

УДК 550.348.098.64(571.642)

## ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 17.07.2017 г., $M_w = 7.8$ ВБЛИЗИ КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ И СИЛЬНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В ЗАПАДНОМ СЕГМЕНТЕ АЛЕУТСКОЙ ОСТРОВНОЙ ДУГИ

© 2019 г. А. И. Лутиков<sup>1, 2, \*</sup>, Е. А. Рогожин<sup>1, 2,</sup>, Г. Ю. Донцова<sup>2, \*\*</sup>, В. Н. Жуковец<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН  
123242 Москва, ул. Большая Грузинская, 10, стр. 1

<sup>2</sup>ФИЦ Единая геофизическая служба РАН  
249035 Обнинск Калужской обл., пр. Ленина, 189

\*e-mail: ail@ifz.ru

\*\*e-mail: donzova@ifz.ru

Поступила в редакцию 05.06.2018 г.

Рассмотрены тектоническая позиция, сейсмологические характеристики и особенности афтершокового процесса очага сильнейшего Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. на Командорских островах с  $M_w = 7.8$ . Проведенный анализ показал, что сейсмический очаг согласно распределению эпицентров афтершоков в виде линейно вытянутой узкой зоны длиной около 400 км практически полностью занял северный склон Командорского островного поднятия и разместился в зоне разлома Беринга. Он охватил всю эту сейсмогенерирующую зону вплоть до поперечной структуры к западу от Ближних островов (о. Агту). В соответствии с решениями фокальных механизмов и характером смещений в очагах главного толчка, сильнейших форшоков и афтершоков подвижка в очаге представляла собой практически чистый правосторонний сдвиг. Афтершоковый процесс землетрясения 17 июля развивался достаточно вяло для землетрясения такой силы. Кроме того, он имеет две особенности в сравнении с афтершоковыми процессами большинства Курило-Камчатских землетрясений: 1) малое высвобождение кумулятивного скалярного сейсмического момента ( $M_{0cum\ aft}$ ), составившее по разным оценкам от 0.75% до 1.0% от сейсмического момента главного толчка ( $M_{0me}$ ); 2) очень медленное нарастание дефицита в высвобождении сейсмического момента ( $M_0$ ). В то же время продолжительность квазистационарной фазы высвобождения  $M_{0cum}$  в афтершоках, оцененная приблизительно в  $\frac{1}{2}$  года и охватившая значительную часть длительности всего афтершокового процесса этого землетрясения, представляется необычно большой. Эти особенности афтершокового процесса Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. отличают его от афтершоковых процессов, свойственных большинству сильных Курило-Камчатских землетрясений. В целом, его очаг можно рассматривать в качестве трансформного между двумя зонами Бенъофа – Алеутской и Курило-Камчатской, а не субдукционного, характерного для двух последних.

**Ключевые слова:** разлом Беринга, Западный сегмент Алеутской дуги, механизм очага, сейсмический источник, не удовлетворяющий модели двойного диполя, скалярный сейсмический момент.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0203-03062019252-66>

### ВВЕДЕНИЕ

Землетрясение 17.07.2017 г.,  $M_w = 7.8$  ( $\phi = 54.52^\circ$ ,  $\lambda = 169.00^\circ$ ) вблизи Командорских островов, получившее название Ближне-Алеутского [Чебров и др., 2017б], явилось сильнейшим сейсмическим событием в западном сегменте Алеутской островной дуги за весь, не слишком продолжительный, доступный нам период наблюдений сейсмических явлений. Сопоставимым по силе было только землетрясение 17.12.1929 г. в районе Ближних островов (США) также с  $M_w = 7.8$

( $\phi = 53.559^\circ$ ,  $\lambda = 171.972^\circ$ ). Первые, весьма отрывочные сведения о сейсмических проявлениях на Командорских островах, относятся к 1742 г.: землетрясение в окрестности о. Беринга с  $M_{LH} = 6.2$ . После 1742 г. и до 1924 г. в поле зрения сейсмологов попали лишь 3 сильных землетрясения: 1849 и 1858 гг. с  $M_{LH} = 7.5$  и 1861 г. с  $M_{LH} = 6.2$  [Новый каталог ..., 1977]. Более или менее систематические сейсмологические наблюдения в западном сегменте Алеутской островной дуги, включающем Командорские

и Ближние (Near Islands) острова, начались в 20-х годах прошлого века. При этом сначала, до 1960 г., регистрировались только наиболее сильные сейсмические события с магнитудами 6–7. Сколь угодно подробные каталоги для области Командорских островов появились только с 60-х годов прошлого века после перевооружения сейсмических станций опорной сейсмической сети современными для того времени сейсмографами СКД и созданием региональной сейсмической сети на Камчатке. Если судить по степени подробности каталога NEIC, подобным образом развивались и сейсмологические наблюдения на Ближних островах (США).

В целом, в настоящее время Алеутская островная дуга и, в частности, ее западный сегмент достаточно хорошо изучены в сейсмологическом отношении. В ежегодных сборниках “Землетрясения Северной Евразии” (до 1992 г. “Землетрясения в СССР”) публикуются данные о текущей сейсмической ситуации в западном сегменте Алеутской островной дуги, включая подробные описания наиболее сильных сейсмических событий. См., например, [Зобин и др., 1991; Федотов и др., 1996; Левина и др., 2002, 2009а, б]. В частности, в статье [Левина и др., 2009б] сделан достаточно подробный анализ сильного землетрясения 5.12.2003 г.,  $M_s = 6.8$  ( $M_w = 6.6$ ), инструментальный эпицентр которого располагался приблизительно в 250 км к запад–северо-западу от инструментального эпицентра рассматриваемого здесь землетрясения 17.07.2017 г. То есть, околнуренная по афтершокам очаговая область землетрясения 5.12.2003 г. непосредственно примыкала с северо-запада к очаговой области землетрясения 17 июля. С юго-востока к его очагу примыкает очаг 23.12.2010 г.,  $M_w = 6.4$  ( $\phi = 53.127^\circ$ ,  $\lambda = 171.161^\circ$ ) на Ближних островах. Помимо упомянутых выше событий 2003 и 2010 гг. вплоть до середины 2017 г. сильных ( $M_w \geq 6.0$ ) землетрясений в этом регионе не наблюдалось.

Работа посвящена рассмотрению сейсмической истории, предшествовавшей возникновению землетрясения 17.07.2017 г., определению его тектонической позиции и общей геодинамической обстановки, а также анализу афтершокового процесса в сопоставлении с афтершоковыми процессами других сильных сейсмических событий западного сегмента Алеутской островной дуги. Поскольку область ранних афтершоков землетрясения 17 июля охватила и значительную часть области Ближних островов, наряду с сейсмичностью Командорских островов в статье рассмотрены и некоторые аспекты сейсмичности Ближних островов.

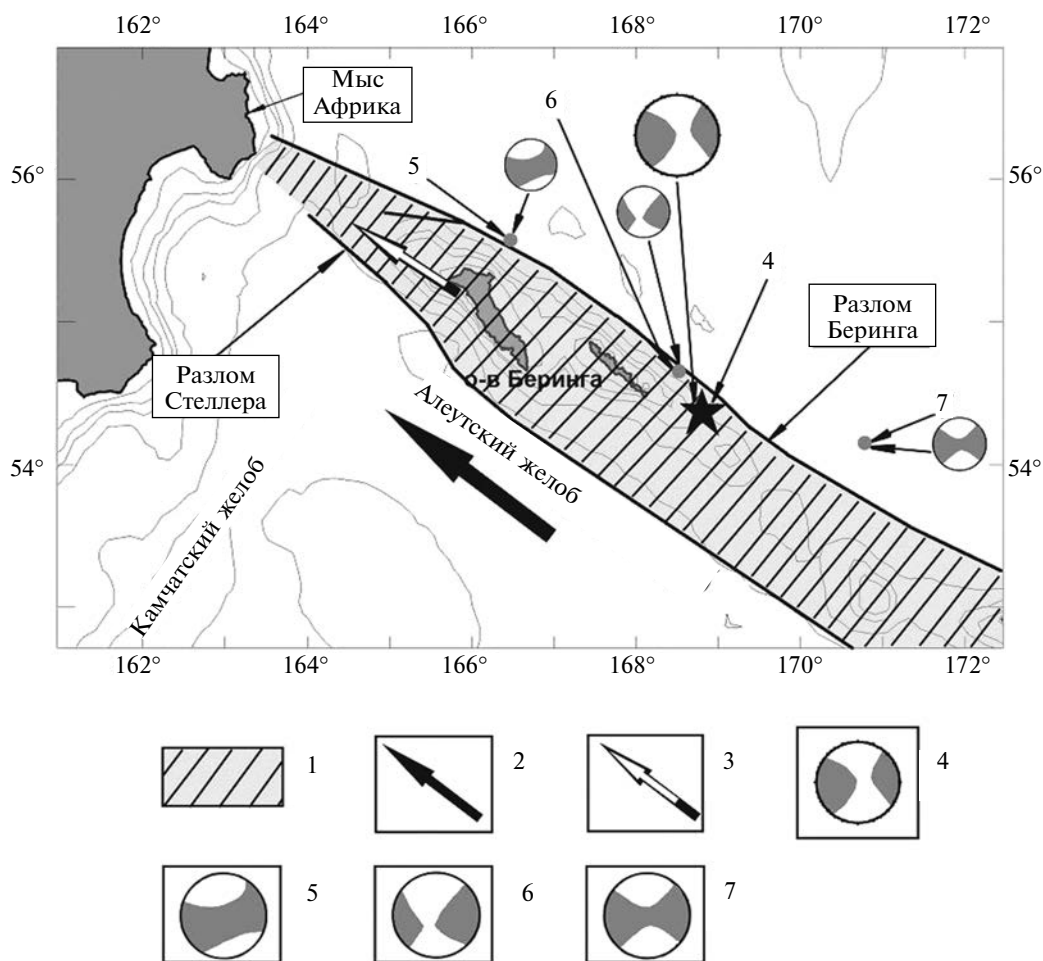
В первой работе, посвященной землетрясению 17.07.2017 г. [Чебров и др., 2017б], были

представлены результаты предварительного анализа этого сейсмического события. То, что статья была опубликована до возникновения сильного афтершока 25.01.2018 г.,  $M_w = 6.2$  обусловило несколько искаженное представление авторов о характере афтершокового процесса землетрясения 17 июля.

## ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА

Эпицентр главного толчка располагался вблизи северо-восточной границы Командорского блока, линейно вытянутого в северо-западном направлении. Эпицентр локализован примерно в 50 км северо-западнее о. Беринга (в 70 км от пос. Никольское), у подножья склона шельфа. Командорский блок является самостоятельной сеймотектонической зоной, расположенной между двумя крупными тектоническими образованиями: Берингоморской плитой на севере и обширной Тихоокеанской плитой на юге (рис. 1) [Mets et al., 1990]. Узкий (ширина менее 100 км) Командорский литосферный блок протянулся более, чем на 500 км в направлении практически параллельном вектору движения Тихоокеанской плиты и отделен от последней трансформной границей, проходящей по Алеутскому глубоководному желобу.

Морфологически Командорский блок является северо-западным окончанием Алеутской островной дуги. Полоса проявлений сейсмичности в районе между долготами с  $\lambda = 169^\circ$ – $170^\circ$ Е, проходящая по северному борту Алеутского глубоководного желоба, имеет две ветви: вдоль юго-западного подножья островной дуги и вдоль северо-восточного борта Командорского блока на границе с Берингоморской литосферной плитой. К юго-востоку от Командорских островов сформировано понижение в рельефе, отделяющее его в современной тектонической структуре от остальной Алеутской дуги. В результате Командорский блок ограничен с северо-востока и юго-запада двумя узкими параллельными сейсмическими поясами. Сейсмичность северо-восточной границы блока концентрируется вдоль разлома Беринга [Mets et al., 1990], протянувшегося на океаническом основании непосредственно у подножья склона Командорского шельфа. Землетрясения на юго-западной границе происходят вдоль Алеутского желоба и параллельного ему разлома Стеллера [Mets et al., 1990]. За столетний интервал инструментальных наблюдений сейсмическая активность северо-восточной границы Командорского литосферного блока в целом несколько превосходит активность юго-западной границы. Однако, возможно, это связано с неполнотой накопленной статистики и, в частности, с длительным затишьем, наблю-



**Рис. 1.** Сейсмотектоническая карта эпицентральной области Ближне-Алеутского землетрясения 2017 г.

1 – Командорский блок; 2 – вектор движения Тихоокеанской плиты относительно Камчатки [Plate Motion Calculator, [http://sps.unavco.org/crustal\\_motion/dxdt/model/](http://sps.unavco.org/crustal_motion/dxdt/model/)]; 3 – вектор движения Командорского блока относительно Камчатки по данным GPS [Левин и др., 2002]; 4 – фокальный механизм главного события 17.07.2017 г.; 5 – фокальный механизм афтершока 25.01.2018 г. ( $M_w = 6.2$ ); 6 – фокальный механизм форшока 17.07.2017 г. ( $M_w = 6.2$ ); 7 – фокальный механизм форшока 02.06.2017 г. вблизи Ближних островов ( $M_w = 6.8$ ). Все фокальные механизмы даны по [Global CMT catalog].

давшимися на юго-восточном сегменте Алеутского желоба до 2017 г.

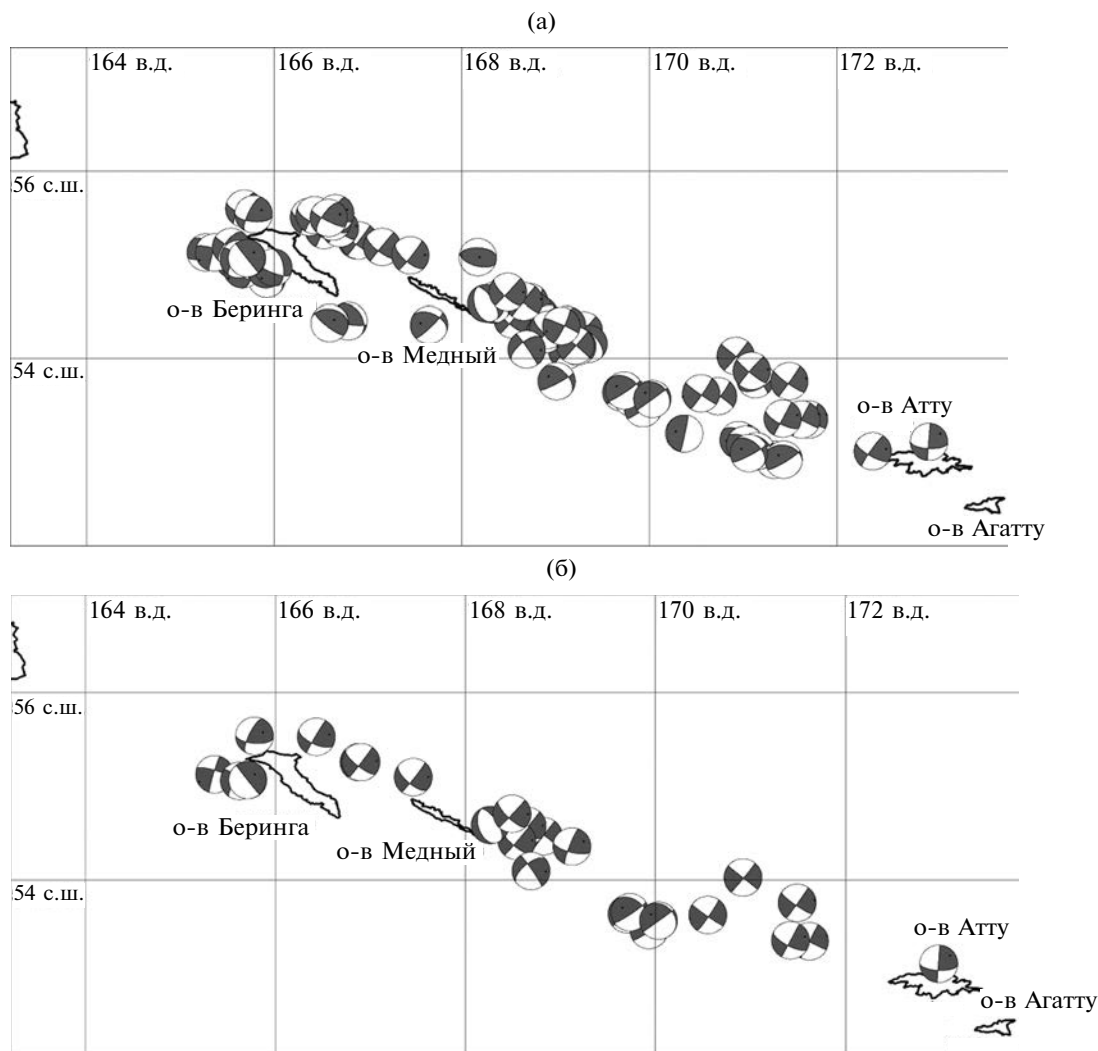
В очагах землетрясений на обеих параллельных границах Командорского литосферного блока преобладают правые сдвиги [Global CMT catalog]. Это указывает на то, что узкий линейно вытянутый блок скользит на северо-запад параллельно движению Тихоокеанской плиты, несколько отставая от последней. Действительно, прямые GPS измерения на о. Беринга демонстрируют стабильное перемещение Командорского блока на северо-запад и его сближение с Камчаткой со скоростью около 5 см/год [Левин и др., 2002].

Изучение механизмов очагов землетрясений на Ближних и Командорских островах показывает, что здесь существует несколько различных зон сейсмотектонической активно-

сти [Newberry et al., 1986; Ruppert et al., 2012]. На рис. 2а, 2б приведена карта механизмов очагов землетрясений ( $M_w \geq 5.3$  и  $M_w \geq 6.0$ ) западного сегмента Алеутской дуги, построенная по данным каталога CMT [Global CMT catalog].

На северо-западе выбранной области вблизи острова Беринга одна из нодальных плоскостей усреднённых механизмов очагов землетрясений (усреднение проводилось для землетрясений всех магнитуд  $M_w \geq 5.3$ ) простирается субпараллельно островам. Одна из нодальных плоскостей всегда ориентирована параллельно береговой линии. Следует отметить, что на западе и востоке преобладают правосдвиговые подвижки, хотя местами отмечается и взбросовый тип смещений.

Восточнее, около острова Медный, одна из нодальных плоскостей фокальных механиз-



**Рис. 2.** Карта механизмов очагов землетрясений Командорской и западного сегмента Алеутской дуг ( $5.3 \leq M_w < 6.0$ ) (а) и ( $M_w \geq 6.0$ ) (б).

Приведены проекции на нижнюю полусферу. Белое поле – сектор растяжения, темное – сжатия. Черная точка на стереограммах фокальных механизмов – ось растяжения  $T$ .

мов очагов также направлена близпараллельно простиранию островной дуги и характеризуется в основном правосдвиговым типом смещений. Именно такой механизм характерен для очага землетрясения 17.07.2017 г.

К юго-востоку от о. Медный в районе  $170^\circ$  в.д. наблюдается резкая смена напряженного состояния. Начинают преобладать механизмы взбросо-надвигового типа, обе нодальные плоскости в которых перпендикулярны простиранию островной дуги. В этой области к островной дуге с севера приближается подводный хребт Ширшова, который протягивается в субмеридиональном направлении от Олюторского полуострова на расстояние 670 км к югу. Ширина хребта уменьшается с 200 км на севере до 25 км на юге. В южной части хребт меняет ориентировку на субширотную и почти смыкается

с хребтом Бауэrsa. Вероятно, именно с этими структурами связано резкое изменение характера фокальных механизмов очагов зарегистрированных здесь землетрясений.

Восточнее  $170^\circ$  в.д. в пределах западного сегмента Алеутской дуги в районе о. Атту и северозападнее его вновь наблюдается изменение характера фокальных механизмов, при этом эпицентры сейсмических событий смещаются несколько севернее по сравнению с таковыми в пределах Командорской островной дуги. На северо-востоке наблюдаются механизмы с режимом практически чистого сдвига, причем одна из нодальных плоскостей ориентирована вдоль островной дуги. По плоскостям этого простирания осуществляются смещения правосдвигового типа, как и на Командорской дуге. На юго-западном склоне Алеутского поднятия механизмы очагов имеют

взбросо-сдвиговый характер. По нодальной плоскости, параллельной дуге, также преобладают взбросо-правосдвиговые смещения.

С некоторыми отклонениями, данное распределение областей сжатия/растяжения совпадает для разных диапазонов магнитуд (см. рис. 2).

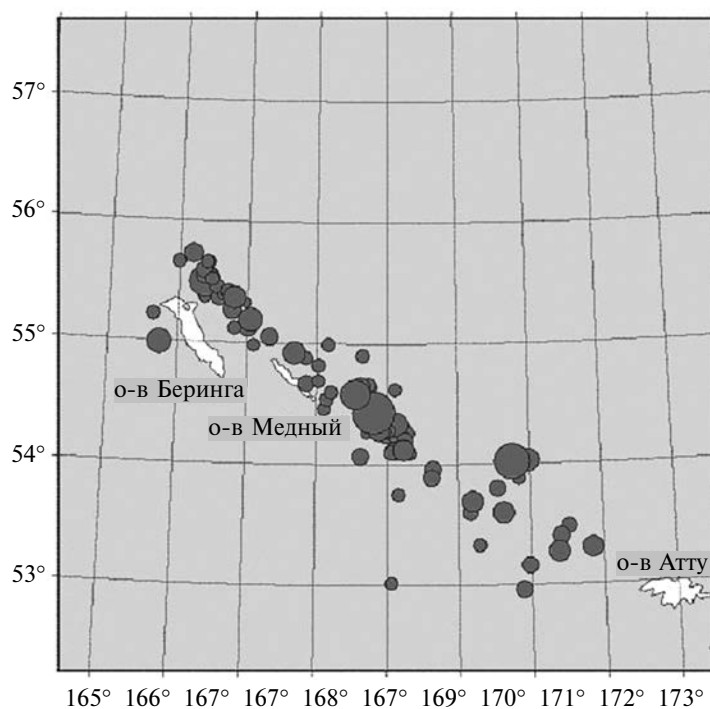
На этом фоне сейсмологические проявления Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. в виде расположения облака форшоков и афтершоков вполне согласуется с описанными выше особенностями распределения ориентации нодальных линий механизмов известных очагов зарегистрированных здесь ранее землетрясений. Основное линейное в плане облако эпицентров повторных толчков, как и эпицентр главного события, приурочены к зоне разлома Беринга. При этом на участке между  $170^\circ$  и  $171^\circ$  в.д. отмечается поперечное к общему афтершоковому облаку положение поля эпицентров повторных толчков. По всей видимости, этот отрезок совпадает с зоной поперечной ориентировки нодальных плоскостей показанных выше фокальных механизмов взбросового типа (см. рис. 3).

Таким образом, очаг землетрясения 2017 г. практически полностью занял северный склон Командорского островного поднятия и разместился в зоне разлома Беринга. Он охватил всю эту сейсмогенерирующую зону вплоть до поперечной структуры к западу от Ближних островов (о. Атту), заполнив “Командорскую сейсмическую брешь” [Чебров и др., 2017б].

Поэтому землетрясение, вероятно, было бы более уместно назвать Восточно-Командорским.

### СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ БЛИЖНЕ-АЛЕУТСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 17.07.2017 г.

Информационной базой для выполнения работы служили, Специализированный каталог землетрясений Северной Евразии (УКЗСЕ) [Уломов, Медведева, [seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-СКЗ.pdf](http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-СКЗ.pdf)], Региональный каталог землетрясений Камчатки (РКЗК) КФ ЕГС РАН [<http://www.emsd.ru>], Каталог службы срочных донесений (ССД) ЕГС РАН [[http://www.ceme.gsras.ru/ceme/ssd\\_news.htm](http://www.ceme.gsras.ru/ceme/ssd_news.htm)], каталоги NEIC [<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>] и СМТ [Global Centroid-Moment-Tensor (СМТ) catalog; Dziewonski et al., 1981]. В настоящей работе каталоги УКЗСЕ, РКЗК и СМТ использовались для анализа сейсмической истории, каталоги ССД ЕГС РАН, РКЗК, NEIC и СМТ – для изучения афтершоковой последовательности землетрясения 17.07.2017 и ряда других сильных землетрясений в западном сегменте Алеутской островной дуги. Предварительно, использованные фрагменты каталогов УКЗСЕ, РКЗК и ССД ЕГС РАН были унифицированы по магнитуде  $M_w$ . Поскольку каталог СМТ является представительным для всей планеты с  $M_w \sim 5.5$  [Kagan, 2003], моментные магнитуды всех крупных собы-



**Рис. 3.** Эпицентры 95 землетрясений, включая эпицентры главного толчка 17.07.2017 г., форшоков и афтершоков, зарегистрированных в регионе Командорских островов в период с 24 мая 2017 г. по 27 марта 2018 г.

тий брались непосредственно из СМТ-каталога. Для более слабых событий использовались корреляционные соотношения, которые приводятся ниже по тексту.

Землетрясение 17 июля 2017 г. произошло в 23:34 UTC в районе о. Медный (Командорские острова). Согласно оценке ССД ЕГС РАН его магнитуда  $M_S = 7.5$ . По данным других ведущих сейсмических служб его моментная магнитуда оценена как  $M_w = 7.7$  (NEIC) и  $M_w = 7.8$  (СМТ, HARVARD). По данным КФ РЭС землетрясение ощущалось в п. Никольское (о. Беринга) с интенсивностью 5–6 баллов, в г. Петропавловске-Камчатском – 2 балла. Оно также вызвало незначительное цунами, по которому ИОЦ “Петропавловск” своевременно была объявлена тревога цунами. Землетрясение предварялось сильным форшоком с  $M_S = 6.2$  (ССД ЕГС РАН) и  $M_w = 6.2$  (СМТ, HARVARD), который произошел приблизительно за 11 часов до главного события в 11:06 UTC и имевшим 2 афтершока с  $mb = 5.1$  (ССД ЕГС РАН),  $M_w = 5.3$  (СМТ, HARVARD) и  $mb = 4.5$  (ССД ЕГС РАН).

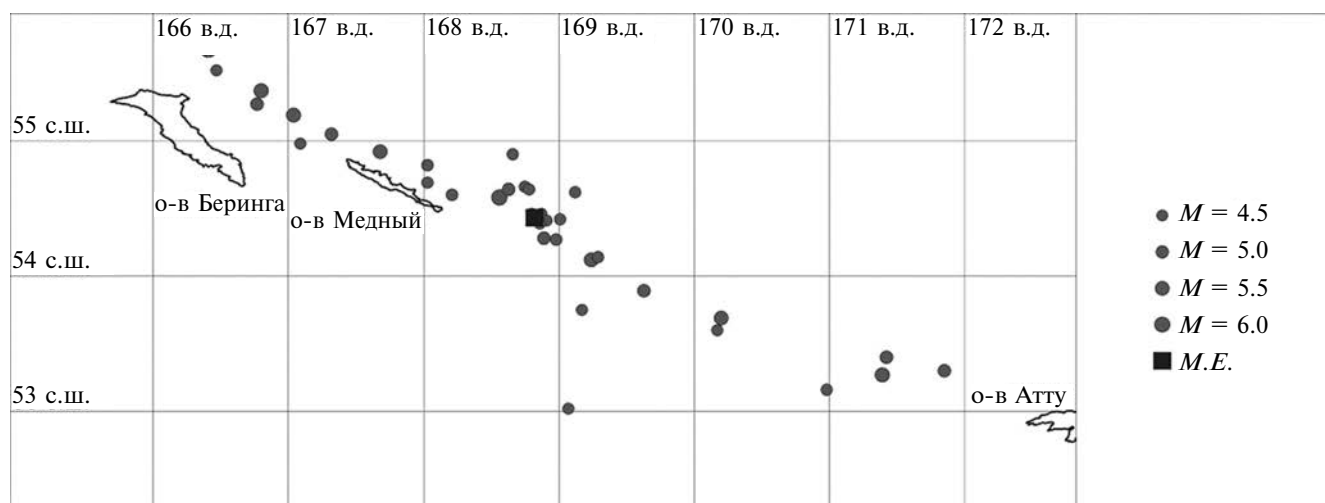
По данным ССД ЕГС РАН землетрясение 17 июля сопровождалось многочисленными афтершоками с достаточно невысокими магнитудами ( $4.2 \leq mb \leq 5.5$ ) с учетом магнитуды главного события. Всего за первые 6.5 суток было зарегистрировано 36 афтершоков с  $mb \geq 4.2$ . На рис. 4 представлена схема форшоков и афтершоков землетрясения 17 июля за период с 17 по 20 июля включительно, то есть за 3 суток с момента главного события. Афтершоковый

процесс продолжается по настоящее время. При этом сильнейшим был афтершок 25.01.2018 г. с  $M_S = 6.3$  (ССД ЕГС РАН),  $M_w = 6.2$  (СМТ, HARVARD), который произошел к северо-востоку от о. Беринга.

Крупным кружком к северо-западу от эпицентра главного события обозначен форшок 17.07.2017 г. в 11:06,  $M_w = 6.2$ . Землетрясение 17 июля имело еще один, даже более сильный, форшок 02.06.2017,  $M_w = 6.8$  в районе Ближних островов. В свою очередь, форшок 2 июня предварялся своим сильным форшоком 27.03.2017 г. с  $M_w = 6.2$ , также имевшим сдвиговый механизм.

Механизмы очагов форшоков 2 июня и 17 июля и главного сейсмического события согласно данным СМТ, HARVARD являются чистым сдвигом (см. рис. 1). Практически тождественное сходство механизмов форшоков 2 июня и 17 июля (1, 2, см. рис. 1) с механизмом главного события (3, см. рис. 1) является дополнительным подтверждением того, что событие 2 июня 2017 г. в районе Ближних островов является форшоком. То, что механизм главного события является чистым сдвигом, без вертикальной составляющей, вероятно, и обусловило незначительность наблюдавшегося цунами.

Афтершок 25.01.2018 г.,  $M_w = 6.2$  (4, см. рис. 1) имеет очаг, не удовлетворяющий модели двойного диполя (очаг NDC типа) [Frohlich, 1995; Лутиков и др., 2010], а его механизм является сдвигом со значительной взбросовой компонентой. Действительно, детерминант его тензора сейсмического момента ([www.globalcmt.org](http://www.globalcmt.org))



**Рис. 4.** Схема форшоков и афтершоков землетрясения 17 июля 2017 г.,  $M_w = 7.8$  (обозначено большим квадратом), за период с 17 по 20 июля включительно по данным ССД ГС РАН. Наиболее крупными кружками обозначены форшоки 02.06.2017,  $M_w = 6.8$  и 17.07.2017 в 11:06,  $M_w = 6.2$ .

с учетом матрицы ошибок  $\det M_{ij} = -0.354 \pm 0.025$  является гарантировано отрицательным и характеризует режим одноосного сжатия.

Видно, что область афтершоков первых 3-х суток (см. рис. 4), трассирующая очаг землетрясения 17 июля, простирается от Ближних островов (Near Islands) Алеутской дуги на юго-востоке почти до восточного побережья Камчатки на северо-западе. Фактически очаг землетрясения 17 июля с юго-востока примыкает к очагу сильного Южно-Озерновского землетрясения 29.03.2017 04<sup>h</sup> 09<sup>m</sup>,  $M_w = 6.6$  на Камчатке (56.98° с.ш., 163.20° в.д.) [Чебров др., 2017a]. Согласно рис. 4 линейные размеры очага по облаку афтершоков оцениваются более, чем в 400 км, что приблизительно в 3 раза превосходит оценки линейных размеров очага с магнитудой 7.7–7.8 [Лутиков, Донцова, 2002]. В работе [Чебров и др., 2017б], в частности, отмечается, что аналогичное несовпадение линейных размеров очага и облака афтершоков наблюдалось и для других сильнейших землетрясений Алеутской дуги: 09.03.1957 г.  $M_w = 8.6$  и 04.02.1965 г.,  $M_w = 8.7$  [Балакина, Москвина, 2010]. Отметим также, что такая протяженность очага вполне согласуется с оценками [Wells, Coppersmith, 1994] для линейных сейсморазрывов сдвигового типа.

### СЕЙСМИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ

Была прослежена вся доступная сейсмическая история по ходу высвобождения скалярного сейсмического момента ( $M_0$ ) очаговой области землетрясения 17 июля 2017 г. с 1742 г. по 2017 г. включительно. При этом рассматривалась область, занятая афтершоками этого землетрясения, а именно область, ограниченная координатами 53.0°–56.0° с.ш. и 165.0°–173.0° в.д. С этой целью были использованы Унифицированный каталог землетрясений Северной Евразии (УКЗСЕ) [Уломов, Медведева, [seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-СКЗ.pdf](http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-СКЗ.pdf)] и Региональный каталог землетрясений Камчатки (РКЗК) (КФ ЕГС РАН). Данные УКЗСЕ использовались для периода с 1742 г. по 2013 г., а данные РКЗК – с 2013 г. по 2017 г. включительно. Поскольку с 1742 г. по 1920 г. в каталоге УКЗСЕ для рассматриваемой территории содержались только отдельные события, временной ход высвобождения кумулятивного (накопленного) скалярного сейсмического момента ( $M_{0cum}$ ) был прослежен с 1920 г. по 2017 г. С 1976 г.  $M_w$  и  $M_0$  для всех более или менее сильных ( $M_w \geq 5.5$ ) событий брались непосредственно из Каталога тензоров центроида сейсмического момента (СМТ). Переход от магнитуды  $M_{LH}$  в УКЗСЕ к моментной магнитуде  $M_w$  осуществлялся по корреляционной формуле, полученной по 37 парным значениям из УКЗСЕ и СМТ:

$$M_w = (0.6125 \pm 0.027) \cdot M_{LH} + 2.385 \pm 0.186, \quad (1)$$

$$R_c = 0.968.$$

Переход от используемого в настоящее время на Камчатке энергетического класса  $K_S$  к  $M_0$  осуществлялся по корреляционной формуле, полученной по 20 парным значениям из РКЗК и СМТ методом линейной ортогональной регрессии:

$$\lg M_0 = (1.012 \pm 0.068) \cdot K_S + 4.332 \pm 1.004, \quad (2)$$

$$R_c = 0.962,$$

где  $R_c$  – коэффициент линейной корреляции.

Переход от  $M_w$  к  $M_0$  производится по формуле Канамори [Kanamori, 1978]:

$$\lg M_0 = 1.5 M_w + 9.1.$$

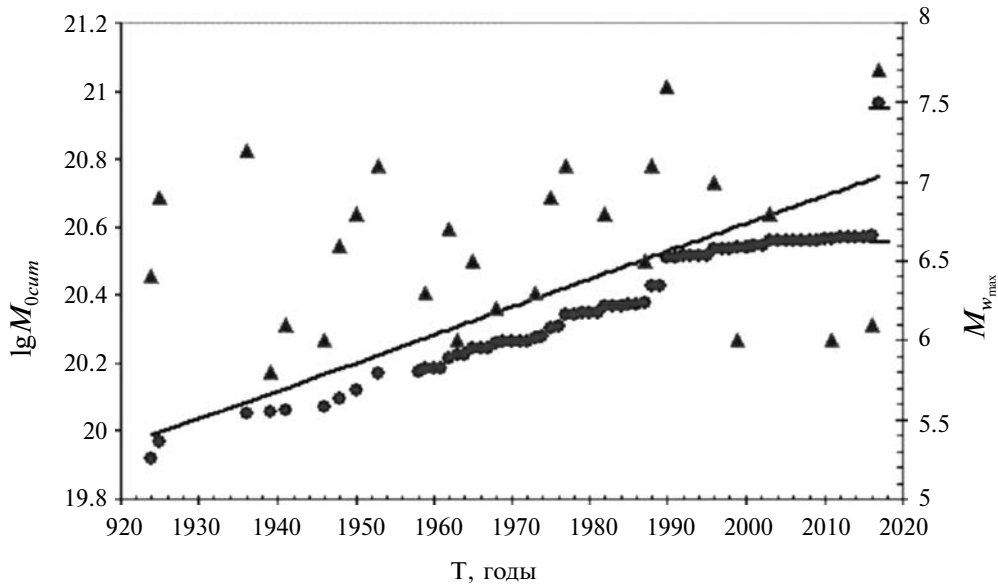
На рис. 5 представлен временной ход высвобождения кумулятивного (накопленного) скалярного сейсмического момента  $M_{0cum}$  в афтершоковой области землетрясения 17 июля с 1920 по 2017 гг. Прямой линией показана линейная регрессия, аппроксимирующая наблюдаемые данные за период с 1924 по 1998 гг. включительно.

В аналитическом виде регрессия имеет вид:

$$\lg M_{0cum} = (0.0082 \pm 0.0002) \cdot t + 4.205 \pm 0.439 \quad (3)$$

$$R_c = 0.983.$$

Видно, что, начиная приблизительно с 1990 г., начал накапливаться дефицит в высвобождении  $M_0$ . К моменту возникновения землетрясения 17 июля 2017 г. его величина составила  $M_{0cum} \approx 1.78 \cdot 10^{20}$  Н·м, что эквивалентно возникновению землетрясения с  $M_w \approx 7.4$ , что достаточно близко к фактической наблюдаемой магнитуде землетрясения 17 июля –  $M_w = 7.7$ – $7.8$ . Таким образом, можно заключить, что после землетрясения 17 июля 2017 г. накапливавшийся приблизительно с 1990 г. дефицит в высвобождении  $M_0$  в рассмотренной области был ликвидирован. Поэтому, в афтершоковой области землетрясения 17 июля 2017 г. ( $M_w = 7.8$ ) вряд ли можно ожидать возникновения в ближайшие годы землетрясения с магнитудой, сопоставимой с магнитудой землетрясения 17 июля. При этом следует иметь в виду, что этот вывод сделан на основании анализа сейсмических проявлений в области Командорских островов приблизительно за последние 270 лет (период в 270 лет оценивается по первому упоминанию в каталоге [Новый каталог ..., 1977] о сильном землетрясении 1742 г. на Командорских островах) в предположении, что этот период времени достаточен для использования гипотезы стационарности сейсмического режима.



**Рис. 5.** Временной ход высвобождения  $M_{0cum}$  в афтершоковой области землетрясения 17 июля с 1920 по 2017 гг. Прямой линией показана линейная регрессия, аппроксимирующая наблюдаемые данные за период с 1924 по 1998 гг. включительно. Горизонтальными черточками обозначен 95% доверительный интервал регрессии в 2017 г. Треугольниками показаны магнитуды (правая ось ординат) наиболее сильных ( $M_w \geq 5.8$ ) сейсмических событий.

**АНАЛИЗ АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА**

Афтершоковый процесс землетрясения 17 июля развивался достаточно вяло для землетрясения такой силы. По данным ССД ЕГС РАН с момента землетрясения за первые 75 дней здесь произошло всего 59 афтершоков с магнитудами  $4.1 \leq mb \leq 5.6$ , а по данным КФ ЕГС РАН к 25.09.2017 г. было зарегистрировано 303 афтершока с  $8.3 \leq K_s \leq 13.0$  ( $1.9 \leq M_w \leq 5.5$ ). Здесь  $K_s$  – региональный энергетический класс кам-

чатских землетрясений. На рис. 6 представлена карта афтершоков ( $M_w \geq 2.3$ ) за весь исследуемый период, то есть с 17.07.2017 по 27.02.2018. Карта построена по данным РКЗК с коррекцией более или менее крупных событий по каталогу СМТ. Переход к моментным магнитудам от энергетических классов  $K_s$  осуществлялся по формуле (2). В табл. 1 приведено распределение числа событий в афтершоковой последовательности по магнитудам за весь рассматриваемый период.

**Таблица 1.** Распределение числа событий в афтершоковой последовательности по магнитудам за период с 17.07.2017 по 27.02.2018

$M_w$	$\leq 2.2$	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	$N_{\Sigma}$
$N$	181	178	93	59	26	7	11	3	1	559

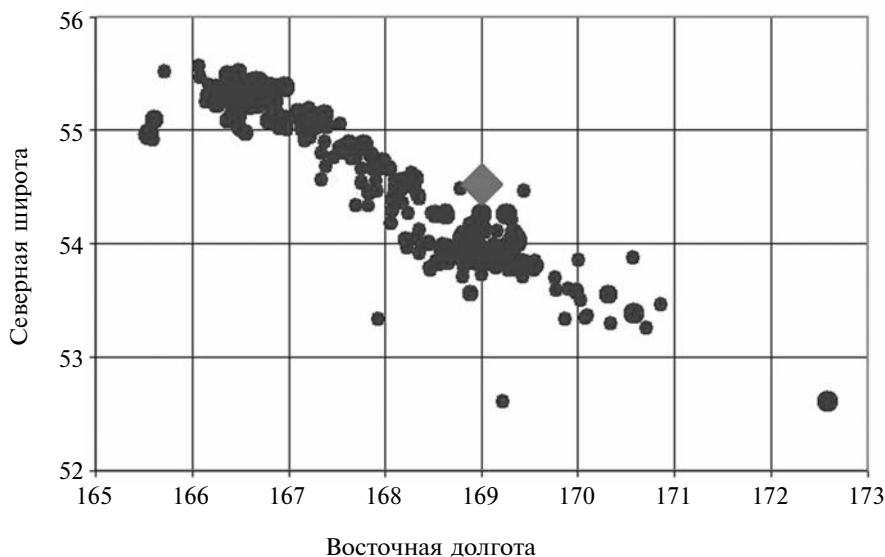
Примечание.  $N_{\Sigma}$  – общее число афтершоков.

Из табл. 1 следует, что землетрясения с магнитудами  $M_w \leq 2.2$  являются заведомо непредставительными. Также можно заключить, что наблюдается явный недостаток событий с магнитудами  $M_w = 4.5$ . На рис. 7 представлен график повторяемости афтершоков в интервале магнитуд  $2.5 \leq M_w \leq 6.0$ , построенный по данным табл. 1. Прямыми линиями показаны ортогональные регрессии, проведенные в интервалах магнитуд 2.5–4.0 и 4.0–6.0.

$$\begin{aligned}
 \lg N &= (-0.544 \pm 0.042) \cdot M_w + 3.619 \pm 0.182 \\
 2.5 \leq M_w \leq 4.0 \quad R_c &= 0.994 \\
 \lg N &= (-0.686 \pm 0.152) \cdot M_w + 4.183 \pm 0.963 \\
 4.0 \leq M_w \leq 6.0 \quad R_c &= 0.934.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

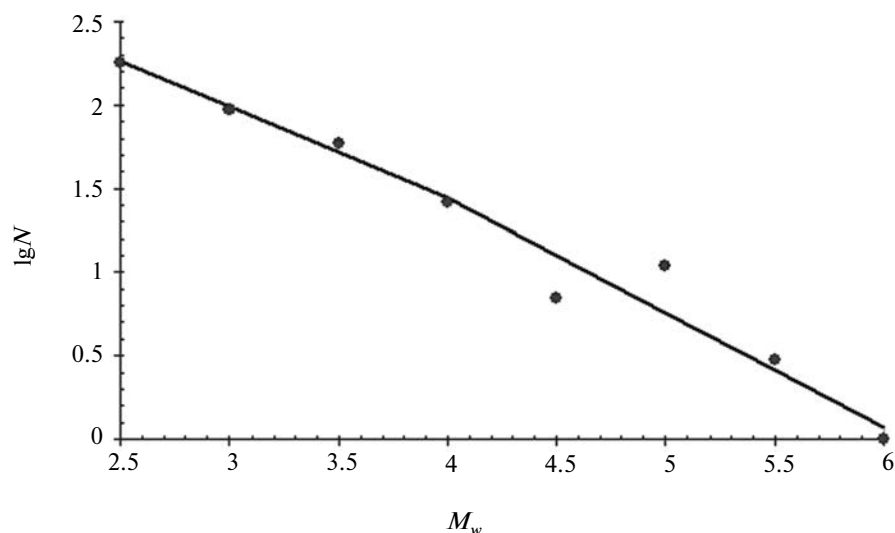
Из рис. 7 и формул (4) следует, что в афтершоковой последовательности наблюдается систематический дефицит событий с магнитудами  $M_w \geq 4.5$ .





**Рис. 6.** Карта афтершоков ( $2.3 \leq M_w \leq 6.2$ ) землетрясения 17.07.2017 ( $M_w = 7.8$ ) за весь период, с 17.07.2017 по 27.02.2018, всего 378 афтершоков.

Главное событие обозначено большим ромбом; афтершоки показаны залитыми кружками, диаметр которых пропорционален магнитуде.



**Рис. 7.** График повторяемости афтершоков в интервале магнитуд  $2.5 \leq M_w \leq 6.0$ , построенный по данным табл. 1. Прямыми линиями показаны ортогональные регрессии, проведенные в интервалах магнитуд 2.5–4.0 и 4.0–6.0.

На рис. 8а представлен ход высвобождения скалярного сейсмического момента ( $M_0$ ) в афтершоках в долях от  $M_0$  главного события (М.Е.) по данным каталогов ССД ЕГС РАН и СМТ, а на рис. 8б – то же по данным Регионального каталога землетрясений Камчатки (РКЗК КФ ЕГС РАН) и каталога СМТ. Практически все события в каталоге ССД ЕГС РАН представлены магнитудой  $m_b$ . Переход от магнитуды  $m_b$  к  $M_w$  осуществлялся по корреляционной зависимости между  $m_b$  и  $M_w$ , полученной по 89 парам значений в виде:

$$M_w = 0.718m_b + 1.507 \quad R_c = 0.872.$$

Видно, что по данным обоих каталогов приблизительно за 70 дней после главного события в афтершоках высвободилось соответственно 0.4% и 0.13% от скалярного сейсмического момента главного толчка ( $M_{0me}$ ), что anomalously мало и указывало на возможность возникновения здесь нового сильного события. При этом оценки в высвобождении  $M_0$  в афтершоках по данным каталогов ССД ЕГС РАН и РКЗК КФ ЕГС РАН различаются приблизительно в 3 раза.

Линия регрессии проведена по 1–13 дням (а) и по 1–17 дням (б) афтершокового процесса.

Интервалы в 13 (а) и 17 (б) дней были выбраны по начальному, приблизительно линейному участку графика хода высвобождения  $M_{0cum}$ . Последующий, почти горизонтальный участок графика может рассматриваться как сейсмическое затишье внутри афтершокового процесса перед сильным афтершоком 25.01.2018 г.

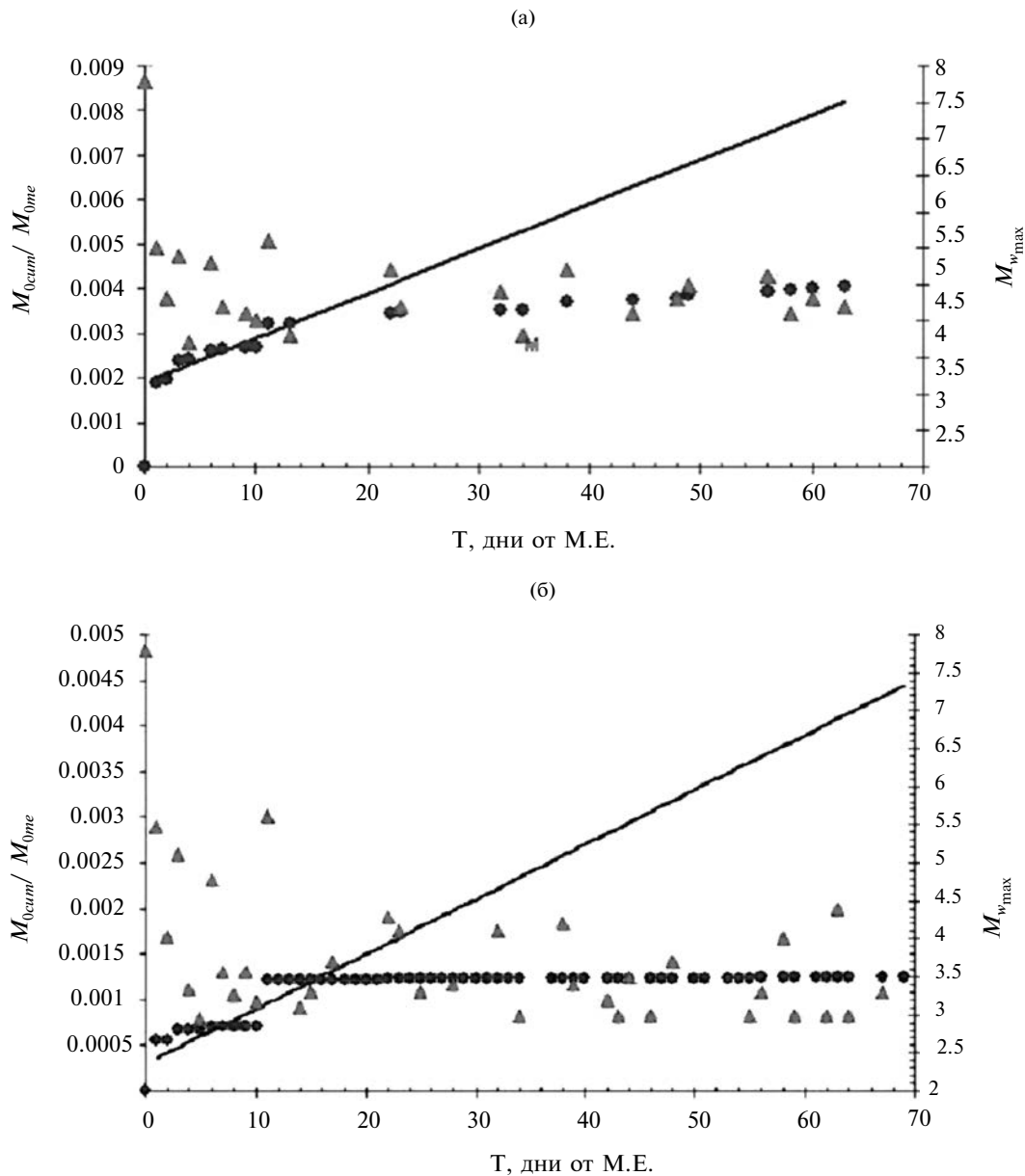
Линейные регрессии, показанные на рис. 8а и 8б соответственно, в аналитической форме имеют вид:

$$M_{0cum}/M_{0me} = (0.00010 \pm 0.00001) \cdot t + 0.0019 \pm 0.0002 \quad R_c = 0.934 \quad (5)$$

$$M_{0cum}/M_{0me} = (0.00007 \pm 0.00001) \cdot t + 0.0004 \pm 0.0001 \quad R_c = 0.919, \quad (6)$$

где время  $t$  от времени главного события (М.Е.) выражено в днях.

Дефицит в высвобождении  $M_0$ , оцениваемый по разности между линией регрессии и фактически наблюдаемым временным рядом  $M_{0cum}$  (см. рис. 8) в предположении квазистационарности высвобождения  $M_0$  на начальном этапе афтершокового процесса, в данном случае увеличился очень медленно — приблизительно со скоростью  $3 \cdot 10^{16}$  Н·м/день. По данным обоих



**Рис. 8.** Ход высвобождения скалярного сейсмического момента ( $M_{0cum}$ ) в афтершоках в долях от  $M_0$  главного события по данным каталога ССД ЕГС РАН (а) и по данным каталога РКЗК КФ ЕГС РАН (б).

Треугольниками обозначены максимальные магнитуды афтершоков (вторая ось ординат). Прямой линией показана регрессия, проведенная по начальному участку графика.

каталогов дефицит в высвобождении  $M_0$  за первые 70 дней афтершокового процесса оказался весьма близок и составил  $\approx 2.26 \cdot 10^{18}$  Н·м по данным ССД ЕГС РАН и  $\approx 1.73 \cdot 10^{18}$  Н·м по данным РКЗК КФ ЕГС РАН, что эквивалентно возникновению землетрясения с  $M_w \approx 6.1$ – $6.2$ . Из вышесказанного следует, что оба рассмотренных каталога в плане оценки дефицита в высвобождении  $M_0$  в афтершоках дают сходные результаты. В дальнейшем, как более полными, будем пользоваться данными каталога КФ ЕГС РАН, дополненными данными каталога СМТ.

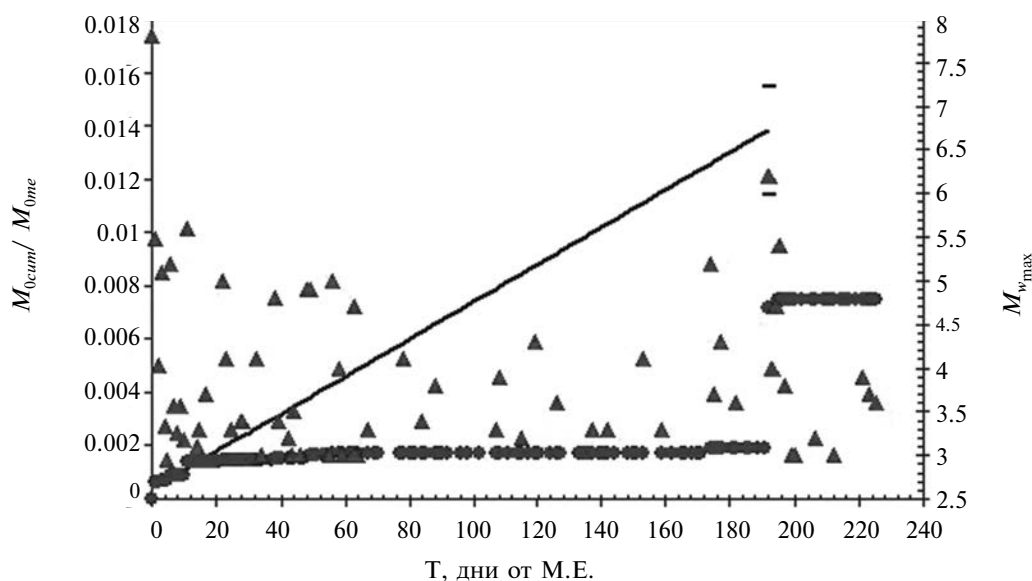
Как уже упоминалось выше, самый сильный афтершок с  $M_w = 6.2$  произошел 25.01.2018 г., т.е. более чем через полгода после главного события. На конец февраля 2018 г. по данным ССД ЕГС РАН всего было зарегистрировано 83 афтершока с  $mb \geq 4.3$ , а по данным РКЗК КФ ЕГС РАН – 559 афтершоков с  $K_S \geq 8.3$  ( $M_w \geq 1.9$ ). На рис. 9 представлен временной ход высвобождения  $M_{0cum}/M_{0me}$  в афтершоках землетрясения 17 июля в долях от  $M_0$  главного события за период с 17.07.2017 г. по 27.02.2018 г. включительно. График построен по данным РКЗК КФ ЕГС РАН и каталога СМТ [Global Centroid-Moment-Tensor (СМТ) catalog]. Прямой линией показана регрессия (6). Ступень на графике соответствует афтершоку 25.01.2018 г.,  $M_w = 6.2$ . Горизонтальными черточками показан 95% доверительный интервал регрессии на 25.01.2018 г.

В соответствии с рис. 9 к 27.02.2018 всего в афтершоках высвободился  $M_{0cum\ aft} \approx 4.06 \cdot 10^{18}$  Н·м или приблизительно 0.75% от  $M_{0me}$ . При

этом дефицит в высвобождении  $M_0$  (формула (5)) в афтершоках на 24.01.2018 г. составил  $\Delta M_{0cum} = 6.43 \cdot 10^{18}$  Н·м, что эквивалентно возникновению землетрясения с  $M_w \approx 6.5$ , что немного больше магнитуды афтершока 25.01.2018 г. То, что  $\Delta M_{0cum}$  в афтершоках, оцененный по разности между линией регрессии и фактически наблюдаемым временным рядом  $M_{0cum}$ , приблизительно соответствует моментной магнитуде афтершока 25 января означает, что квазистационарная фаза высвобождения  $M_{0cum}$  в афтершоках продолжалась около 1/2 года, а период с 3 августа 2017 г. по 24 января 2018 г. может рассматриваться как фаза сейсмического затишья внутри афтершоковой последовательности перед сильным афтершоком 25.01.2018 г.

Согласно эмпирическому закону Бота [Bath, 1965], разность между магнитудой основного толчка и магнитудой сильнейшего афтершока ( $\Delta M$ ) является приблизительно постоянной и, как правило, равна 1.1–1.2 в единицах моментной магнитуды. Проведенный в работах [Kisslenger, Jones, 1991; Sherbakov, Turcotte, 2004] анализ показал, что величина  $\Delta M$  изменяется в довольно широких пределах  $0.6 \leq \Delta M \leq 1.7$ . В случае Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. ( $M_w = 7.8$ ) с учетом сильнейшего афтершока 25.01.2018 г. ( $M_w = 6.2$ )  $\Delta M = 1.6$ , что лежит в пределах отмеченных возможных изменений величины  $\Delta M$ .

Афтершоковый процесс Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. имеет две особенности в сравнении с афтершоковыми процессами



**Рис. 9.** Временной ход высвобождения  $M_{0cum}/M_{0me}$  в афтершоках землетрясения 17 июля в долях от  $M_0$  главного события за период с 17.07.2017 г. по 27.02.2018 г. включительно.

График построен по данным РКЗК КФ ЕГС РАН и каталога СМТ [Global Centroid-Moment-Tensor (СМТ) catalog]. Прямой линией показана регрессия (6). Горизонтальными черточками обозначен 95% доверительный интервал регрессии на 25.01.2018 г.

большинства Курило-Камчатских землетрясений [Лутиков, Родина, 2013]: 1) малое высвобождение  $M_{0cum\ aft}$ , составившее по разным оценкам – 0.75% (РКЗК КФ ЕГС РАН), 1.0% (ССД ЕГС РАН) от  $M_{0me}$ ; 2) очень медленное нарастание дефицита в высвобождении  $M_0$  (формулы (5) и (6)).

При этом возникает вопрос, является ли столь малое высвобождение  $M_{0cum\ aft}$  в афтершоках особенностью данного конкретного землетрясения или это – общая региональная особенность большинства сильных землетрясений западного сегмента Алеутской дуги?

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

С целью прояснения этого вопроса были рассмотрены все сильные ( $M_w \geq 6.0$ ) землетрясения Командорских и Ближних островов с конца 80-х годов прошлого века, у которых имелись афтершоковые последовательности. Помимо события

17.07.2017 г. таких землетрясений оказалось 5. Эти толчки вместе со своими афтершоковыми последовательностями изображены на рис. 10. Сведения о них содержатся в таблице 2, где кроме общих каталожных данных об этих событиях приведены также скалярные сейсмические моменты главных событий ( $M_{0me}$ ), оценки суммарных скалярных сейсмических моментов, высвободившихся в афтершоках ( $M_{0cum}$ ), моментные магнитуды сильнейших афтершоков ( $M_{w\ aft\ max}$ ) и тип подвижки в очаге (тип механизма). Важной характеристикой афтершокового процесса является его относительная интенсивность  $M_{0cum}/M_{0me}$ . Тип подвижки в очаге определялся по механизмам очагов в каталоге СМТ с последующим уточнением по знаку  $\text{Det } M_{ij}$  ( $M_{ij}$  – тензор сейсмического момента) с учетом ошибок его определения [Лутиков и др., 2010]. При этом  $\text{Det } M_{ij} > 0$  соответствует режиму одноосного сжатия и характеризует взбросы,  $\text{Det } M_{ij} < 0$  – сбросы и  $\text{Det } M_{ij} = 0$  – чистые сдвиги.

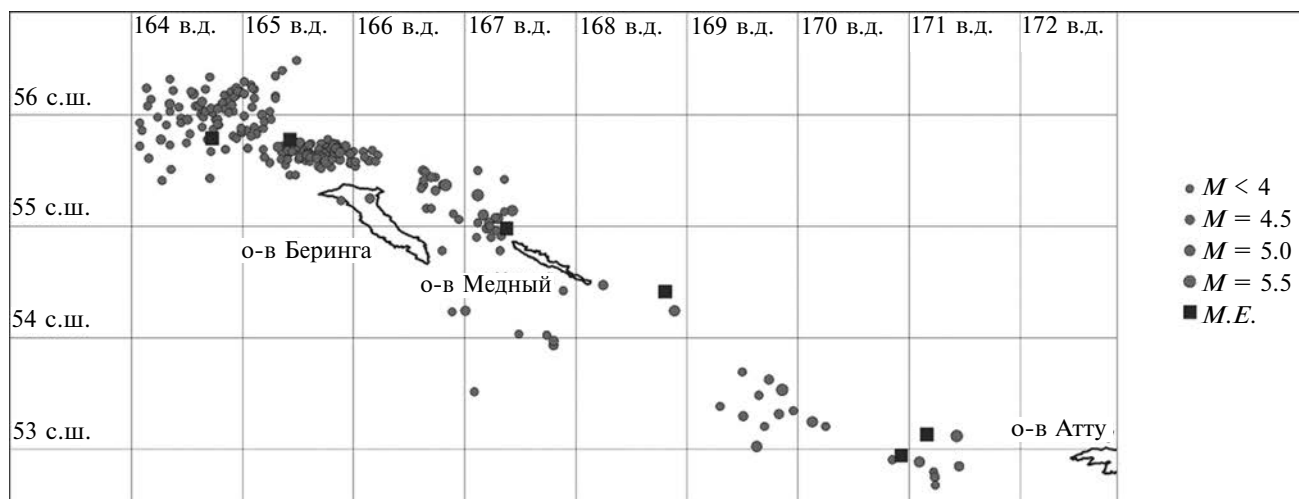
**Таблица 2.** Сильные землетрясения ( $M_w \geq 6.0$ ) Командорских и Ближних островов (1988–2017 гг.)

Дата	Время	$\phi^\circ$	$\lambda^\circ$	h, км	MW	$M_{0me}^*$	$M_{0cum}^*$	$M_{0cum}/M_{0me}$	$M_{w\ aft\ max}$	Тип мех.
29.02.1988	05-31-39	54.98	167.38	40	6.9	2.58E+19	1.38E+18	0.0534	5.9	взбросо-сдвиг
06.11.1990	20-14-18	52.94	170.93	36	7.1	5.81E+19	1.03E+18	0.0177	5.3	сдвиг
16.07.1996	03-48-27	55.79	164.73	12	6.5	7.08E+18	1.23E+17	0.0174	5.0	сдвиг
05.12.2003	21-26-14	55.78	165.43	29	6.6	1.14E+19	2.59E+17	0.0227	5.4	взбросо-сдвиг
23.12.2010	14-00-32	53.127	171.161	18	6.4	4.29E+18	1.54E+17	0.0358	5.3	сдвиг
17.07.2017	23-45-11	54.43	168.82	10	7.8	5.4E+20	4.06E+18	0.0075	6.2	сдвиг

Примечание.\* – в Н·м.

Из табл. 2 видно, что относительная интенсивность  $M_{0cum}/M_{0me}$  для рассмотренных 6 землетрясений изменяется в пределах  $0.0075 \leq M_{0cum}/M_{0me} \leq 0.0534$ , то есть от 0.75% до 5.3% от  $M_0$  главного события. Причем минимальное значение – 0.75% соответствует событию 17 июля 2017 г., сильнейшему из рассмотренной серии. При этом среднее значение  $(M_{0cum}/M_{0me})_{av} = 0.0258 \pm 0.0164$ . Сопоставление результатов по западному сегменту Алеутской дуги с данными анализа афтершоковых последовательностей землетрясений Курило-Камчатской дуги [Лутиков, Родина, 2013] показывает, что величина относительной интенсивности  $M_{0cum}/M_{0me}$  по выборке из 24 силь-

ных и умеренно сильных землетрясений (без Командорских о-вов) варьирует в значительно более широких пределах:  $0.0045 \leq M_{0cum}/M_{0me} \leq 0.2340$  при среднем значении  $(M_{0cum}/M_{0me})_{av} = 0.0467 \pm 0.0712$ . При этом для двух событий  $M_{0cum}/M_{0me} \leq 0.0060$  и еще для двух –  $M_{0cum}/M_{0me} \approx 0.0072 - 0.0077$ , т.е. приблизительно равна относительной интенсивности афтершокового процесса землетрясения 17.07.2017. Из сказанного можно заключить, что относительная интенсивность афтершокового процесса Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 лежит вблизи нижней границы выявленных пределов ее изменения для Курило-Камчатских землетрясений. В то же время продолжительность квази-



**Рис. 10.** Землетрясения Командорских и Ближних Алеутских островов (1988–2010 гг.) вместе с их афтершоковыми последовательностями.

Главные события обозначены большими квадратами.

стационарной фазы высвобождения  $M_{0cum}$  в афтершоках, оцененной приблизительно в  $\frac{1}{2}$  года и охватившей значительную часть длительности всего афтершокового процесса этого землетрясения, который к марту 2018 г., вероятно, уже был близок к завершению, представляется необычно большой. Значительно более широкие пределы изменения величины относительной интенсивности  $M_{0cum}/M_{0me}$  для афтершоковых последовательностей землетрясений Курило-Камчатской дуги, вероятно, связаны как со значительно большим многообразием тектонических условий, в которых они возникли (в основном в зоне Беньофа), так и с тем, что механизмы этих землетрясений, помимо преимущественно сдвигов, представлены также взбросами, надвигами и сбросами. Выявление возможной связи между типом механизма главного события и относительной интенсивностью его афтершокового процесса требует проведения специальных исследований и лежит вне рамок настоящей работы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ сейсмологических и сеймотектонических данных о сильнейшем землетрясении 17.07.2017 г. на Командорских островах показал, что сейсмический очаг согласно распределению эпицентров афтершоков в виде линейно вытянутой узкой зоны длиной около 400 км практически полностью занял северный склон Командорского островного поднятия и разместился в зоне разлома Беринга. Он охватил всю эту сейсмогенерирующую

зону вплоть до поперечной структуры к западу от Ближних островов (о. Атту), заполнив “Командорскую сейсмическую брешь” [Чебров и др., 2017б]. В соответствии с решениями фокальных механизмов и характером смещений в очагах главного толчка и сильнейших афтершоков подвижка в очаге представляла собой практически чистый правосторонний сдвиг. Афтершоковый процесс землетрясения 17 июля развивался достаточно вяло для землетрясения такой силы. Кроме того, он имеет две особенности в сравнении с афтершоковыми процессами большинства Курило-Камчатских землетрясений: 1) малое высвобождение кумулятивного скалярного сейсмического момента ( $M_{0cum\ aft}$ ), составившее по разным оценкам от 0.75% до 1.0% от сейсмического момента главного толчка ( $M_{0me}$ ); 2) очень медленное нарастание дефицита в высвобождении сейсмического момента ( $M_0$ ). При этом продолжительность квазистационарной фазы высвобождения  $M_{0cum}$  в афтершоках, оцененной приблизительно в  $\frac{1}{2}$  года и охватившей значительную часть длительности всего афтершокового процесса этого землетрясения, который к марту 2018 г., вероятно, уже был близок к завершению, представляется необычно большой. Эти особенности афтершокового процесса Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. отличают его от афтершоковых процессов, свойственных большинству сильных Курило-Камчатских землетрясений. В целом, его очаг можно рассматривать в качестве трансформного между двумя зонами Беньофа–Алеутской и Курило-Камчатской, а не субдукционного, характерного для двух последних.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках темы госзадания Института физики Земли № 0144-2014-0109.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

- 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.
- Зобин В.М., Гусева Е.М., Иванова Е.И. и др.* Командорское землетрясение 29 февраля 1988 г. // *Землетрясения в СССР в 1988 году*. М.: Наука, 1991. С. 16–177.
- Каталог службы срочных донесений (ССД) ЕГС РАН, [http://www.ceme.gsras.ru/ceme/ssd\\_news.htm](http://www.ceme.gsras.ru/ceme/ssd_news.htm)
- Каталоги NEIC, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>
- Левин В.Е., Гордеев Е.И., Бахтияров В.Ф., Касахара М.* Предварительные результаты GPS мониторинга на Камчатке и Командорских островах // *Вулканология и сейсмология*. 2002. № 1. С. 3–11.
- Левина В.И., Иванова Е.И., Гордеев Е.И. и др.* Камчатка и Командорские острова // *Землетрясения Северной Евразии в 1996 году*. М., 2002. С. 119–128.
- Левина В.И., Иванова Е.И., Ландер А.В. и др.* Камчатка и Командорские острова // *Землетрясения Северной Евразии* 2003. Обнинск, 2009а. С. 181–192.
- Левина В.И., Чеброва А.Ю., Ландер А.В. и др.* Командорское-II землетрясение 5 декабря 2003 года с  $M_S = 6.8$ ,  $I_0P = 7$  (Командорские острова) // *Землетрясения Северной Евразии* 2003. Обнинск, 2009б. С. 374–381.
- Лутиков А.И., Донцова Г.Ю.* Оценка линейных размеров очагов землетрясений Камчатки по размерам облака афтершоков // *Известия РАН. Физика Земли*. 2002. № 6. С. 46–56.
- Лутиков А.И., Юнга С.Л., Кучай М.С.* Сейсмические источники, не удовлетворяющие модели двойного диполя: критерий выявления и распределение в островных дугах // *Геофизические исследования*. 2010. Т. 11. № 3. С. 11–25.
- Лутиков А.И., Родина С.Н.* Временные и энергетические параметры афтершокового процесса Курило-Камчатских землетрясений // *Геофизические исследования*. 2013. Т. 14. № 4. С. 5–17.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 535 с.
- Региональный каталог землетрясений Камчатки (РКЗК) КФ ЕГС РАН, <http://www.emsd.ru/>
- Уломов В.И., Медведева Н.С.* Специализированный каталог землетрясений Северной Евразии (УКЗСЕ), [seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-CK3.pdf](http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-CK3.pdf)
- Федотов С.А., Зобин В.М., Гордеев Е.И. и др.* Землетрясения Камчатки и Командорских островов // *Землетрясения в СССР в 1990 году*. М., 1996. С. 100–106.
- Чебров Д.В., Кугаенко Ю.А., Ландер А.В. и др.* Южно-Озерновское землетрясение 29.03.2017 г. с  $M_w = 6.6$ ,  $K_s = 15.0$ ,  $I = 6$  (Камчатка) // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2017а. № 3. Выпуск 35. С. 8–21.
- Чебров Д.В., Кугаенко Ю.А., Абубакиров И.Р. и др.* Ближне-Алеутское землетрясение 17.07.2017 г. с  $M_w = 7.8$  на границе Командорской сейсмической бреши // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2017б. № 3. Выпуск 35. С. 22–25.
- Bath M.* Lateral inhomogeneities of the upper mantle // *Tectonophysics*. 1965. № 2(6). P. 483–514.
- Dziewonski A.M., Chou T.A., Woodhouse J.H.* Determination of earthquake source parameters from wave-form data for studies of global and regional seismicity // *J. Geophys. Res.* 1981. V. 86. P. 2825–2852.
- Frohlich C.* Characteristics of Well-Determined Non-Double-Couple Earthquakes in the Harvard CMT Catalog // *Phys. Earth Planet. Inter.* 1995. V. 91. Iss. 4. P. 213–228.
- Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) catalog Project, <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
- Kagan Y.Y.* Accuracy of modern global earthquake catalogs // *Physics of the Earth and Planet. Interiors*. 2003. V. 135. P. 173–209.
- Kanamori H.* Quantification of Earthquakes // *Nature*. 1978. V. 271. № 5644. P. 411–414.
- Kisslenger C., Jones L.M.* Properties of aftershock sequences in southern California // *J. Geophys. Res.* 1991. V. 96. P. 11947–11958.
- Mets C., Gordon R.G., Argus D.F., Stein S.* Current plate motions // *Geophys. J. Int.* 1990. V. 101. P. 425–478.
- Newberry J.T., Laclair D.L., Fujita K.* Seismicity and tectonics of the far Western Aleutian Islands // *Journal of Geodynamics*. 1986. V. 6. Iss. 1–4. P. 13–32.
- Plate Motion Calculator. [http://sps.unavco.org/crustal\\_motion/dxdt/model/](http://sps.unavco.org/crustal_motion/dxdt/model/)
- Ruppert N.A., Kozyreva N.P., Hansen R.A.* Review of crustal seismicity in the Aleutian Arc and implications for arc deformation // *Tectonophysics*. 2012. V. 522–523. P. 150–157.
- Sherbakov R., Turcotte D.L.* A modified form of bath's law // *Bull. Seism. Soc. Am.* 2004. V. 94. P. 1968–1975.
- Wells D.L., Coppersmith K.J.* New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1994. V. 84. № 4. P. 974–1002.

## EARTHQUAKE JULY 17, 2017, $M_w = 7.8$ NEAR THE KOMANDORSKY ISLANDS AND STRONG SEISMIC MANIFESTATIONS IN THE WESTERN SEGMENT OF ALEUT ISLAND ARC

A. I. Lutikov<sup>1, 2, \*</sup>, E. A. Rogozhin<sup>1, 2</sup>, G. Yu. Donzova<sup>2, \*\*</sup>, V. N. Zhukovez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,  
Bol'shaya Gruzinskaya str. 10, building 1, Moscow, 123242 Russia*

<sup>2</sup>*Unified Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences,  
Lenin Ave. 189, Obninsk, Kaluga Region, 249035 Russia*

*\*e-mail: ail@ifz.ru*

*\*\*e-mail: donzova@ifz.ru*

Received June 05, 2018

The tectonic position, seismological characteristics and features of the aftershock process of the source of the strongest Near-Aleutian earthquake on July 17, 2017 on the Commander Islands with  $M_w = 7.8$  are considered. The analysis showed that the seismic source according to the distribution of aftershock epicenters in the form of a linearly elongated narrow zone with a length of about 400 km almost completely occupied the northern slope of the Commander island elevation and was located in the Bering fault zone. It covered the whole of this seismic-generating zone up to the transverse structure to the west of the Near Islands (Attu is.). In accordance with the focal mechanisms solution and the nature of the displacements in the foci of the main shock, the strongest foreshocks and aftershocks, the shift in the source was an almost pure right-sided shift. The aftershock process of the July 17 earthquake developed quite enough inertly for an earthquake of such strength. In addition, it has two features in comparison with the aftershock processes of most of the Kuril-Kamchatka earthquakes: 1) low release of the cumulative scalar seismic moment ( $M_{0cum\ aft}$ ), which according to various estimates was from 0.75% to 1.0% of the seismic moment of the main shock ( $M_{0me}$ ); 2) a very slow increase in the deficit in the release of the seismic moment ( $M_0$ ). At the same time, the duration of the quasi-stationary phase of  $M_{0cum}$  release in aftershocks, estimated at about  $\frac{1}{2}$  year and covering a significant part of the duration of the entire aftershock process of this earthquake, seems unusually long. These features of the aftershock process of the Middle Aleutian earthquake on July 17, 2017 distinguish it from the aftershock processes characteristic of most strong Kuril-Kamchatka earthquakes. In general, its source can be considered as a transform between the two Benioff zones – Aleutian and Kuril-Kamchatka, and not subduction, that is characterise the last two.

**Key words:** Bering fault, Western segment of the Aleutian arc, focal mechanism, seismic source not satisfying the double couple model, scalar seismic moment.