в пределах Камчатской зоны ответственности наблюдалась нетипичная картина расположения эпицентров землетрясений, обусловленная реализацией двух сильных сейсмических событий – Ближне-Алеутского 17 июля 2017 г. ($M_w=7.8$) и Южно-Озерновского 29 марта 2017 г. ($M_w=6.6$) – и их афтершоковыми процессами.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.14 **EDN:** VBTEYB

Для цитирования: Чебров Д.В., Салтыков В.А., Дрознина С.Я., Ромашева Е.И., Митюшкина С.В., Абубакиров И.Р., Павлов В.М., Раевская А.А., Матвеевко Е.А. Сейсмичность Камчатки и Командорских островов в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 164–175. DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.14. EDN: VBTEYB

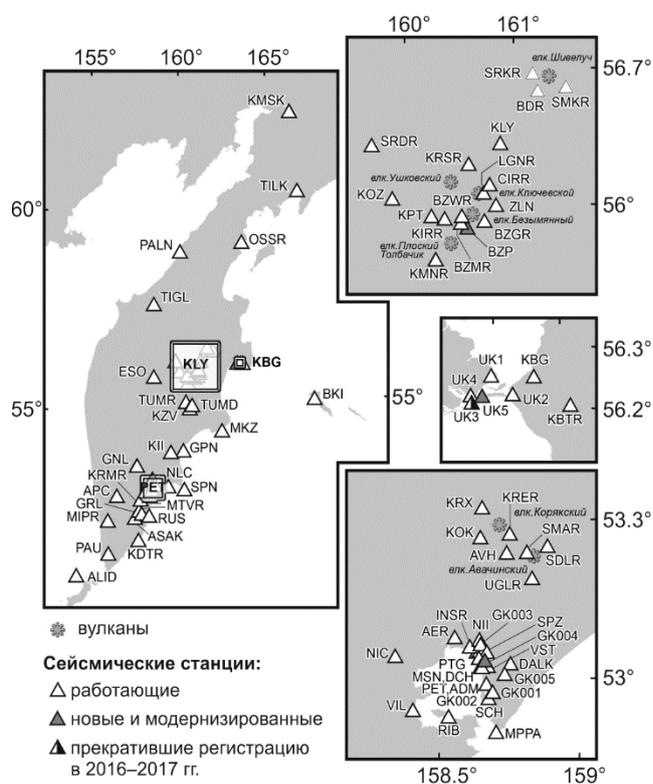


Рис. 1. Сеть сейсмических станций Камчатки в 2016–2017 гг.

Сеть сейсмических станций.

В 2016–2017 гг. продолжилась работа по модернизации сети сейсмических станций Камчатки [1], сведения о которых приведены в Приложении 1 и на рис. 1. В 2016 г. из-за отсутствия электроэнергии была закрыта станция «Морской порт» (УК3), оборудование со станции было использовано при установке новой станции «УК-Дельта» (УК5). В районе вулкана Безымянный в сентябре 2016 г. была установлена новая станция «Безымянный-перевал» (BZP) с короткопериодным комплектом оборудования. Подробное описание изменений в сети изложено в [2, 3].

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

Представительность каталога землетрясений Камчатки в целом по зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН может оцениваться как $ML_{min}=4.0$ ($K_{Smin}=9.4$) [6], для

Камчатской сейсмоактивной области ($\varphi=50.5\text{--}56.5^\circ$ с.ш., $\lambda=156.5\text{--}167^\circ$ в.д.) – $ML_{\min}=3.0$ ($K_{S\min}=7.5$), а для охотоморских землетрясений, происходящих на глубине нескольких сотен километров, – $ML_{\min}=4.3$ ($K_{S\min}=10.0$). Ухудшение представительности полного каталога для зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН в 2016–2017 гг. по сравнению с предыдущими годами связано с произошедшей сейсмической активизацией (афтершоковый процесс сильнейшего Ближне-Алеутского землетрясения 17 июля 2017 г. в $23^{\text{h}}34^{\text{m}}$, $M_w=7.8$ за пределами наблюдательной сети, но в зоне ответственности).

Как показано в [7], оценка региональной представительности по графику Гутенберга-Рихтера для больших пространственных областей некорректна, поэтому реальная представительность каталога землетрясений Камчатки в 2016–2017 гг. может быть оценена путем сканирования сейсмоактивной области ячейками относительно небольшого размера и последующего объединения полученных результатов. На рис. 2 представлена карта представительности каталога землетрясений 2016–2017 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 ML_{\min} или по энергетическому классу K_{\min} со статистической значимостью $\alpha=0.3$. Используемый каталог ограничен снизу локальной магнитудой $ML=2.5$ (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.

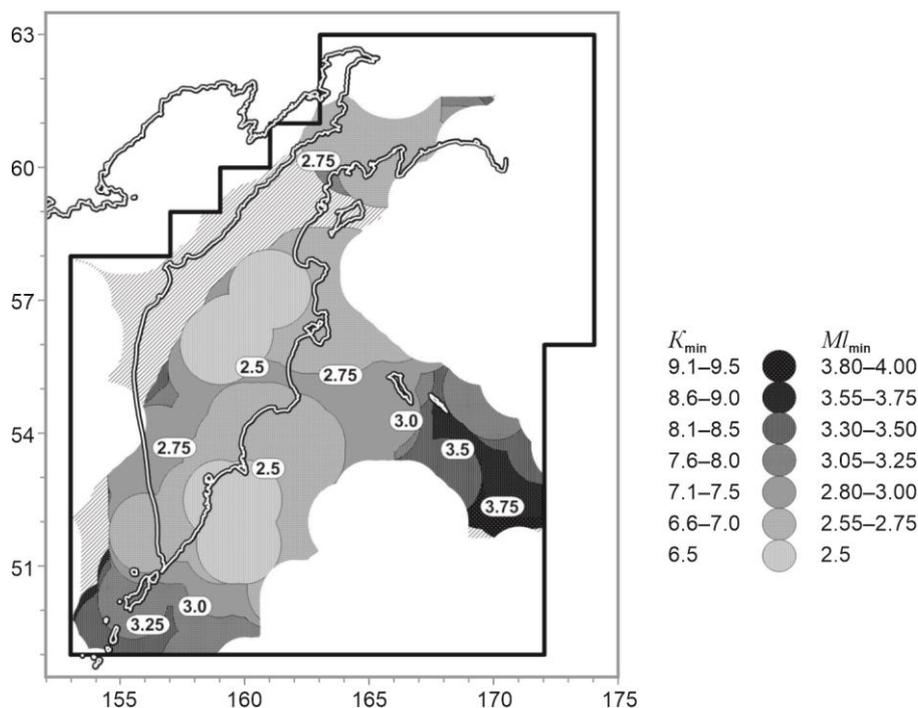


Рис. 2. Карта региональной представительности каталога землетрясений 2016–2017 гг. в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН

Незакрашенной области соответствует отсутствие землетрясений в 2016–2017 гг. Косая штриховка обозначает территории, где плотность землетрясений представительной магнитуды не достигла порогового для расчета уровня $N=25$ на единичный круг.

Характеристика исходных данных. Детальный анализ параметров сейсмического режима в 2016–2017 гг. представлен в работах [8, 9]. Каталог землетрясений, публикуемый в настоящем выпуске журнала (Прил. 2), включает 2898 событий с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$), зарегистрированных Камчатской региональной сетью сейсмических станций. Из них 2616 событий находятся внутри зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН, а 282 – за ее пределами. Анализ сейсмичности в данной статье проводится по землетрясениям внутри зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН.

Всего в 2016–2017 гг. внутри зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН определены эпицентры 14276 землетрясений в энергетическом диапазоне $ML=0.2-7.3$ ($K_S=1.8-16.1$). Распределение числа землетрясений по магнитудам с шагом 0.5 и по энергетическим классам с шагом 1 приведено на рис. 3.

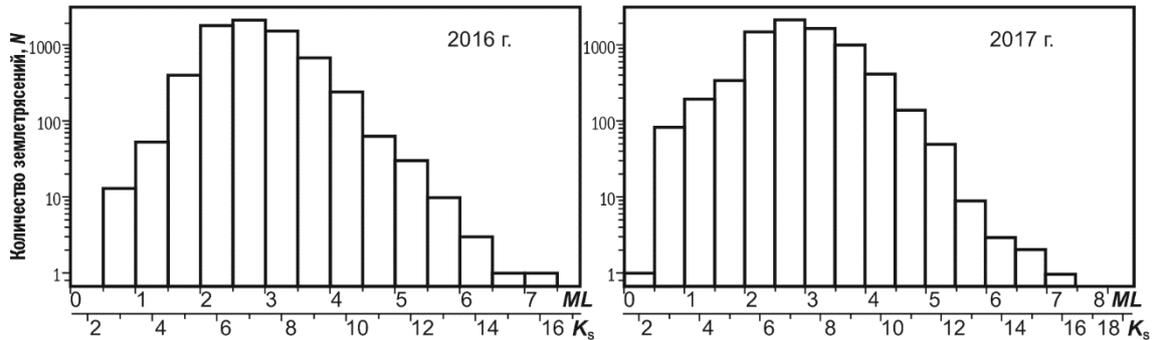


Рис. 3. Распределение числа землетрясений по магнитудам ML (энергетическим классам K_S) в 2016 г. и в 2017 г. для зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН

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 (<http://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 2016 (слева) и 2017 (справа) годы. Вертикальные разрезы поля гипоцентров также показаны отдельно за 2016 и 2017 гг.: (б) – продольный разрез $B-B'$ (в центре рис. 4) и (в) – поперечный разрез $A-A'$ (внизу рисунка). В Камчатском регионе в 2016–2017 гг. зафиксировано 120 землетрясений (109 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).

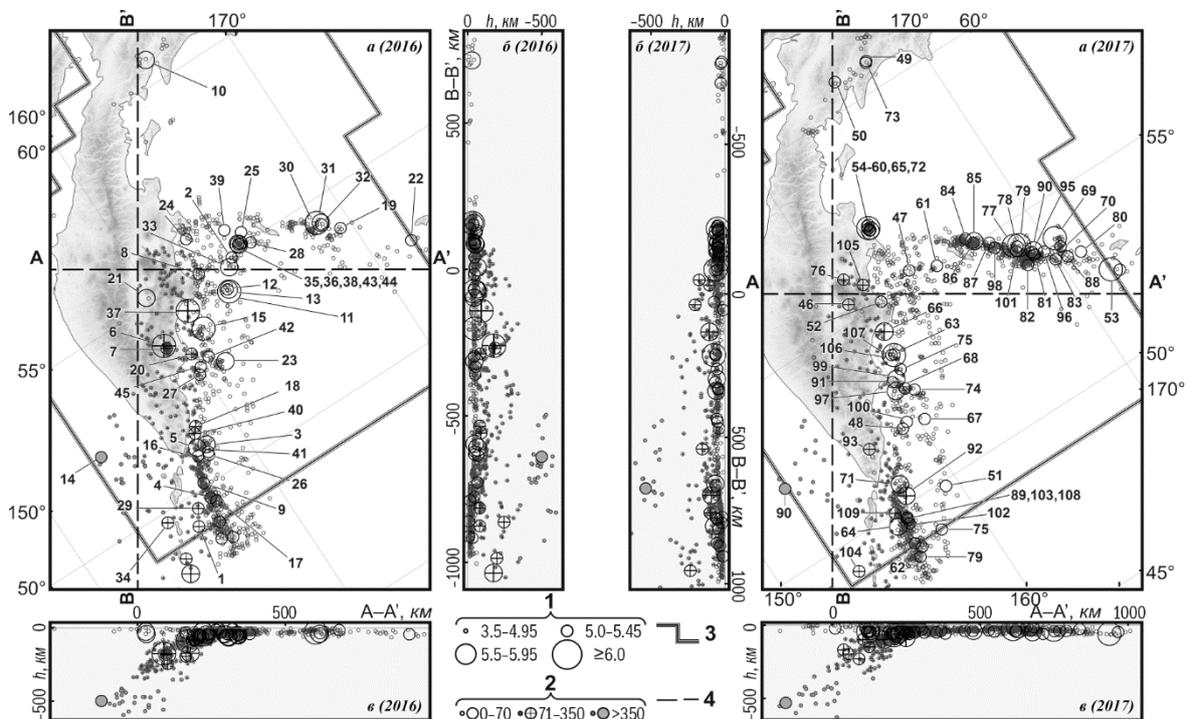


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Камчатки с $ML \geq 3.5$ за 2016 и 2017 гг. (а); проекции на вертикальные плоскости $A-A'$ (в) и $B-B'$ (б)

1 – локальная магнитуда ML ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3 – граница Камчатского региона; 4 – линия вертикального разреза вкостр (A–A') и вдоль (B–B') фокальной зоны; числа 1–109 соответствуют номерам землетрясений с $ML \geq 5.0$ ($K_S \geq 11.5$) согласно каталогу (Прил. 2).

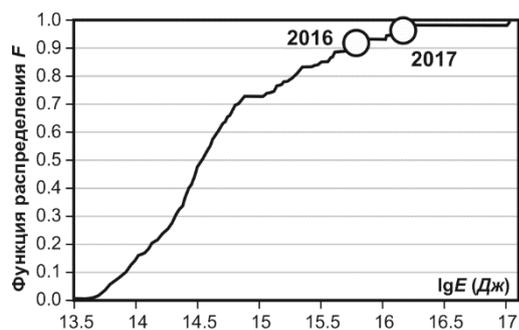


Рис. 5. Функция распределения F годовой сейсмической энергии для региона Камчатки и Командорских островов

Кружком отмечены значения функции распределения F в 2016 и 2017 гг.

Уровень сейсмичности в регионе Камчатки и Командорских островов оценивался исходя из величины функции распределения F для выделившейся в 2016 и 2017 гг. сейсмической энергии. Методика расчета функции распределения F и градации шкалы уровня сейсмичности «СОУС'09» описаны в [10, 11]. В 2016 г. суммарная энергия всех зарегистрированных в зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН землетрясений составила $\Sigma E = 6.1 \cdot 10^{15}$ Дж, в 2017 г. – $\Sigma E = 1.46 \cdot 10^{16}$ Дж. Функция распределения F выделившейся за год сейсмической энергии построена по данным за 1962–2019 гг. (рис. 5). Для 2016 г. $F = 0.92 \pm 0.04$, что соответствует фоновому повышенному, а для 2017 г. $F = 0.96 \pm 0.02$, что также соответствует фоновому повышенному (но в пределах точности оценки – высокому) уровню сейсмичности по шкале «СОУС'09».

На рис. 6 а представлены ежесуточные числа N землетрясений с $ML \geq 3.5$ и их кумулятивный график для зоны ответственности Камчатского филиала. В 2016–2017 гг. наблюдался равномерный поток землетрясений, в среднем регистрировалось по 3–4 события с $ML \geq 3.5$ в день. Максимальный всплеск на рисунке обусловлен форшоками и афтершоками землетрясения 17 июля 2017 г. [12] (79 на рис. 4 а). Второй по «высоте» пик на рис. 6 а обусловлен сейсмичностью, связанной с Южно-Озерновским землетрясением 29 марта 2017 г. [13] (54).

Наиболее заметные скачки на графике выделившейся сейсмической энергии (рис. 6 б) вызваны землетрясениями с $ML \geq 6.5$ ($K_S \geq 14.5$). Эти события отмечены на графике кружками и пронумерованы в соответствии с каталогом (Прил. 2).

Два наибольших скачка на рис. 6 б связаны с двумя сильнейшими камчатскими событиями 2016–2017 гг.:

- землетрясение (6) 30 января 2016 г. в промежуточном слое северной части Камчатской сейсмофокальной зоны ($ML = 7.1$, $M_w = 7.2$), получившее название «Жупановское землетрясение» в соответствии с географическим положением его эпицентральной области [14];
- землетрясение (79) 17 июля 2017 г. в поверхностном слое сейсмофокальной зоны Командорского сегмента Алеутской дуги с эпицентром в Тихом океане, в 208 км на юго-восток от села Никольское ($ML = 7.3$, $M_w = 7.8$) [12].

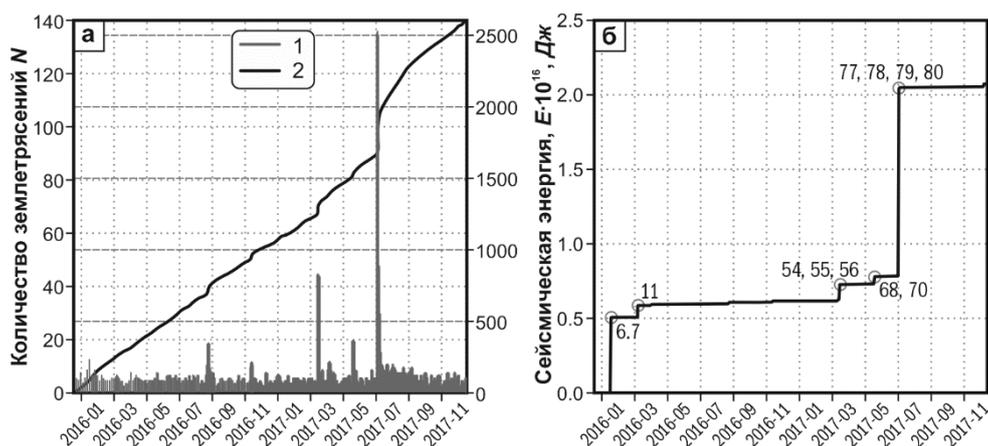


Рис. 6. Ежесуточное число N землетрясений с $ML \geq 3.5$ (а); кумулятивный график выделившейся сейсмической энергии ΣE (б) в 2016–2017 гг. для зоны ответственности сети КФ ФИЦ ЕГС РАН

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 Курил в 2016–2017 гг. с интенсивностью I от 2 до 6 баллов по шкале MSK-64 [15] ощущалось 191 землетрясение (из них два вне зоны ответственности) с $ML = 3.6–7.3$ ($K_S = 8.7–16.1$) (Прил. 4), все они включены в каталог, публикуемый

в настоящем выпуске журнала (Прил. 2). По этим событиям собрана информация из 133 пунктов (Прил. 5). Ощущались землетрясения в 110 пунктах (всего от очевидцев поступило 1467 сообщений), наибольшее число ощутимых землетрясений ($n=59$) зафиксировано на кордоне Кроноки (Прил. 4). В каталог (Прил. 2) не вошли еще пять ощутимых событий: четыре с $ML < 3.5$ ($K_S < 8.5$) и далекое Алеутское землетрясение, ощущавшееся с интенсивностью $I=2$ балла в пос. Оссора ($\Delta \sim 1900$ км). Максимальная интенсивность сотрясений $I_{\max}=6$ баллов наблюдалась в пункте Калыгирь ($\Delta=69$ км) во время Жупановского землетрясения (6) 30 января 2016 г. в $03^{\text{h}}25^{\text{m}}$ с $ML=7.1$, $h=178$ км и в пос. Усть-Камчатск ($\Delta=92$ км) во время Южно-Озерновского землетрясения (54) 29 марта 2017 г. в $04^{\text{h}}09^{\text{m}}$ с $ML=6.8$, $h=43.3$ км [13, 14].

В г. Петропавловске-Камчатском сотрясения с интенсивностью I от 2 до 4–5 баллов ощущались в совокупности 38 раз от землетрясений в диапазоне $ML=4.3-7.3$ ($K_S=10.1-16.1$) (Прил. 4).

Для расчета механизмов и параметров очагов в 2016 г. отбирались землетрясения с $ML=5.0$ ($K_S \geq 11.5$) из зоны ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН; для 2017 г. – из зоны ответственности или в непосредственной близости от нее. В региональном каталоге землетрясений Камчатки и Командорских островов (Прил. 2) за 2016 и 2017 гг. набралось, соответственно, 45 и 69 таких событий. Тензор сейсмического момента (ТСМ), глубину гипоцентра h и длительность эквивалентного точечного источника удалось рассчитать для 40 землетрясений 2016 г. в диапазоне $ML=5.0-6.8$ ($K_S=11.5-15.0$) и для 62 событий 2017 г. в диапазоне $ML=5.0-7.3$ ($K_S=11.5-16.1$). Расчеты проводились для модели ТСМ «двойной диполь без момента» с использованием алгоритма, описанного в [16, 17]. 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 рисунках 7–8. Оценки моментной магнитуды M_w пересчитаны из M_0 . Для событий 2016 г. они расположены в диапазоне $M_w=4.4-7.2$; для 2017 г. – в диапазоне $M_w=4.2-7.8$.

Для пяти землетрясений 2016 г. с $ML=5.0-5.5$ ($K_S=11.5-12.4$) и для семи землетрясений 2017 г. с $ML=5.2-5.5$ ($K_S=11.8-12.4$) оценки получить не удалось из-за недостатка исходных данных с приемлемым отношением сигнал/шум.

Рассмотрим особенности сейсмического процесса региона в пространственных областях, определенных в соответствии с регионализацией сейсмоактивного объема Камчатки и прилегающих территорий [18, 19], учитывающей тектоно-географическое положение землетрясений. Оценки распределения количества землетрясений представлены в табл. 1 на двух энергетических срезах – $ML \geq 3.5$ и $ML \geq 5.0$. Они сравниваются с соответствующими средними значениями за весь период инструментальных наблюдений с 1962 по 2015 год. Для выделенных зон можно сделать статистические оценки уровня сейсмичности по шкале «СОУС'09», которые также приведены в табл. 1.

В сейсмофокальной зоне Курил и Южной Камчатки № 1 в 2016–2017 гг. по шкале «СОУС'09» отмечается фоновый средний уровень сейсмичности (табл. 1). Произошло 784 землетрясения с $ML \geq 3.5$ (30 % всех событий). По трем глубинным сейсмическим слоям события с $ML \geq 3.5$ в 2016 г. распределились следующим образом: поверхностные – $N=237$ (61 % всех событий зоны), промежуточные – $N=123$ (32 %) и глубокие – $N=26$ (7 %), в 2017 г. поверхностные – $N=286$ (72 % всех событий), промежуточные – $N=96$ (24 %) и глубокие – $N=16$ (4 %). В 2016–2017 гг. зафиксировано 27 землетрясений с $ML \geq 5.0$. (рис. 7). Всего в зоне произошло 48 ощутимых землетрясений (из них два вне зоны ответственности) с интенсивностью от 2 до 6 баллов и $ML=4.1-5.9$ ($K_S=9.6-13.3$). Интенсивность сотрясений $I_{\max}=5-6$ баллов зафиксирована у двух событий: на мысе Лопатка ($\Delta=76$ км) при землетрясении (71) 3 июня 2017 г. в $11^{\text{h}}47^{\text{m}}$ с $ML=5.9$ ($K_S=13.2$), $h=61.5$ км и на РНС Подгорная ($\Delta=115$ км) во время землетрясения (108) 24 декабря 2017 г. в $13^{\text{h}}54^{\text{m}}$ с $ML=5.4$ ($K_S=12.2$), $h=56.3$ км.

В северной части Камчатской сейсмофокальной зоны № 2 в 2016 г. по шкале «СОУС'09» отмечается фоновый высокий уровень сейсмичности, в 2017 г. фоновый средний уровень сейсмичности (табл. 1). Произошло 649 землетрясений с $ML \geq 3.5$ (25 % всех событий), из них 18 % поверхностных ($N=458$), 7 % промежуточных ($N=191$). Зарегистрировано 30 событий

с $ML \geq 5.0$ (рис. 7). Из 649 событий 79 были ощутимы с интенсивностью от 2 до 6 баллов и $ML = 3.8–7.1$ ($K_S = 9.0–15.7$). Максимальная интенсивность сотрясений $I_{max} = 6$ баллов наблюдалась в пункте Калыгирь ($\Delta = 69$ км) во время Жупановского землетрясения – самого сильного события 2016 г. – (6) 30 января 2016 г. в 03^h25^m с $ML = 7.1$ ($K_S = 15.7$), $h = 178$ км и $I = 5–6$ баллов на кордоне Кроноки ($\Delta = 161$ км), маяке Круглый ($\Delta = 204$ км) и ГМС Водопадная ($\Delta = 236$ км). Землетрясение ощущалось на площади около 120 000 км² в 64 пунктах Камчатского края и Северных Курил, расположенных от эпицентра на расстоянии $\Delta = 67–496$ км. Наблюдаемый макросейсмический эффект характерен для камчатских промежуточных и глубоких землетрясений зоны субдукции – макросейсмический эпицентр смещен относительно инструментального эпицентра на восток к выходу погружающейся Тихоокеанской плиты на поверхность [14, 20]. В 2016–2017 гг. землетрясение вызвало в Петропавловске-Камчатском максимальные сотрясения 4–5 баллов.

Со слов очевидцев – рыбаков, приехавших на лагуну Калыгирь порыбачить на подготовленном тяжелом снегоходе (около 400 кг) с нартой, сваренной из металлических труб: снегоход стоял на берегу, рядом находилась отстегнутая нарта с грузом. Люди стоя ощутили сильную тряску, неприятные толчки в ноги. С суши был слышен подземный гул. Снегоход и нарта начали подпрыгивать и подпрыгнули примерно семь раз на 5 см, вбок не сдвигались. Землетрясение ощущалось в течение 1.5–2 мин: сначала сильные вертикальные толчки около 30 сек, потом сильное поперечное раскачивание. Лед (толстый, больше метра) на лагуне пошел волнами, но трещин при осмотре люди не заметили. Однако снегоходный след, идущий по льду, местами провалился. Когда после землетрясения пробурили лунку, из нее пошел запах сероводорода. Рыба не клевала вообще, в том числе колючка, которая обычно клюет всегда.

Другой респондент, находившийся в районе озера Калыгирь, услышал сначала отчетливый гул, грохот, после стоя ощущал несильные колебания, которые переросли в очень сильные толчки. Все продолжалось около 2.5–3 мин. Невозможно было устоять на ногах, деревья качало в разные стороны. Землетрясение ощущалось всеми, находившимися рядом. После землетрясения были замечены трещины на льду реки, впадающей в озеро.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$) и $ML \geq 5.0$. ($K_S \geq 11.5$) в 2016–2017 гг. в сопоставлении с их средними оценками за период 1962–2015 гг., а также оценка уровня сейсмичности для различных сейсмоактивных областей внутри границ региона Камчатки и Командорских островов

	№	1			2		3	4	6		7	9	10	Всего
		Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки			Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны		Командорский сегмент Алеутской дуги	Тихий океан	Континентальные области Камчатки		Корякский сейсмический пояс	Залив Шелихова	Охотия	
Период	Слой	I	II	III	I	II a	I	I	I	II	I	I	I	
1962–2015 гг.	N, $(ML \geq 3)$	205	57	9	402	94	122	57	44	1	24	1	1	1019
2016 г.		237	123	26	30	26	207	68	4	0	16	1	3	1041
2017 г.		286	96	16	28	65	654	76	7	0	140	4	3	1575
1962–2015 гг.	N/N _Σ , %	20.2	5.6	0.9	39.5	9.3	12.1	5.6	4.3	<0.1	2.3	0.1	0.1	100
2016 г.		22.8	11.8	2.5	22.1	12.1	19.9	6.5	0.4	–	1.5	0.1	0.3	100
2017 г.		18.2	6.1	1	14.5	4.1	41.5	4.8	0.4	0	8.9	0.3	0.2	100
1962–2015 гг.	N, $(ML \geq 5)$	11	2	1	17	2	6	1	1	<1	1	<1	<1	42
2016 г.		8	5	1	10	4	12	3	1	–	1	–	–	45
2017 г.		9	4	–	12	4	21	1	–	–	12	–	1	64
1962–2015 гг.	$\Sigma E, 10^{14}$	1.93	0.7	19.19	1.98	2.34	1.02	0.11	0.29	<0.01	1.57	<0.01	<0.01	29.33
2016 г.		0.15	0.07	0.03	9.03	50.5	1.35	0.1	0.04	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	61.3
2017 г.		0.29	0.24	<0.01	2.04	0.15	132.9	0.01	<0.01	<0.01	10.2	<0.01	0.01	145.8
2016 г.	F (lgE)	0.21±0.05			0.98±0.02		0.86±0.05	0.76±0.06	0.91±0.04		0.54±0.07	0.52±0.09	0.76±0.08	0.92±0.04
2017 г.		0.47±0.07			0.73±0.06		0.99±0.01	0.44±0.07	0.16±0.05		0.95±0.03	0.78±0.07	0.95±0.04	0.96±0.02

	№	1			2		3	4	6		7	9	10	Всего
		Зона	Сейсмофокальная зона Курил и Южной Камчатки	Северная часть Камчатской сейсмофокальной зоны	Командорский сегмент Алеутской дуги	Тихий океан	Континентальные области Камчатки	Корякский сейсмический пояс	Залив Шелихова	Охотия				
Слой	Уровень сейсмичности	I	II	III	I	II а	I	I	I	II	I	I	I	
2016 г.	Фоновый средний	Фоновый средний			Высокий		Фоновый повышенный	Фоновый средний	Фоновый повышенный	Фоновый средний	Фоновый средний	Фоновый средний	Фоновый повышенный	
2017 г.	Фоновый средний	Фоновый средний			Фоновый средний		Экстремально высокий	Фоновый средний	Фоновый средний	Фоновый повышенный	Фоновый средний	Фоновый повышенный	Фоновый повышенный	

Примечание. В зонах № 2 слой III а, № 3 слой II, № 7 слой II, № 10 слой II сейсмическая активность в 2016–2017 гг. не зарегистрирована. 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.

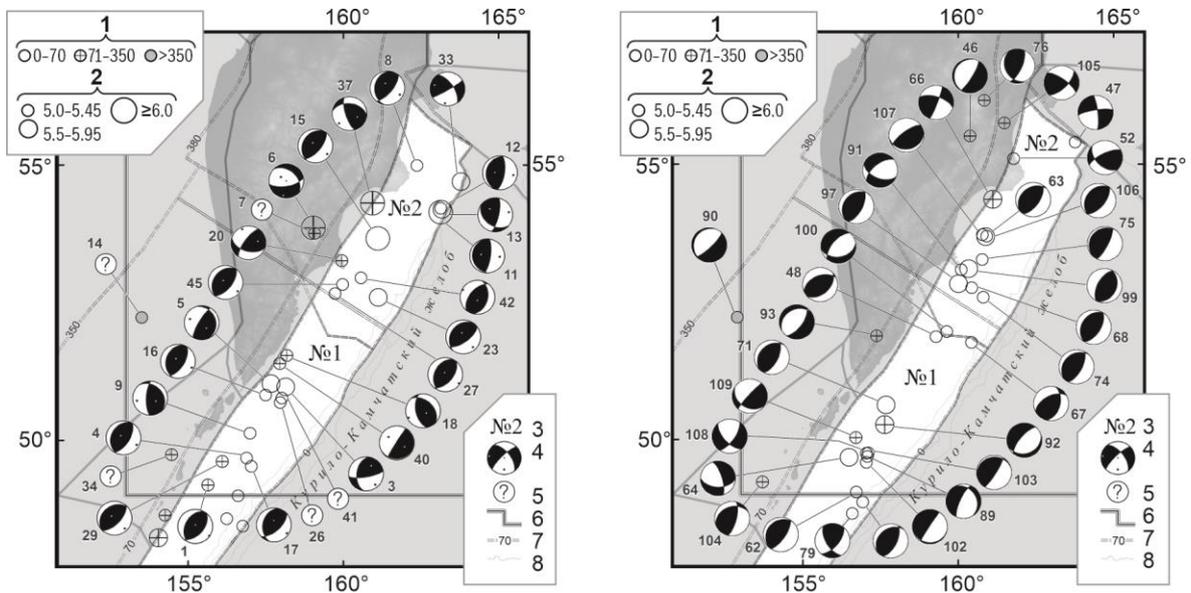


Рис. 7. Карты эпицентров и диаграммы механизмов очагов землетрясений ($ML > 5.0$) Курило-Камчатской зоны субдукции (зоны № 1 и № 2) за 2016 и 2017 гг.

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 Камчатского региона; 7 – 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); 8 – изобаты 6000 и 7000 м; число возле диаграммы соответствует номеру землетрясения в каталоге (Прил. 2).

В Командорском сегменте Алеутской дуги (зона № 3) произошло 861 (33 % всех событий) землетрясение с $ML \geq 3.5$, из них 33 имеют $ML = 5.0-7.3$ ($K_S = 11.5-16.1$) (рис. 8), все они реализовались в поверхностном слое. Уровень сейсмичности в зоне № 3 в 2016 г. был оценен как фоновый повышенный, а в 2017 г. как экстремально высокий. Произошло 37 ощутимых землетрясений с интенсивностью сотрясений от 2 до 5–6 баллов и $ML = 3.7-7.3$ ($K_S = 8.8-16.1$) (Прил. 4). Максимальная интенсивность сотрясений $I_{max} = 5-6$ баллов наблюдалась в ближайшем к эпицентру с. Никольское ($\Delta = 208$ км, о. Беринга) во время Ближне-Алеутского землетрясения [12] – самого сильного события 2017 г. – (79) 17 июля 2017 г. в 23^h34^m с $ML = 7.3$ ($K_S = 16.1$), $h = 7$ км.

Землетрясение ощущали все жители поселка, многие испугались и покинули помещения и еще некоторое время после колебания оставались на открытом воздухе. Выбежавшие на улицу

жители продолжали ощущать колебания, которые стали плавными. Многие люди испытывали головокружение и тошноту, от этого было трудно стоять на ногах, некоторые, теряя равновесие, держались за рядом стоящие устойчивые предметы. Сильные продолжительные колебания (около 2 мин) привели в движение все предметы в зданиях, небольшие, неустойчивые предметы падали, легкие предметы сдвигались, открывались и закрывались двери, дребезжали окна, здания сотрясались в целом, скрипели стены и перекрытия. В селе в основном деревянные одно- и двух-этажные строения. При осмотре зданий повреждений не обнаружено. На полуострове Камчатка землетрясение ощущалось в шести населенных пунктах ($\Delta=445\text{--}690$ км) с интенсивностью сотрясений от 2 до 4 баллов.

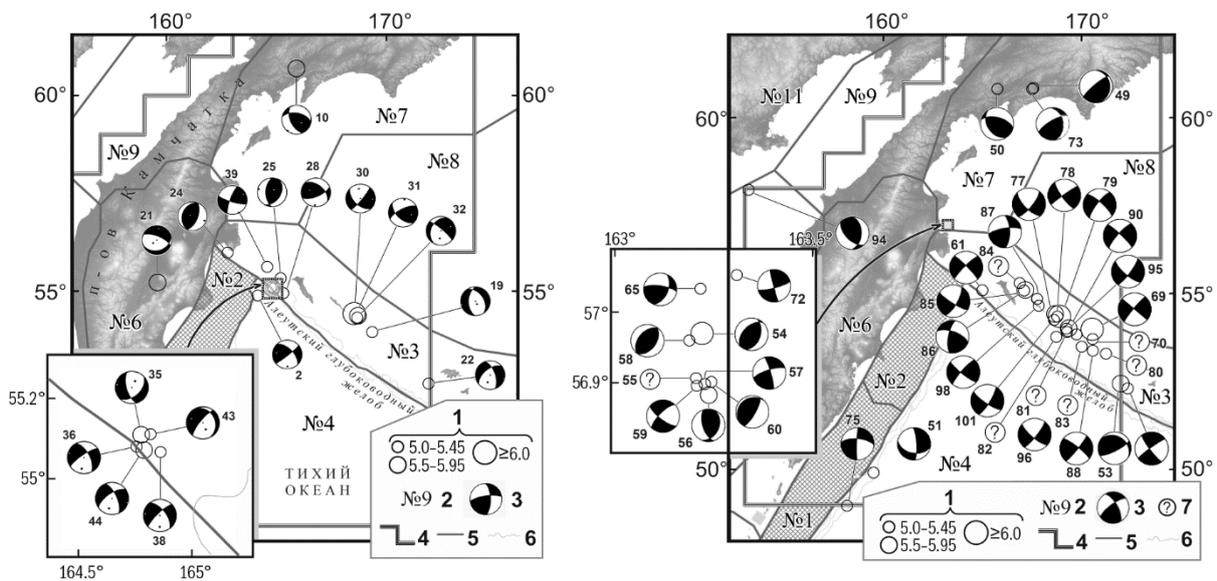


Рис. 8. Карта эпицентров и диаграммы механизмов очагов землетрясений ($ML \geq 5.0$) зон № 3–11 за 2016 и 2017 гг.

1 – локальная магнитуда ML ; 2 – номер зоны из табл. 1; 3 – диаграмма механизма очага землетрясения; 4 – граница Камчатского региона; 5 – границы зон из табл. 1; 6 – изобаты 6000 и 7000 м; 7 – механизм для землетрясения не определен; число возле диаграммы соответствует номеру землетрясения в каталоге (Прил. 2).

В Тихом океане (зона № 4) в 2016–2017 гг. отмечается фоновый средний уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» (табл. 1). Всего произошло 144 землетрясения (5.5 % всех событий) с $ML \geq 3.5$, три из которых ощутимые с интенсивностью сотрясений от 2–3 до 3–4 баллов (Прил. 4) и $ML=5.2\text{--}5.7$ ($K_S=11.8\text{--}12.8$).

В континентальных областях Камчатки (зона № 6) отмечается в 2016 г. фоновый повышенный, а в 2017 г. фоновый средний уровень сейсмичности (табл. 1) – зафиксировано 11 землетрясений с $ML \geq 3.5$ (Прил. 2). Зафиксированы три ощутимые землетрясения с интенсивностью сотрясений от 2–3 до 5 баллов и $ML=3.9\text{--}5.6$ ($K_S=9.2\text{--}12.6$). Максимальная интенсивность сотрясений $I_{\max}=5$ баллов наблюдалась на кордонах Ипуин ($\Delta=25$ км) и Узон ($\Delta=84$ км) во время землетрясения (21) 28 июня 2016 г. в 09^h32^m с $ML=5.6$ ($K_S=12.6$), $h=44.4$ км. Еще в семи пунктах полуострова ($\Delta=16\text{--}97$ км) интенсивность сотрясений I составляла от 2–3 до 4 баллов.

В Корьякском сейсмическом поясе (зона № 7) по шкале «СОУС'09» отмечался фоновый средний уровень сейсмичности (табл. 1). Всего произошло 156 землетрясений с $ML \geq 3.5$, из которых 20 ощутимых с интенсивностью от 2 до 6 баллов и $ML=3.6\text{--}6.8$ ($K_S=8.7\text{--}15.0$). Максимальная интенсивность сотрясений $I_{\max}=6$ баллов зафиксирована в п. Усть-Камчатск ($\Delta=92$ км) во время события (54) 29 марта 2017 г. в 04^h09^m с $ML=6.8$ ($K_S=15.0$), $h=43.3$ км – Южно-Озерновского землетрясения [13]. В 2017 г. это событие имело самую большую площадь макросейсмического проявления, землетрясение ощущалось в 28 пунктах ($\Delta=83\text{--}421$ км) семи из 11 муниципальных районов Камчатского края (Прил. 4).

В пос. Усть-Камчатск землетрясение ощутили все люди, находившиеся в зданиях. Есть сообщения от респондентов об ощущении землетрясения на открытом воздухе. Событие проявилось как продолжительное плавное нарастающее по силе покачивание. Здания сотрясались в целом, в помещениях дрожали, раскачивались предметы. На верхних этажах пятиэтажных

многоквартирных панельных зданий падали небольшие, неустойчивые, легкие предметы; выплескивалась вода из аквариума. Многие люди в испуге старались покинуть помещения; некоторым людям на улице было трудно на ходу сохранять равновесие; срабатывала сигнализация автомобилей. В момент землетрясения много сельчан находилось в одноэтажном здании (бетонный монолит) Дома культуры, в это время там проходил концерт. Здание сотрясилось в целом, сильно раскачивались висючие предметы. Была объявлена эвакуация людей; многие люди в испуге кинулись к выходу, образовался затор. В акте обследования двухэтажного каркасно-панельного здания детского сада «Снежинка» комиссией из сотрудников учреждения зафиксированы: многочисленные трещины в штукатурке (шириной до 1 см), идущие вдоль несущих конструкций; многочисленное осыпание штукатурки; выпадение кусков штукатурки и кафельной плитки; трещины на стенах лестничных маршей; сквозные трещины.

В зонах **Северные Курилы (№ 5), Берингово море (№ 8), залив Шелихова (№ 9) и Охотия (№ 10)** ежегодно наблюдается низкая сейсмическая активность (в абсолютном измерении). Камчатской региональной сетью станций в 2016–2017 гг. в зонах № 5 и № 8 не зарегистрировано ни одного землетрясения с $ML \geq 3.5$. В зоне № 9 локализовано пять событий с $ML=3.5-4.6$, одно из которых, реализовавшееся 24 июля 2017 г. в $02^{\text{h}}46^{\text{m}}$ с $ML=4.6$ ($K_S=10.7$), $h=40.7$ км, было ощутимым с интенсивностью 4 балла в единственном пункте Аметистовое ($\Delta=94$ км). В зоне № 10 зарегистрировано шесть событий с $ML=3.9-5.1$ (Прил. 2). Уровень сейсмичности этих зон по шкале «СОУС'09» – фоновый средний (табл. 1).

Заключение. В 2016–2017 гг. в пределах Камчатской зоны ответственности наблюдалась нетипичная картина расположения эпицентров землетрясений. Уровень сейсмичности по шкале «СОУС'09» в 2016 г. соответствует фоновому повышенному, в 2017 г. – также фоновому повышенному (но в пределах точности оценки – высокому). Два события, реализовавшиеся в 2017 г., изменили привычную картину распределения землетрясений в камчатском каталоге. Ближне-Алеутское землетрясение с $M_w=7.8$ 17 июля 2017 г. стало одним из сильнейших инструментально зарегистрированных событий в западной части Алеутской дуги. Сейсмическая активизация, вызванная афтершоковым процессом этого землетрясения, повлияла на представительность каталога землетрясений Камчатки по зоне ответственности КФ ФИЦ ЕГС РАН в сторону ухудшения. В Корякском сейсмическом поясе в результате афтершокового процесса, вызванного Южно-Озерновским землетрясением 29 марта 2017 г. с $M_w=6.6$, число зарегистрированных сейсмических событий в несколько раз превысило среднегодовое значение. Для зон за исключением Командорского сегмента Алеутской дуги и Корякского сейсмического пояса количество зафиксированных событий с $ML \geq 3.5$ ($K_S \geq 8.5$) и сильных землетрясений с $ML \geq 5.0$ ($K_S \geq 11.5$) близко к среднегодовому значению.

Работа выполнена с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира», а также при поддержке РФФИ (проект № 20-05-00823).

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. 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. Толокнова, Т.Ю. Кожевникова, О.В. Соболевская, С.Г. Пойгина, Г.М. Бахтиярова.

Электронное приложение App11_Kamchatka_2016–2017 (<http://www.gsras.ru/zse/app-25.html>): 1 – Сейсмические станции сети Камчатки и Командорских островов в 2016–2017 гг.; 2 – Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2016–2017 гг.; 3 – Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2016–2017 гг.; 4 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Камчатки и Командорских островов в населенных пунктах в 2016–2017 гг.; 5 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Камчатки и Командорских островов за 2016–2017 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 её развитие. Основные результаты наблюдений в 2016–2020 гг. // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 3. – С. 28–49. doi: 10.35540/2686-7907.2021.3.02

2. Чебров Д.В., Дрознина С.Я., Сениюков С.Л., Шевченко Ю.В., Митюшкина С.В. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 65–72.
3. Чебров Д.В., Дрознина С.Я., Сениюков С.Л., Шевченко Ю.В., Митюшкина С.В. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2017 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 69–78.
4. Чебров В.Н., Левина В.И., Ландер А.В., Чеброва А.Ю., Сениюков 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. Чубарова О.С., Гусев А.А., Чебров В.Н. Свойства колебаний грунта при Олюторском землетрясении 20.04.2006 г. и его афтершоках по данным цифровой регистрации // Вулканология и сейсмология. – 2010. – № 2. – С. 57–70.
7. 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>
8. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Воропаев П.В. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 80–87.
9. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Воропаев П.В. Количественный анализ сейсмичности Камчатки // Землетрясения России в 2017 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2019. – С. 84–92.
10. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 2. – С. 53–59.
11. Чебров В.Н., Чеброва А.Ю., Матвеевко Е.А., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Гусева Е.М., Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Воропаев П.В. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 180–195.
12. Чебров Д.В., Кугаенко Ю.А., Ландер А.В., Абубакиров И.Р., Гусев А.А., Дрознина С.Я., Митюшкина С.В., Ототюк Д.А., Павлов В.М., Титков Н.Н. Ближне-Алеутское землетрясение 17.07.2017 г. с $M_w=7.8$. I. Протяженный разрыв вдоль Командорского блока Алеутской островной дуги по данным наблюдений на Камчатке // Физика Земли. – 2019. – № 4. – С. 48–71.
13. Чебров Д.В., Кугаенко Ю.А., Ландер А.В., Абубакиров И.Р., Воропаев П.В., Гусев А.А., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я., Иванова Е.И., Кравченко Н.М., Матвеевко Е.А., Митюшкина С.В., Ототюк Д.А., Павлов В.М., Раевская А.А., Салтыков В.А., Сениюков С.Л., Скоркина А.А., Серафимова Ю.К. Южно-Озерновское землетрясение 29.03.2017 г. с $M_w=6.6$, $K_S=15.0$, $I=6$ (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2017. – Т. 35, № 3. – С. 7–21.
14. Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Иванова Е.И., Матвеевко Е.А., Митюшкина С.В., Ототюк 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. – Т. 29, № 1. – С. 5–16.
15. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
16. 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.
17. 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: 10.31857/S0002333721030017
18. Чебров В.Н., Дрознина С.Я., Сениюков С.Л., Ландер А.В. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2013 году. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 58–65.
19. 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.
20. Чеброва А.Ю., Левина В.И., Чебров В.Н., Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 188–198.

SEISMICITY of KAMCHATKA and COMMANDER ISLANDS in 2016–2017

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

*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 2016–2017 is given. In the Kamchatka earthquake catalogue, the minimum local magnitude of completeness is $ML_{\min}=4.0$, and for earthquakes with $h \geq 350$ km under the Okhotsk sea $ML_{\min}=4.3$. The Kamchatka catalogue of earthquakes with $ML=3.6$ – 7.3 for 2016–2017, published in the Appendix to this article, includes 2898 events. 191 earthquakes of the catalogue were felt in Kamchatka and surrounding areas with seismic intensity $I=2$ – 6 according to the MSK-64 scale. For all events with $ML \geq 5.0$ that occurred in 2016–2017 within the area of responsibility of Kamchatka branch of Geophysical Survey RAS, an attempt to calculate the seismic moment tensor (SMT) was made. There are 109 such events in the regional catalogue. For 102 earthquakes the SMT and depth of the equivalent point source were calculated. The calculations were performed for the SMT double-couple model using a nonlinear algorithm. The level of seismicity according to the “SOU5’09” scale in 2016 corresponds to the “background increased”, for 2017 it is also the “background increased”, but within the assessment accuracy – “high”. In 2016–2017 within the Kamchatka branch area of responsibility, an atypical pattern of the location of earthquake epicenters was observed due to the occurrence of two strong events – the Near Aleutian ($M_w=7.8$, July 17, 2017) and South Ozernovskiy ($M_w=6.6$, March 29, 2017) earthquakes and their aftershock processes.

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

DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.14 **EDN:** VBTEYB

For citation: Chebrov, D.V., Saltikov, V.A., Droznina, S.Ya., Romasheva, E.I., Mityushkina, S.V., Abubakirov, I.R., Pavlov, V.M., Raevskaya, A.A., & Matveenko, E.A. (2022). [Seismicity of Kamchatka and Commander Islands in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 164–175. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2022.25.14. EDN: VBTEYB

References

1. Chebrov, D.V., Tikhonov, S.A., Droznin, D.V., Droznina, S.Ya., Matveenko, E.A., Mityushkina, S.V., Saltikov, 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: 10.35540/2686-7907.2021.3.02
2. Chebrov, D.N., Droznina, S.Ya., Senyukov, S.L., Shevchenko, Yu.V., & Mityushkina, S.V. (2018). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2016 godu* [Earthquakes in Russia, 2016] (pp. 65–72). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
3. Chebrov, D.V., Droznina, S.Ya., Senyukov, S.L., Shevchenko, Yu.V., & Mityushkina, S.V. (2019). [Kamchatka and Komandor Islands]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2017 godu* [Earthquakes in Russia, 2017] (pp. 69–78). 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]. *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: 10.3103/S0747923911030054
6. Chubarova, O.S., Gusev, A.A., & Chebrov, V.N. (2010). The ground motion excited by the Olyutorskii earthquake of April 20, 2006 and by its aftershocks based on digital recordings. *Journal of Volcanology and Seismology*, 4(2), 126–138. doi: 10.1134/S0742046310020065. (In Russ.).
7. Saltikov, 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-tekhnicheskoi 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.).
8. Saltikov, V.A., Kravchenko, N.M., & Voropaev, P.V. (2018). [Quantitative analysis of Kamchatka seismicity]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2016 godu* [Earthquakes in Russia, 2016] (pp. 80–87). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
9. Saltikov, V.A., Kravchenko, N.M., & Voropaev, P.V. (2019). [Quantitative analysis of Kamchatka seismicity]. In *Zemletriaseniia Rossii v 2017 godu* [Earthquakes in Russia, 2017] (pp. 84–92). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).

10. 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: 10.1134/S0742046311020060
11. Chebrov, D.V., Chebrova, A.Yu., Matveenko, E.A., Lander, A.V., Mityushkina, S.V., Ivanova, E.I., Guseva, E.M., Saltikov, V.A., Kugaenko, Yu.A., & Voropaev, P.V. (2015). [Kamchatka and Commander Islands]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2009 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2009] (pp. 180–195). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
12. Chebrov, D.V., Kugaenko, Yu.A., Lander, A.V., Abubakirov, I.R., Gusev, A.A., Droznina, S.Ya., Mityushkina, S.V., Ototyuk, D.A., Pavlov, V.M., & Titkov, N.N. (2019). Near Aleutian earthquake of July 17, 2017 with $M_w=7.8$. I. An extended rupture along the Commander block of the Aleutian island arc according to observations in Kamchatka. *Izvestiya, Physics of the solid Earth*, 4, 48–71. (In Russ.).
13. Chebrov, D.V., Kugaenko, Yu.A., Lander, A.V., Abubakirov, I.R., Voropaev, P.V., Gusev, A.A., Droznin, D.V., Droznina, S.Ya., Ivanova, E.I., Kravchenko, N.M., Matveenko, E.A., Mityushkina, S.V., Ototyuk, D.A., Pavlov, V.M., Raevskaya, A.A., Saltykov, V.A., Senyukov, S.L., Skorkina, A.A., & Serafimova, Yu.K. (2017). [Yuzhno-Ozernovskoe earthquake of March 29, 2017 with $M_w=6.6$, $K_S=15.0$, $I=6$ (Kamchatka)]. *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle* [Bulletin of KRAESC. Earth sciences], 3(35), 7–21. (In Russ.).
14. 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). [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.).
15. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaia shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
16. 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], 20(2), 149–158. (In Russ.).
17. 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: 10.1134/S1069351321030010
18. 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.).
19. 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: 10.1134/S0742046313010053
20. Chebrova, A.Yu., Levina, V.I., Chebrov, D.V., Ivanova, E.I., Mityushkina, S.V., & Guseva, E.M. (2010). [Kamchatka and Commander Islands]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2004 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2004] (pp. 188–198). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).