

СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА КАМЧАТКЕ В 2016–2017 ГГ.

*Чебров Д. В.¹, Кугаенко Ю. А.¹, Абубакиров И. Р.¹, Воропаев П. В.¹, Гусев А. А.¹, Дрознин Д. В.¹,
Дрознина С. Я.¹, Иванова Е. И.¹, Кравченко Н. М.¹, Ландер А. В.², Матвеев Е. А.¹,
Митюшкина С. В.¹, Ототюк Д. А.¹, Павлов В. М.¹, Раевская А. А.¹, Салтыков В. А.¹,
Сенюков С. Л.¹, Серафимова Ю. К.¹, Скоркина А. А.¹, Титков Н. Н.¹*

¹ Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, danila@emsd.ru

² Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва

Введение

Система детальных сейсмических и геофизических наблюдений [9] Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН в начале XXI века претерпела существенную модернизацию. В значительной мере это было связано с масштабными работами по выполнению НИОКР в рамках федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации в 2006–2010 гг.».

Созданная система сбора, обработки и хранения сейсмологических данных объединяет все сейсмические сети Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН. Кроме того, дополнительно обеспечивается возможность привлекать дополнительные станции из других сетей, в том числе зарубежных. Сейсмические сети были модернизированы: создана сеть специализированных станций Сейсмической подсистемы Системы предупреждения о цунами (СП СПЦ), модернизирована сеть радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС), расширена и оснащена современными приборами сеть станций записи сильных движений. В результате, камчатская региональная сейсмическая сеть обеспечивает надежную регистрацию землетрясений на всей территории Камчатского края с прилегающими акваториями с $ML \geq 3.5$. В отдельных районах края уровень надежной регистрации достигает значения $ML = 1.0$. Также обеспечивается высокая оперативность и точность оценок в рамках Службы срочных донесений (ССД) и СПЦ.

Поскольку данные сейсмологических наблюдений и результаты их обработки лежат в основе многих фундаментальных исследований в области наук о Земле, полнота каталогов и их уровень представительности – важный показатель качества наблюдений, а также чувствительности и разрешающей способности системы наблюдений. С другой стороны, закономерно больший интерес вызывает способность системы регистрировать без искажений и производить обработку сильнейших событий. Именно сильнейшие землетрясения показывают все возможности системы наблюдений.

Таким образом, среди основных задач современной системы сейсмических наблюдений можно назвать получение результатов комплексной обработки сильного и сильнейшего землетрясения, которая не ограничивается получением простого набора параметров о гипоцентре землетрясения. Здесь под комплексной обработкой мы понимаем рассмотрение процессов, связанных с конкретным землетрясением в различных аспектах, начиная от особенностей обработки и деталей развития очагового процесса, заканчивая обсуждением процессов подготовки очага и постсейсмических процессов.

В КФ ФИЦ ЕГС РАН в последние годы сложилась практика оперативных публикаций результатов комплексной обработки землетрясений. Таким образом, решается задача оперативного и одномоментного доведения результатов наблюдений и их комплексной обработки до научного сообщества.

Эта работа началась с сильного землетрясения в Тохоку 11 марта 2011 г. [12] Серия сильных землетрясений 2013 г. [8, 10, 11] позволила отработать процедуру сбора сведений и определить предварительное содержание подобной публикации. По результатам 2013 г. было определено, что оперативная информационная публикация должна охватывать следующий круг вопросов:

- Основные данные об оперативной обработке по регламентам Службы срочных донесений, Службы предупреждения о цунами;
- Обзор исторической и текущей сейсмичности эпицентральной зоны и окрестностей;
- Сводка основных параметров землетрясения: координат и энергетических оценок;
- Сводка механизмов очага, полученных различными методами и разными сейсмическими агентствами;
- Тектоническая позиция очага землетрясения;

- Особенности форшокового и афтершокового процесса;
- Анализ макросейсмических данных;
- Анализ пиковых амплитуд колебаний грунта;
- Результаты комплексной обработки данных геодинамических наблюдений;
- Отражение процессов подготовки землетрясений в геофизических полях.

В данной работе продемонстрированы возможности системы детальных сейсмических и геофизических наблюдений на примере кратко изложенных результатов комплексной обработки сильных землетрясений, которые произошли на Камчатке в 2016–2017 гг. Обработка была проведена по новому внутреннему регламенту КФ ФИЦ ЕГС РАН.

Жупановское землетрясение 30 января 2016 г.

30.01.2016 г. в Северо-Камчатской части Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны на глубине 178 км произошло сильное, но не вызвавшее разрушений и жертв землетрясение с магнитудой $M_w = 7.2$, ощущавшееся на территории Камчатского края с интенсивностью до 6 баллов по шкале MSK-64 и получившее название «Жупановское землетрясение» в соответствии с географическим положением его эпицентральной области. [15]

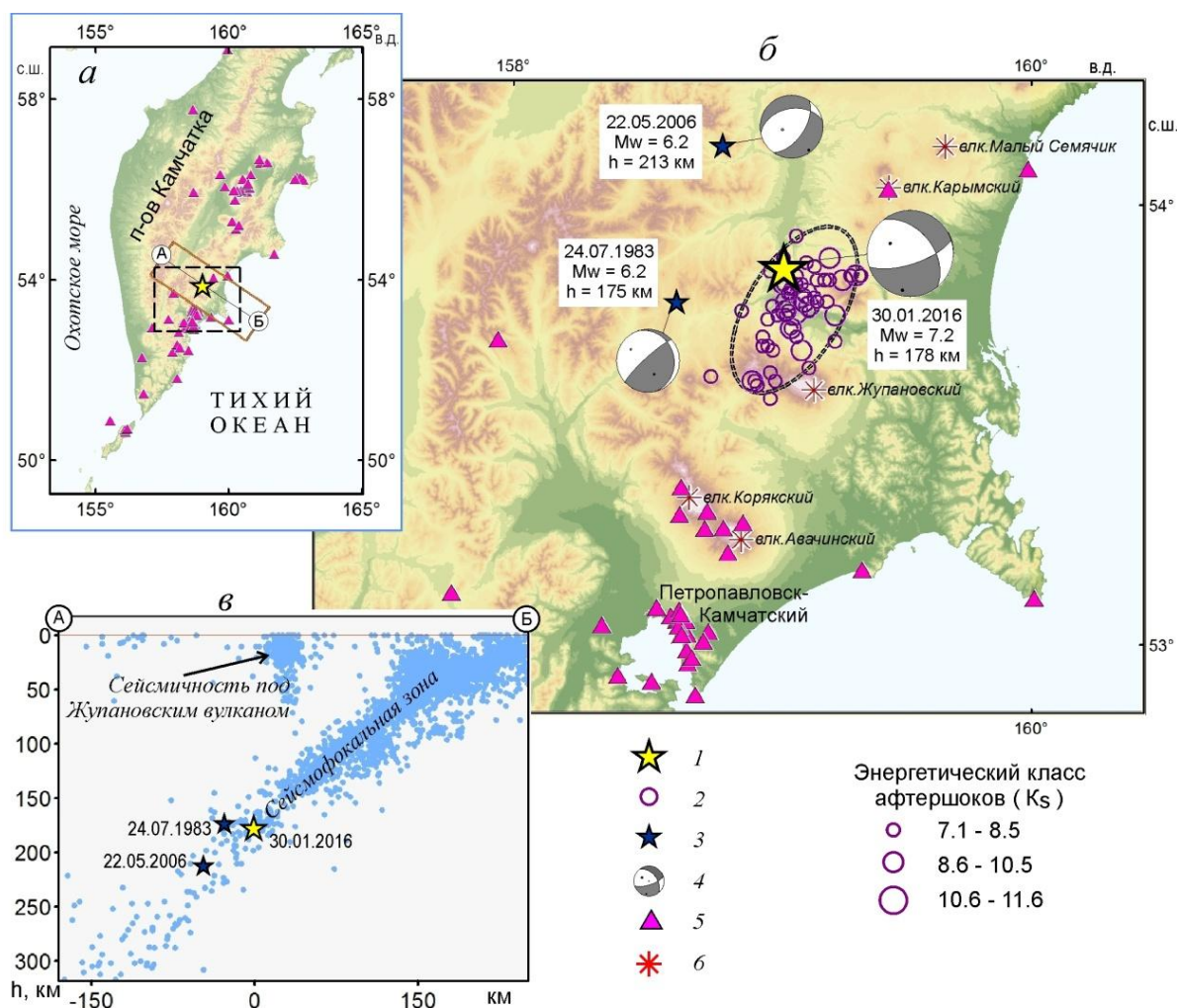


Рис. 1. Жупановское землетрясение 30.01.2016 г. $M_w = 7.2$ и его афтершоки: эпицентр Жупановского землетрясения на схеме Камчатской региональной сети сейсмических станций (а); схема расположения эпицентров Жупановского землетрясения и его афтершоков с энергетическими классами $K_s > 7.0$ (б) в области, очерченной штриховым пунктиром на рис. 1а; разрез фрагмента сейсмофокальной зоны (в), ограниченного прямоугольником на рис. 1а. 1 – Жупановское землетрясение; 2 – эпицентры афтершоков; 3 – сильные ($M_w > 6.0$) землетрясения рассматриваемого района с 1961 г. по 30.01.2016 г., зарегистрированные в диапазоне глубин от 150 до 250 км; 4 – стереограммы механизмов очагов землетрясений 22.05.2006 г., 24.07.1983 г. и 30.01.2016 г., определенные в КФ ГС РАН по знакам первых вступлений объемных волн; 5 – сейсмические станции; 6 – вулканы. На разрезе точками обозначены проекции гипоцентров на вертикальную плоскость

В РИОЦ «Петропавловск» параметры Жупановского землетрясения были определены в режиме ССД и СПЦ в течение ~5 мин. в соответствии с регламентами этих служб. Тревога цунами не объявлялась. В течение 10 мин. после начала землетрясения по инструментальным данным была оценена интенсивность сейсмических колебаний в пунктах установки акселерометров [3], в результате чего МЧС оперативно получило полную картину сейсмического воздействия на территорию Камчатки и Северных Курил.

В оперативном режиме была проведена обработка и анализ афтершоков, двумя способами рассчитан механизм очага и собрана детальная макросейсмическая информация о проявлениях землетрясения. Выполнены оценки косейсмических смещений земной коры по данным GNSS наблюдений КФ ГС РАН. По конфигурации облака афтершоков и направленности излучения Р- и SH-волн была выбрана плоскость разрыва и проведена оценка размеров очага Жупановского землетрясения (длина ~50 км, ширина ~25 км, что согласуется с представлениями о масштабах очага при $M \sim 7$).

Макросейсмический эффект Жупановского землетрясения, проявившийся в повышенной балльности на восточном побережье полуострова, характерен для камчатских землетрясений зоны субдукции, зафиксированных на глубине более 150 км. Макросейсмический эпицентр таких событий, как правило, смещен относительно инструментального эпицентра на восток к выходу на поверхность погружающейся Тихоокеанской плиты [4]. Особенностью Жупановского землетрясения является ярко выраженное сильное психофизиологическое воздействие на людей: продолжительные плавные колебания вызывали головокружение, тошноту и головную боль, испуг и даже панику.

По данным КФ РЭС перед Жупановским землетрясением были выявлены предвестники в режиме реального времени, а три прогноза были признаны успешными.

Рассматривая Жупановское землетрясение совместно с сильными землетрясениями 24.07.1983 г. и 22.05.2006 г., можно объединить их в единый пространственно-обособленный кластер на глубине ~200 км (см. рис. 1, таблица 1). Это позволяет поставить вопрос о существовании достаточно компактной сейсмогенерирующей зоны на эпицентральной расстоянии ~100 км к северу от Петропавловск-Камчатской городской агломерации.

По имеющимся данным пока нет оснований связывать Жупановское землетрясение с эпизодическими проявлениями активности Жупановского вулкана, наблюдавшимися в январе–феврале 2016 г.

Сейсмическая энергия, выделившаяся при Жупановском землетрясении, составила $5 \cdot 10^{15}$ Дж, что позволяет считать его одним из наиболее сильных сейсмических событий за время детальных

Таблица 1. Параметры Жупановского землетрясения 30.01.2016 г. и сильных ($M_w > 6.0$) землетрясений рассматриваемого района с 1961 г. по 30.01.2016 г., зарегистрированных в диапазоне глубин от 150 до 250 км

Гипоцентр			Энергетический класс / Магнитуда			
Дата г. м. д.	Время ч : м : с	Координаты	КФ ГС РАН	Global CMT ¹	NEIC (US GS) ²	Обнинск ³
Жупановское землетрясение 30.01.2016 г.						
2016.01.30	03:25:08.4	53.85° с.ш. 159.04° в.д. $h = 178$ км	$K_S = 15.7$ $ML = 7.1$ $Mc = 7.1$ $M_w = 7.2$ $M_S(20R) = 6.5$	$M_w = 7.2$ $M_S = 7.2$	$M_w = 7.2$ $m_b = 6.7$	$m_b = 7.2$ $M_S = 6.6$
Сильные ($M_w > 6.0$) землетрясения рассматриваемого района с 1961 г. по 30.01.2016 г. в диапазоне глубин $h = 150$ – 250 км						
1983.07.24	23:07:30.5	53.78° с.ш. 158.63° в.д. $h = 175$ км	$K_S = 14.4$ $ML = 6.5$	$M_w = 6.2$ $m_b = 6.1$	$M_w = 6.2$ $m_b = 6.1$	$M_S = 5.4$
2006.05.22	13:08:00.5	54.13° с.ш. 158.81° в.д. $h = 213$ км	$K_S = 13.5$ $ML = 6.0$	$M_w = 6.2$ $m_b = 6.2$ $M_S = 6.2$	$M_w = 6.2$ $m_b = 6.2$	$m_b = 6.4$ $M_S = 5.3$

Примечания: ¹ The Global CMT Project (<http://www.globalcmt.org>); ² National Earthquake Information Center, U.S. Geological Survey (<http://neic.usgs.gov>); ³ ФИЦ ЕГС РАН, Обнинск (<http://www.gsras.ru>). Энергетические характеристики: K_S – энергетический класс по S-волне; ML – локальная магнитуда; Mc – магнитуда по коде; M_w – моментная магнитуда; M_S – магнитуда по поверхностной волне Релея; $M_S(20R)$ – региональная магнитуда по поперечным и поверхностным волнам вблизи периода $T = 20$ с; m_b – магнитуда по объемным волнам.

наблюдений на Камчатке. Это редкое, но закономерное явление в сейсмическом процессе Северо-Западной Пацифики. Землетрясения с $M \sim 7$ происходят на Камчатке раз в 5–10 лет.

Южно-Озерновское землетрясение

29.03.2017 г. у восточного побережья Камчатки, в южной части Озерного залива, в юго-западной части Корякского сейсмического пояса произошло редкое для этой зоны сильное, но не вызвавшее разрушений и цунами землетрясение с магнитудой $M_W = 6.6$. [14]

Окончательная обработка землетрясения и определение его параметров были произведены по данным 60-ти сейсмических станций, находящихся на Дальнем Востоке России и территориях сопредельных государств. Итоговые параметры землетрясения (широта 56.97° с. ш., долгота 162.22° в. д., $H = 43$ км) близки к первоначальному определению гипоцентра. Точность локации составила 16 км в плане и 20 км по глубине. После основного толчка регистрировалась афтершоковая активность. По данным КФ ФИЦ ЕГС РАН сильное землетрясение и его афтершоки произошли под

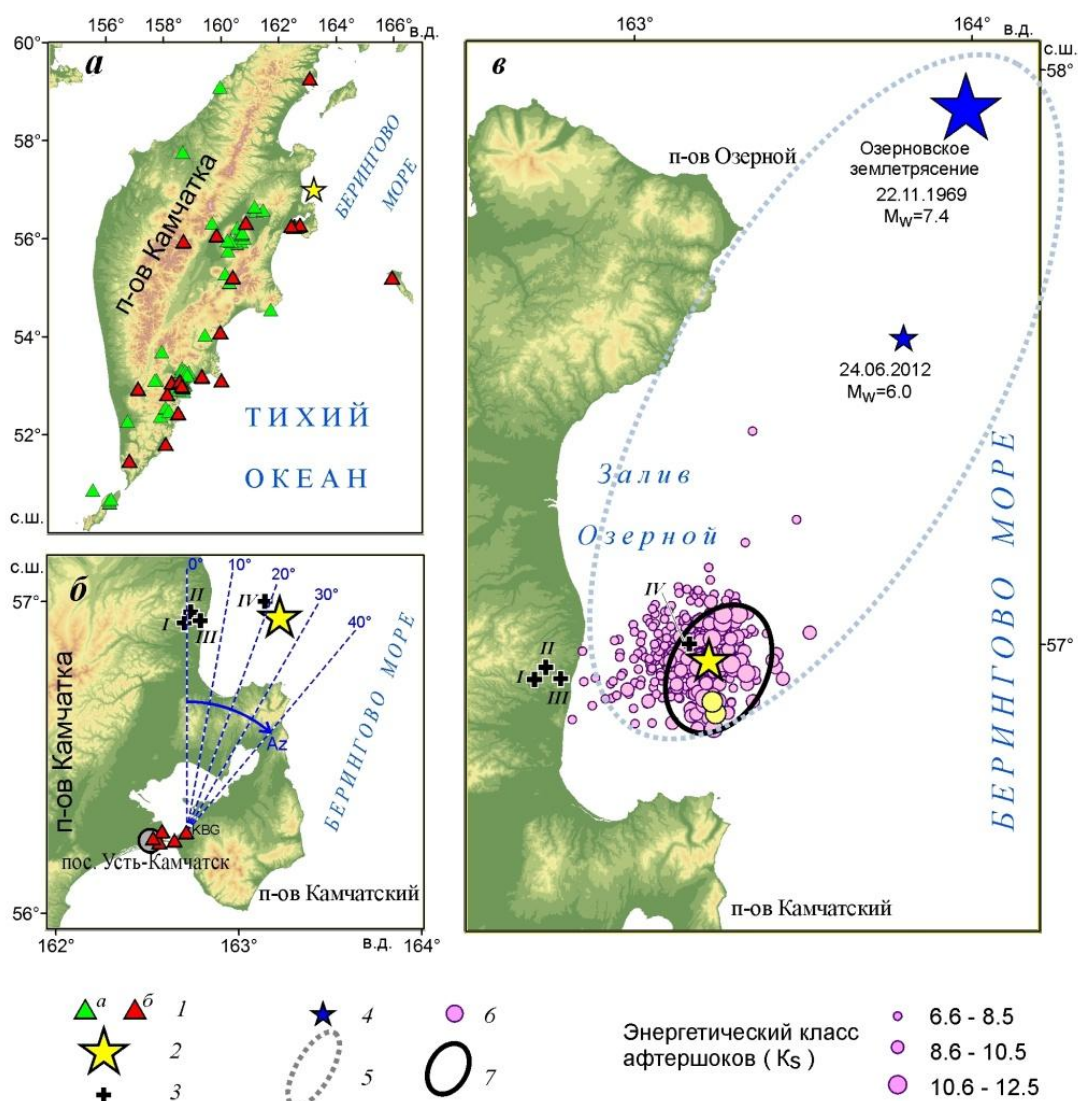


Рис. 2. Южно-Озерновское землетрясение 29.03.2017 г. $M_W = 6.6$ (ЮОЗ) и его афтершоки: а) – Камчатская региональная сеть сейсмических станций и эпицентр землетрясения; б) – ближайшая к эпицентру микрогруппа акселерометров, установленных в районе пос. Усть-Камчатск; в) – схема расположения эпицентров ЮОЗ и его афтершоков с энергетическими классами $K_s \geq 6.6$ (в).

1 – сейсмические станции (а), в том числе использовавшиеся при анализе пиковых ускорений (б); 2 – эпицентр ЮОЗ по данным КФ ФИЦ ЕГС РАН; 3 – эпицентр ЮОЗ по данным сейсмических агентств: I – The European-Mediterranean Seismological Centre, EMSC; II – ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, III – National Earthquake Information Center, NEIC, IV – The Global CMT Project GCMT, U.S. Geological Survey; 4 – эпицентры сильных ($M_W \geq 6.0$) землетрясений рассматриваемого района 1961–2017 гг.; 5 – очаговая область Озерновского землетрясения 1969 г.; 6 – эпицентры афтершоков ЮОЗ, желтым цветом выделены два сильнейших афтершока; 7 – эллипс, включающий 90% афтершоков ЮОЗ с $K_s \geq 10.0$. На рис. 1б пунктиром нанесена шкала азимутов

акваторией Озерного залива (рис. 2). Однако другие сейсмические агентства локализовали эпицентр ЮОЗ на суше п-ва Камчатка (рис. 2). В связи с этим в КФ ФИЦ ЕГС РАН для уточнения положения ЮОЗ и двух его сильнейших афтершоков были привлечены независимые методы анализа цифровых сейсмических записей: поляризационный анализ первых вступлений продольных волн и локация источников сейсмических волн сфазированной сейсмической антенной, в качестве которой выступала компактная сейсмическая группа из 5 станций, ближайших к очаговой зоне (эпицентральное расстояние ~80–100 км, рис. 2б). Для расчетов кросскорреляционных функций использовались начальные пакеты продольных волн в диапазоне частот 0.05–0.5 Гц длительностью ~10 с. В результате тремя способами были получены значения азимута направления на эпицентр для основного события и двух его сильнейших афтершоков, 29.03.2017 г. в 03:05 и 30.03.2017 г. в 21:24. Анализ этих данных позволяет утверждать, что очаг землетрясения располагается в Озерном заливе, то есть реально эпицентр находится восточнее, чем показали расчеты других мировых центров, использовавших преимущественно удаленные от Камчатки станции.

Землетрясение ощущалось на территории Камчатского края с интенсивностью до VI баллов по шкале MSK-64, наибольшая интенсивность сотрясений наблюдалась в Усть-Камчатске.

В РИОЦ «Петропавловск» параметры Южно-Озерновского землетрясения были определены в режиме ССД и СПЦ в течение ~6–7 мин. в соответствии с регламентами этих служб. Параметры землетрясения соответствовали потенциально цунамигенному землетрясению, поэтому была объявлена тревога «Цунами». В то же время, проявлений цунами на побережье Камчатки зафиксировано не было.

В оперативном режиме были проведены обработка и анализ афтершоков, рассчитан механизм очага по оригинальной методике, разработанной в КФ ФИЦ ЕГС РАН [5] и собрана детальная макросейсмическая информация о проявлениях землетрясения.

Выполнен предварительный анализ пиковых амплитуд колебаний грунта. Для пиковых ускорений затухание амплитуды с расстоянием сопоставимо с таковым для типичных землетрясений Японии (в диапазоне расстояний 100–200 км). На больших расстояниях затухание увеличивается; при этом рост затухания является более резким, чем при землетрясениях Южной Камчатки. Для пиковых скоростей в диапазоне расстояний 100–700 км затухание согласуется с калибровочной кривой шкалы энергетического класса Федотова K_ϕ^{68} .

По данным КФ РЭС перед Южно-Озерновским землетрясением были выявлены предвестники в режиме реального времени, а три прогноза были признаны успешными. Подготовка землетрясения сопровождалась сейсмическим затишьем, которое проявилось в независимых параметрах сейсмичности на различных временных интервалах: от двух лет до нескольких месяцев перед землетрясением.

Анализ данных о геодинамической обстановке и тектонике территории, на которой произошло Южно-Озерновское землетрясение, а также механизмы очагов основного толчка и сильнейших афтершоков позволяют предположить, что это сейсмическое событие является результатом подвижки на границе малых литосферных плит: Охотской и Берингии.

Ближне-Алеутское землетрясение

17 июля 2017 г. в 23:34 по Гринвичу (18 июля в 11:34 по местном времени) в Командорском сегменте Алеутской островной дуги произошло сильное землетрясение с магнитудой $M_W = 7.8$ (широта 54.352° с. ш., долгота 168.897° в. д., глубина 7 км). [13] Эпицентр землетрясения находился в 200 км к юго-востоку от пос. Никольское, расположенного на о. Беринга, где интенсивность сотрясений достигала VI баллов по шкале MSK-64.

Оценки параметров сейсмического события, выполненные в РИОЦ «Петропавловск» КФ ФИЦ ЕГС РАН по регламентам Службы срочных донесений и Службы предупреждения о цунами (расположение под акваторией Берингова моря, малая глубина гипоцентра, магнитуда $M_S(\text{PET}) = 7.6$) соответствовали потенциально цунамигенному землетрясению, поэтому была объявлена цунами-тревога. На о-вах Ближних (о. Симия) высота цунами составила ~0.1 м по сообщению Pacific Tsunami Warning Center. По данным Центра Цунами Камчатского Управления гидрометеослужбы на побережье Камчатского края волны цунами не наблюдались.

Облако афтершоков растянулось вдоль Алеутской дуги на ~500 км, пройдя вдоль Командорских о-вов на западе до о-вов Ближних на востоке (рис. 3). Его размер в 3–5 раз превышает ожидаемые линейные размеры для землетрясений такого масштаба, происходящих в континентальных и субдукционных областях. За три месяца, прошедших после сильного землетрясения, было зарегистрировано более 650 афтершоков, из них 10 с магнитудой $M_L \geq 5.0$. В то

же время, можно отметить недостаток сильных афтершоков с магнитудой $M \geq 6.0$. Характер афтершоковой последовательности – стадийный. После четырех суток затухания по закону Омори характер затухания меняется на экспоненциальный.

В течение нескольких месяцев землетрясению предшествовала форшоковая активность на масштабе сильных землетрясений с магнитудами $M \sim 6$. Особый интерес представляет достаточно

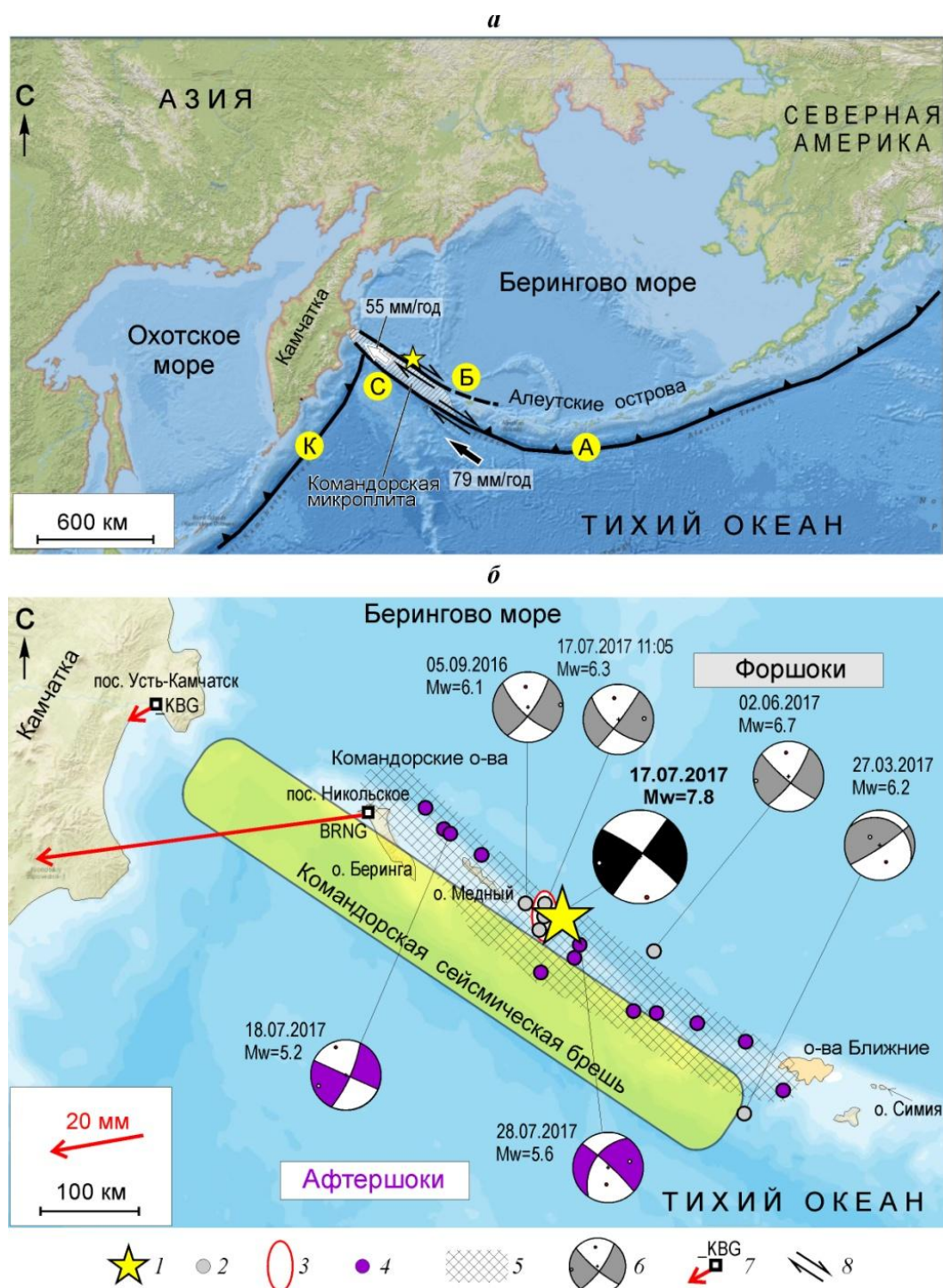


Рис. 3. Эпицентр Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. на схеме основных тектонических элементов зоны стыка Алеутской островной дуги с Камчаткой (а) и очаговая область землетрясения (б). Зоны субдукции: Курило-Камчатская (К) и Алеутская (А); трансформные разломы (разломные зоны): Беринга (Б) и Стеллера (С). Черная стрелка – вектор скорости Тихоокеанской плиты относительно Евразийской; белая стрелка – вектор скорости GNSS-станции BRNG на о. Беринга относительно Евразии. 1 – эпицентр Ближне-Алеутского землетрясения; 2 – форшоки; 3 – область форшоков, зарегистрированных 17.07.2017 г.; 4 – сильнейшие афтершоки с $M \geq 5.0$ (с привлечение данных NEIC); 5 – очаговая область по облаку афтершоков, зарегистрированных в течение одного месяца после основного события; 6 – диаграммы механизмов очагов в равноплощадной проекции нижней полусферы; 7 – векторы косейсмической подвижки GNSS-пунктов

интенсивная последовательность форшоков с $M = 3.0\text{--}6.3$, начавшаяся за ~ 12 часов до основного толчка (~ 30 событий), пространственно совпадающая с гипоцентром основного толчка.

Данное событие относится к сильнейшим ($M_w = 7.8$) задуговым мелкофокусным землетрясениям под Беринговым морем, которые связаны с перемещением блоков Алеутской островной дуги вдоль ее простираия и имеют преимущественно сдвиговый характер подвижки в очаге [1; 2]. Афтершоки БАЗ сконцентрированы вдоль трансформного разлома (разломной зоны) Беринга [7], разграничивающего Командорский сегмент Алеутской дуги (узкую Командорскую микроплиту) и малую литосферную плиту Берингию [2]. На рис. 3 представлены диаграммы механизма очага БАЗ, а также его сильнейших форшоков и афтершоков, рассчитанные по широкополосным сейсмограммам в КФ ФИЦ ЕГС РАН в соответствии с методикой [5]. Как и у большинства других сильных землетрясений разлома Беринга, механизм очага этих сейсмических событий – преимущественно правосторонний сдвиг по плоскости разрыва, соответствующей простираию Командорского сегмента Алеутской дуги (направление северо-запад — юго-восток).

Ближне-Алеутское землетрясение отражает крупную правостороннюю подвижку на северо-восточной границе узкой Командорской микроплиты. При этом с юго-западной стороны микроплиты предполагается существование зоны относительного сейсмического затишья – Командорской сейсмической брешы (рис. 3). В плане облако афтершоков частично перекрывается с областью брешы, однако пространственно они разнесены [13]. Предполагается, что относительно невысокая сейсмичность брешы генетически связана с реликтовой зоной косой субдукции, перемещенной с юго-востока вдоль дуги. По-видимому, очаговая область БАЗ в целом расположена выше погружающейся здесь на северо-запад реликтовой части Тихоокеанской плиты и не закрывает Командорскую сейсмическую брешь.

Заключение

Три сильных землетрясения, о которых шла речь в данной работе отражают активизацию сейсмичности в зоне ответственности Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН в 2016–2017 гг. Формальные оценки по шкале СОУС'09 [6] показали, что в 2016 году наблюдался высокий уровень сейсмичности, а в 2017 г. – экстремально высокий уровень.

Каждое из этих событий по-своему уникально, каждое из них заслуживает детального изучения. Оперативные информационные публикации и данная работа призваны обратить внимание исследователей на яркие особенности сейсмического процесса и, возможно, задать некоторую отправную точку в дальнейших исследованиях.

Список литературы

1. Балакина Л. М., Москвина А. Г. Особенности сейсмогенного процесса в Алеутской островной дуге. III. Землетрясения в западной и восточной окраинах дуги // Физика Земли. 2010. № 4. С. 9–34.
2. Гордеев Е. И., Пинегина Т. К., Ландер А. В., Кожурин А. И. Берингия: сейсмическая опасность и фундаментальные вопросы геотектоники // Физика Земли. 2015. № 4. С. 58–67.
3. Дроздин Д. В., Чебров Д. В., Дроздина С. Я., Оттюк Д. А. Автоматизированная оценка интенсивности сейсмических сотрясений по инструментальным данным в режиме квазиреального времени и ее использование в рамках Службы срочных сейсмических донесений на Камчатке // Сейсмические приборы. 2017. Т. 53. № 3. С. 5–19.
4. 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 $M_w=6.8$, $I_0=5\text{--}6$ (Камчатка) // Землетрясения Северной Евразии, 2004. 2010. С. 314–323.
5. 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. Вып. 20. С. 149–158.
6. Салтыков В. А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С. 53–59.
7. Селиверстов Н. И. Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. М.: Научный мир, 1998. 164 с.
8. Сильные камчатские землетрясения 2013 года / Под ред. В. Н. Чеброва. – Петропавловск-Камчатский: Холдинговая компания «Новая книга», 2014. 242 с. ISBN 978–5–87750–298–7.
9. Чебров В. Н., Дроздин Д. В., Кугаенко Ю. А., Левина В. И., Сенюков С. Л., Сергеев В. А., Шевченко Ю. В., Яцук В. В. Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 18–40.
10. Чебров В. Н., Кугаенко Ю. А., Викулина С. А., Дроздина С. Я., Иванова Е. И., Кравченко Н. М., Матвеев Е. А., Митюшкина С. В., Раевская А. А., Салтыков В. А., Чебров Д. В. Сильное землетрясение

28.02.2013 г. у юго-восточного побережья Камчатки с магнитудой $M_W = 6.8$ по данным оперативной обработки // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. №1. Вып. 21. С. 9–16.

11. Чебров В. Н., Кугаенко Ю. А., Викулина С. А., Кравченко Н. М., Матвеев Е. А., Митюшкина С. В., Раевская А. А., Салтыков В. А., Чебров Д. В., Ландер А. В. Глубокое охотоморское землетрясение 24.05.2013 г. с магнитудой $M_W = 8.3$ – сильнейшее сейсмическое событие у берегов Камчатки за период детальных сейсмологических наблюдений // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. №1. Вып. 21. С. 17–24.

12. Чебров В. Н., Левин Ю. Н., Чебров Д. В., Ототюк Д. А., Викулина С. А. Работа сейсмической подсистемы службы предупреждения о цунами нового поколения по землетрясению в Японии 11 марта 2011 г., $M_W = 9.1$ // Наука и технологические разработки. 2011. Т. 90. №1. С. 13–26.

13. Чебров Д. В., Кугаенко Ю. А., Абубакиров И. Р., Ландер А. В., Павлов В. М., Салтыков В. А., Титков Н. Н. Ближне-Алеутское землетрясение 17.07.2017 г. с $M_W = 7.8$ на границе Командорской сейсмической брешы // Вестник КРАУНЦ. 2017. № 3. Вып. 35. С. 22–25.

14. Чебров Д. В., Кугаенко Ю. А., Ландер А. В., Абубакиров И. Р., Воропаев П. В., Гусев А. А., Дроздин Д. В., Дрознина С. Я., Иванова Е. И., Кравченко Н. М., Матвеев Е. А., Митюшкина С. В., Ототюк Д. А., Павлов В. М., Раевская А. А., Салтыков В. А., Сеньков 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. 2017. № 3. Вып. 35. С. 7–21.

15. Чебров В. Н., Кугаенко Ю. А., И.Р. Абубакиров И. Р., Дрознина С. Я., Иванова Е. И., Матвеев Е. А., Митюшкина С. В., Ототюк Д. А., Павлов В. М., Раевская А. А., Салтыков В. А., Сеньков 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. №1. Вып. 29. С. 5–16.