

УДК 550.348.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 17.07.2017 г., $M_W=7.8$ ВБЛИЗИ КОМАНДОРСКИХ ОСТРОВОВ, ЕГО ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА

© 2019 г. Е. А. Рогожин^{1,2*}, А. И. Лутиков^{1,2**}, Г. Ю. Донцова², В. Н. Жуковец¹

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

²ФИЦ Единая геофизическая служба РАН, г. Обнинск, Россия

*E-mail: eurog@ifz.ru

**E-mail: ail@ifz.ru

Поступила в редакцию 27.08.2018 г.

Принята в печать 03.12.2018 г.

Рассмотрены тектоническая позиция и общая геодинамическая обстановка, а также сейсмологические характеристики и особенности афтершокового процесса очага сильнейшего Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. на Командорских островах с $M_W = 7.8$. Показано, что в отличие от восточных сегментов Алеутской островной дуги не наблюдается явления субдукции Тихоокеанской литосферной плиты под Командорский блок. 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. Атту). В соответствии 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, оцененной приблизительно в 1/2 года и охватившей значительную часть продолжительности 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 Беньофа-Алеутской и Курило-Камчатской, а не субдукционного, характерного для двух последних.

Ключевые слова: землетрясения, разлом Беринга, Западный сегмент Алеутской дуги, механизм очага, сейсмический источник, модель двойного диполя, скалярный сейсмический момент.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002-33372019472-88>

ВВЕДЕНИЕ

Землетрясение 17.07.2017 г., $M_W=7.8$ ($\varphi = 54.52^\circ$, $\lambda = 169.00^\circ$) вблизи Командорских островов, получившее название Ближне-Алеутского [Чебров и др., 2017б], оказалось сильнейшим сейсмическим событием в западном сегменте Алеутской островной дуги за весь, не слишком

продолжительный, доступный нам период наблюдений сейсмических явлений в этом регионе. Сопоставимым по силе было только землетрясение 17.12.1929 г. в районе Ближних островов (Near Islands) (США) также с $M_W=7.8$ ($\varphi = 53.559^\circ$, $\lambda = 171.972^\circ$). Более или менее систематические сейсмологические наблюдения в западном сегменте Алеутской островной

дуги, включающем Командорские и Ближние острова, начались в 20-х годах прошлого века. При этом сначала, до 1960 г., регистрировались только наиболее сильные сейсмические события с магнитудами 6–7. Сколько-нибудь детальные 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— National Earthquake Information, Center, USGS, <https://earthquake.usgs.gov>), сходным образом развивались и сейсмологические наблюдения на Ближних островах.

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; 2009]). В частности, в статье 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, оконтуренная по афтершокам очаговая область землетрясения 5.12.2003 г. непосредственно примыкала с северо-запада к очаговой области землетрясения 17.07.2017 г. С юго-востока к его очагу примыкает очаг землетрясения 23.12.2010 г., $M_W = 6.4$ ($\varphi = 53.127^\circ$, $\lambda = 171.161^\circ$) 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.

Следует отметить, что в ряде недавних работ, например, [Ландер и др., 2009; Гордеев и др., 2015], в которых рассматривается сейсмичность Командорских островов, высказывается мнение, что южная граница Командорского блока, на северо-восточной границе которого произошло землетрясение 17 июля, в геодинамическом плане аналогичен западной

границе Бирманской микроплиты, на которой произошло Суматринское мегаземлетрясение 26.12.2004 г. с $M_W \approx 9.0$. В результате делается вывод о возможности в обозримом будущем возникновения вдоль южного борта Командорского блока очень сильного ($M_W \sim 9.0$) землетрясения.

Статья посвящена рассмотрению сейсмической истории, предшествовавшей возникновению землетрясения 17.07.2017 г., определению его тектонической позиции и общей геодинамической обстановки. В частности, будут рассмотрены сходство и различие Командорского блока с Бирманской микроплитой и возможность возникновения на его границах мегаземлетрясения.

Когда работа, связанная с подготовкой финальной версии текста, близилась к завершению, произошло еще одно сильное землетрясение с $M_W = 7.2$ у северо-западной оконечности о. Беринга 20.12.2018 г. Мы сочли разумным также включить краткое рассмотрение этого сейсмического события в текст настоящей статьи, как имеющего прямое отношение к Ближне-Алеутскому землетрясению 17.07.2018 г.

О ПРОЦЕССЕ СУБДУКЦИИ В ЗАПАДНОМ СЕГМЕНТЕ АЛЕУТСКОЙ ДУГИ

В настоящее время западная и восточная части Алеутской островной дуги характеризуются различными геодинамическими обстановками. Естественно ожидать, что эти различия должны проявляться и в характеристиках сейсмогенных движений в соответствующих областях дуги [Балакина, Москвина, 2010]. Это касается и явления субдукции Тихоокеанской плиты под Алеутскую островную дугу и Беринговоморскую литосферную плиту вдоль разных участков Алеутской дуги. Ситуационная карта, показывающая сейсмичность ($M_W \geq 5.5$) всей Алеутской дуги и п-ова Аляска представлена на рис. 1.

Если на Центральном и Восточном сегментах дуги (см. рис. 2–рис. 4) существуют явные сейсмологические признаки существования сейсмофокальной зоны Заварицкого-Беньюфа и субдукции Тихоокеанской плиты под Алеутскую дугу, то на всем протяжении архипелага Командорских островов, включая его северные и южные склоны, гипоцентры происходящих

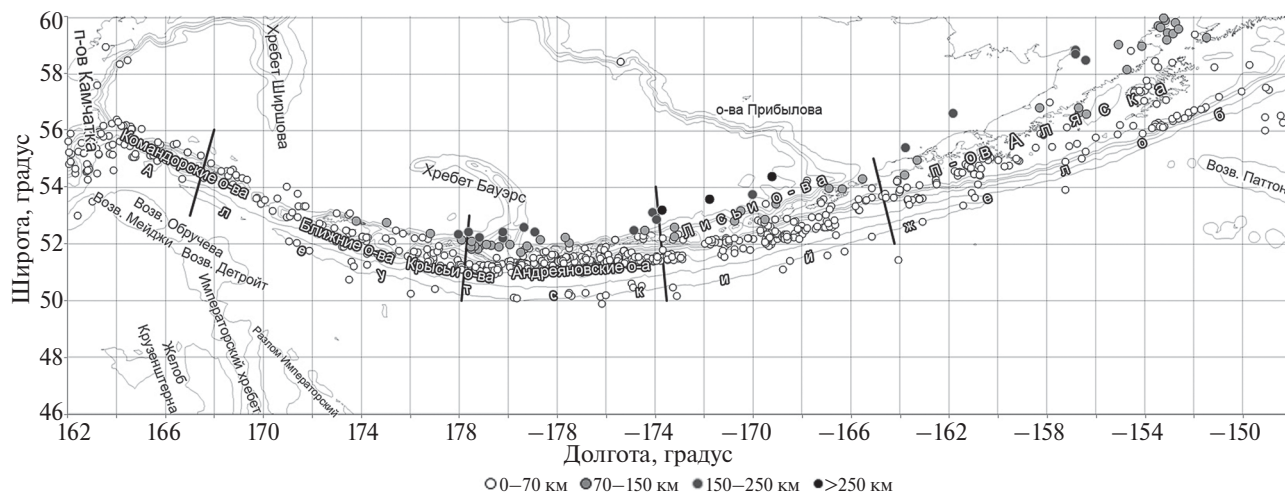


Рис. 1. Ситуационная карта, показывающая сейсмичность ($M_w \geq 5.5$) всей Алеутской дуги и п-ова Аляска. Сплошными секущими линиями показаны разрезы через Алеутскую дугу, вынесенные на рис. 2–рис. 5.

там землетрясений располагаются в интервале глубин 0–60 км, с максимумом на 30–40 км [Балакина, Москвина, 2010], что иллюстрирует рис. 5.

Из рис. 2–рис. 4 следует, что, по крайней мере, в областях Крысьих (Rat Islands), Андреяновских (Andreanoff Islands) и Лисьих (Fox Islands) островов существует четко выраженная погружающаяся в северных румбах сейсмофокальная зона Заварицкого–Беньофа, которую можно рассматривать в качестве структуры субдукции Тихоокеанской плиты под Алеутскую дугу. Максимальные глубины погружения гипоцентров меняются от ~ 260 – 270 км в районе Крысьих и Андреяновских островов до ~ 300 км в районе Лисьих островов. При этом глубина проникновения погружающихся гипоцентров вкост простирания дуги изменяется от ≈ 150 км в районе Крысьих островов до ≈ 200 км в районе Андреяновских островов и до ≈ 250 км – в районе Лисьих островов. Из рис. 5б следует, что (как и было отмечено, например, в работе [Балакина, Москвина, 2010]) какие-либо признаки существования субдукции Тихоокеанской плиты под Командорский литосферный блок отсутствуют. Отсутствуют на Командорских островах и проявления четвертичного вулканизма. Все же следует отметить, что по данным более детального регионального каталога землетрясений Камчатки под Командорскими островами были выявлены следы проявлений глубокофокусной сейсмичности до глубины ~ 200 км. Однако в интервале глубин 80–200 км содержится всего 0.8% от всех

имеющихся в каталоге сейсмических событий, что, вероятно, находится на уровне статистической погрешности.

Для более точного определения границ проявления глубокофокусной сейсмичности вдоль Алеутской островной дуги были построены разрезы, секущие Алеутскую дугу с 175 в. д. до 150.0° з. д. с шагом в 1.0° по долготе. На рис. 5 представлены зависимости максимальных глубин гипоцентров землетрясений вдоль Алеутской дуги для Восточного (рис. 6а) и Западного (рис. 6б) полушарий, полученные по разрезам, секущим Алеутскую дугу (см. рис. 2–рис. 5).

Из рис. 6 следует, что наибольшие глубины гипоцентров (до ≈ 300 км) наблюдаются в средней и юго-восточной частях Алеутской островной дуги, где последняя ориентирована под крутым углом к направлению движения Тихоокеанской плиты. При этом северо-западный край плиты частично погружается под Алеутскую дугу. В районе Командорских островов вектор движения Командорского блока практически параллелен вектору движения Тихоокеанской литосферной плиты и, соответственно, субдукции Тихоокеанской плиты под Командорский блок не происходит. Собственно об этом и свидетельствует отсутствие глубокофокусной сейсмичности в районе Командорских островов. Из рис. 6а видно, что первые проявления глубокофокусной сейсмичности появляются между 172 и 173° в. д., т. е. в районе Ближних островов, где максимальные глубины гипоцентров резко возрастают от 60 до 110 км. В окрестности Крысьих островов (со 175 по 179° в. д.) максимальные глубины гипоцентров возрастают со 140 до 250 км.

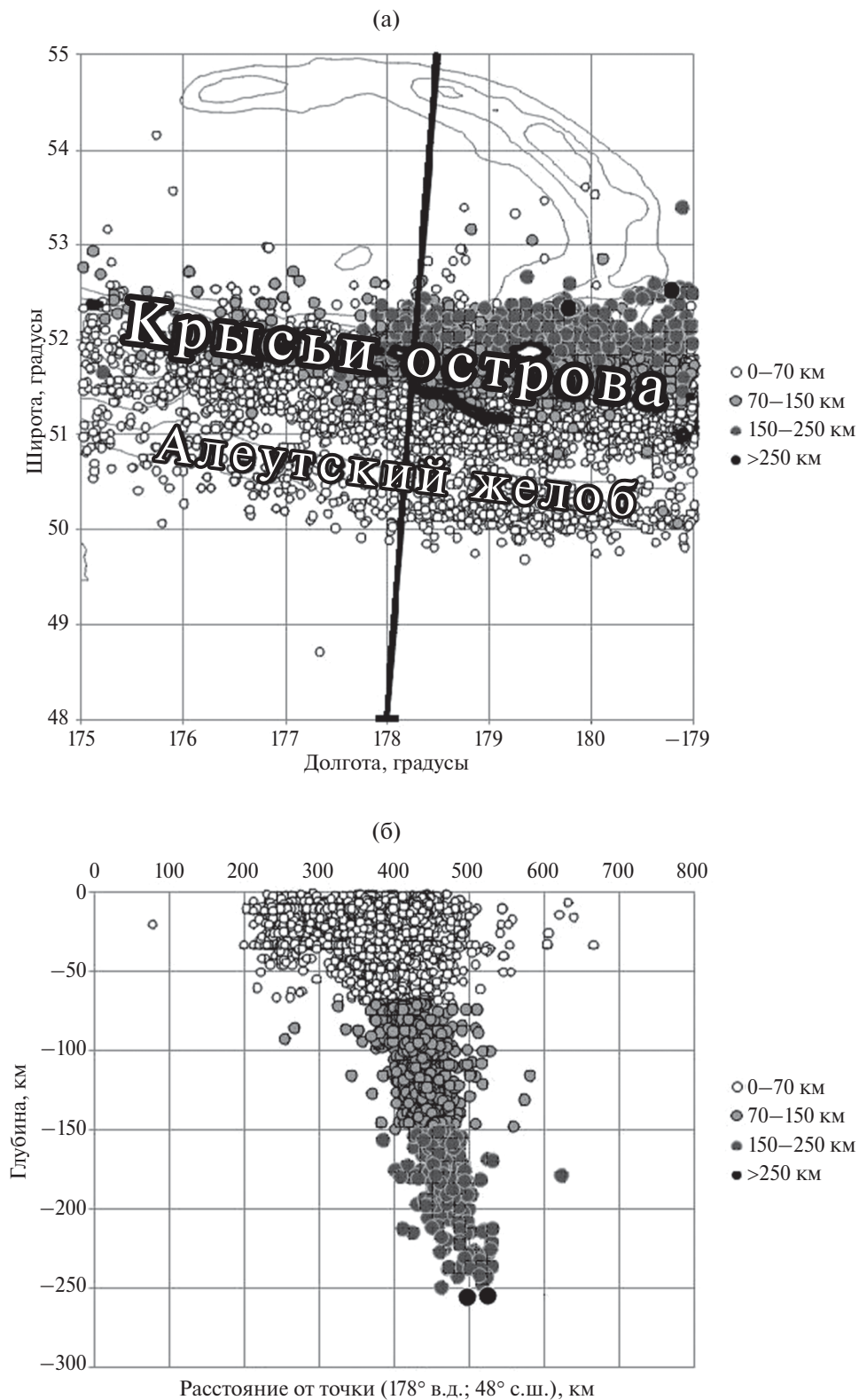


Рис. 2. (а) – Сечение (жирная прямая линия) через ансамбль эпицентров землетрясений ($M_I \geq 2.5$; $M_W \leq 7.9$) в районе Крысьих островов (вид сверху) по данным каталога NEIC. Горизонтальной чертой на прямой линии показано начало отсчета на разрезе (рис. 1б) (2000–2018 гг.); (б) – вертикальный разрез гипоцентров землетрясений ($M_I \geq 2.5$; $M_W \leq 7.9$) в районе Крысьих островов по данным каталога NEIC (2000–2018 гг.).

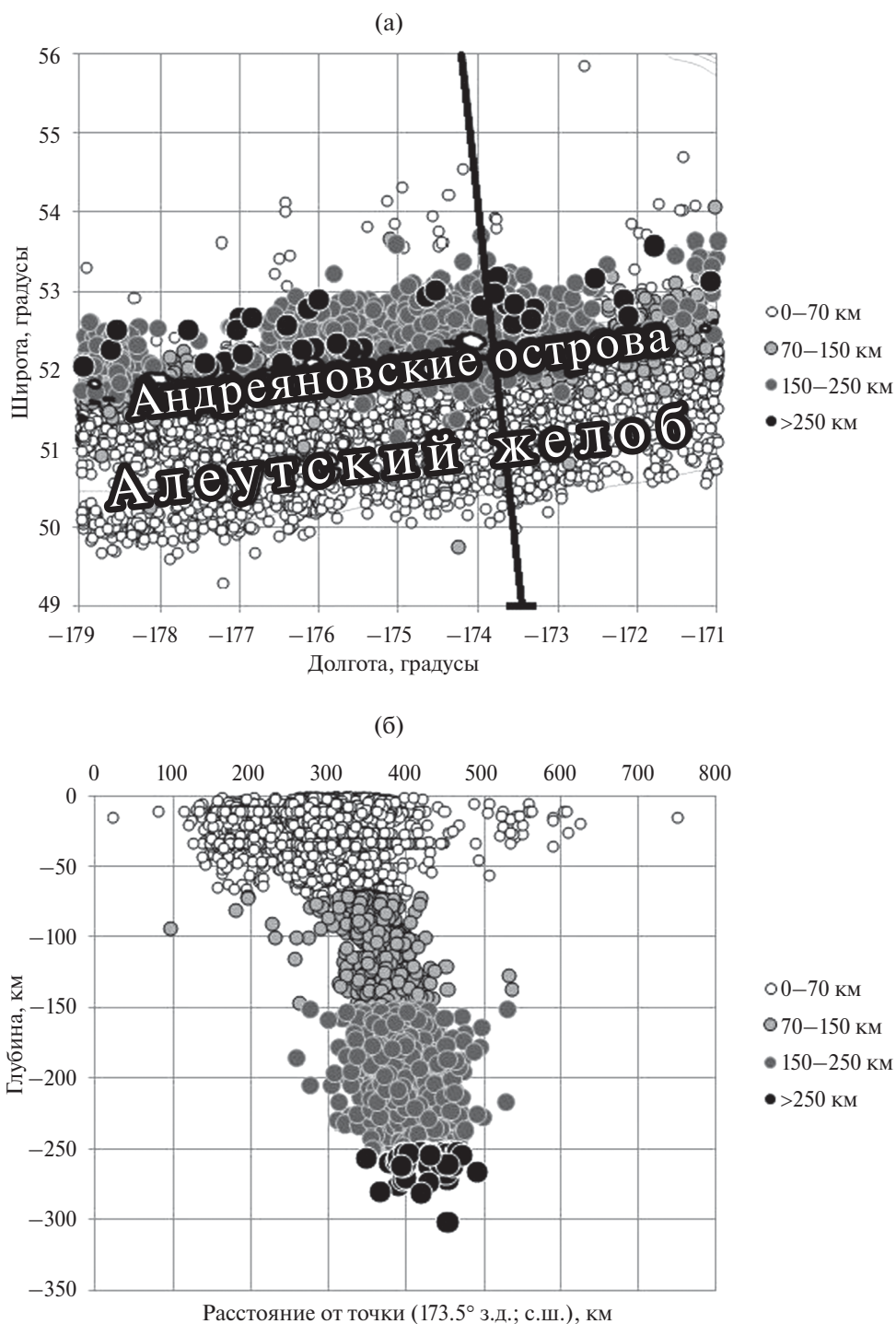


Рис. 3. (а) – Сечение (жирная прямая линия) через ансамбль эпицентров землетрясений ($M_I \geq 2.5$; $M_W \leq 7.3$) в районе Андреяновских островов (вид сверху) по данным каталога NEIC (2000–2018 гг.). Горизонтальной чертой на прямой линии показано начало отсчета на разрезе (рис. 3б) (2000–2018 гг.); (б) – вертикальный разрез гипоцентров землетрясений ($M_I \geq 2.5$; $M_W \leq 7.3$) в районе Андреяновских островов по данным каталога NEIC (2000–2018 гг.).

Далее, с 180° по 163° з.д. максимальные глубины гипоцентров варьируют в пределах 230–300 км. Восточная часть дуги, включая полуостров Аляска, со 163° по 150° з.д. характеризуется постепенным уменьшением максимальных глубин гипоцентров

с ≈ 240 до ≈ 85 км. Однако в целом картина глубокофокусной сейсмичности на Аляске – достаточно сложная: после наблюдающегося минимума глубин субдукции между 150 и 145° з.д. далее к северо-востоку под континентальной Аляской число

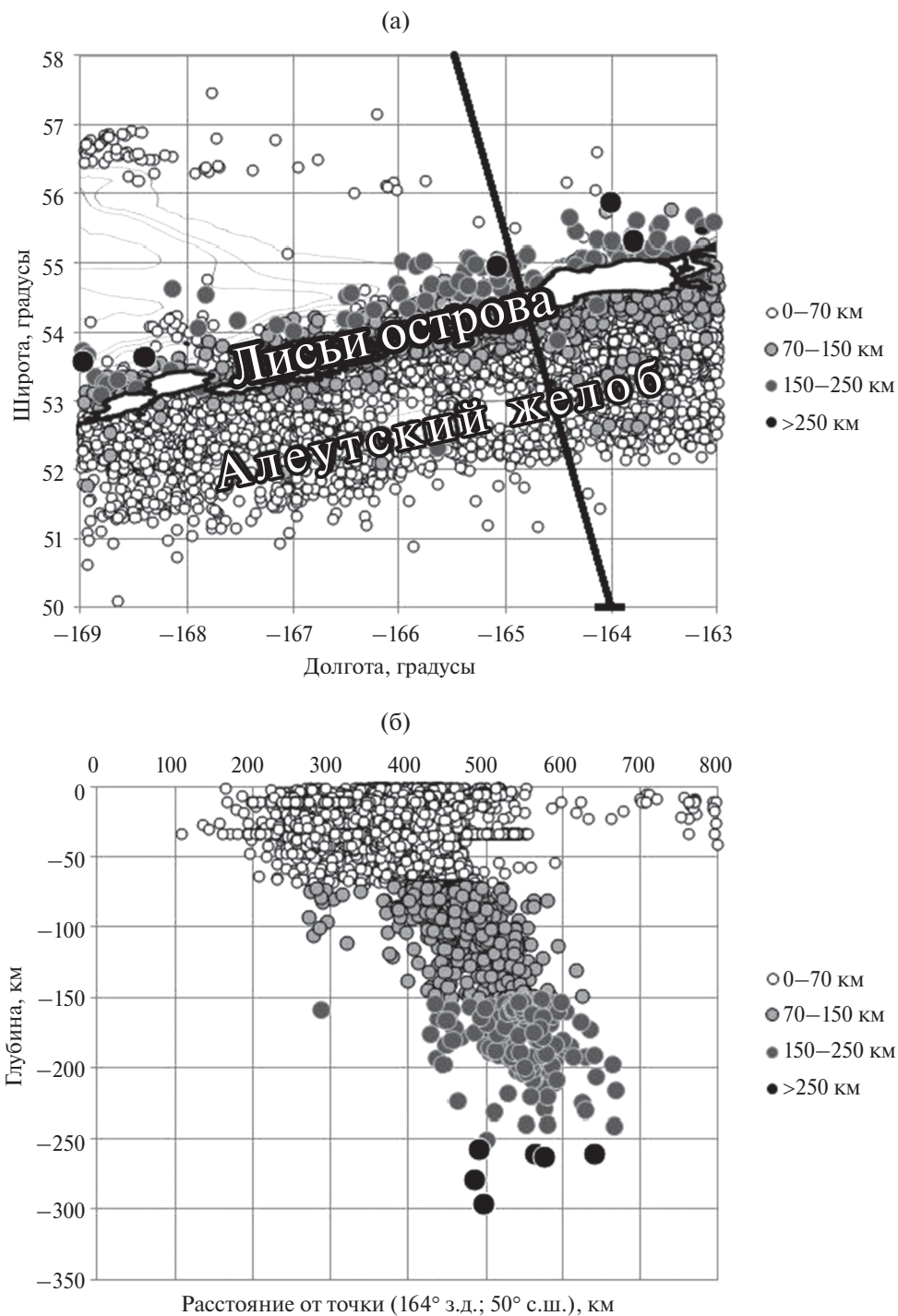


Рис. 4. (а) – Сечение (жирная прямая линия) через ансамбль эпицентров землетрясений ($M_I \geq 2.5$; $M_W \leq 6.9$) в районе Лисьих островов (вид сверху) по данным каталога NEIC (2000–2018 гг.). Горизонтальной чертой на прямой линии показано начало отсчета на разрезе (рис. 4б) (2000–2018 гг.); (б) – вертикальный разрез гипоцентров землетрясений ($M_I \geq 2.5$; $M_W \leq 6.9$) в районе Лисьих островов по данным каталога NEIC (2000–2018 гг.).

и максимальные глубины промежуточных землетрясений вновь возрастают. Впрочем, этот вопрос лежит вне предмета рассмотрения настоящей статьи. Таким образом, на северо-западном фланге Алеутской дуги (на Командорских островах)

глубокофокусная сейсмичность отсутствует, на ее северо-восточном фланге (на востоке Лисьих островов, п-ове Аляска и далее под континентальной Аляской) картина оказывается более сложной.

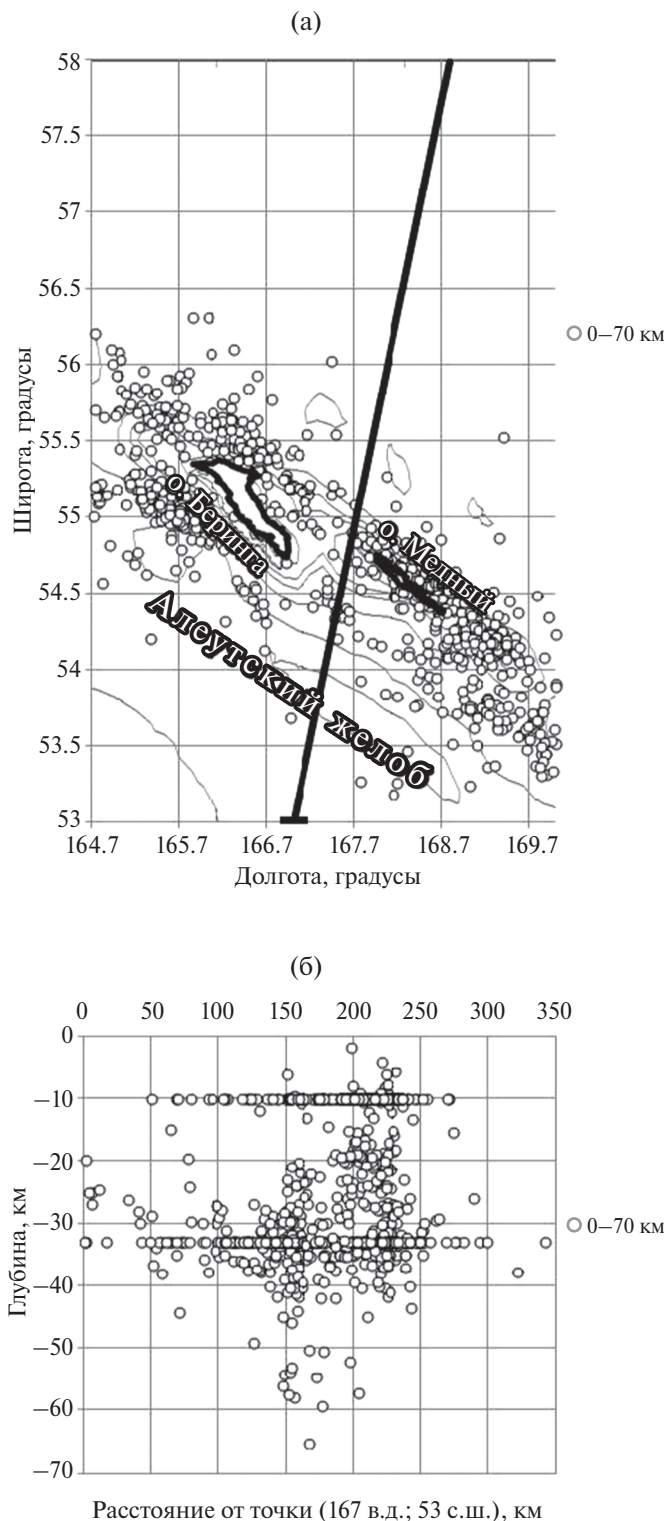


Рис. 5. (а) – Сечение (жирная прямая линия) через эпицентры землетрясений ($M_b \geq 3.1$; $M_W \leq 7.8$) в районе Командорских островов (вид сверху) по данным каталога NEIC (2000–2018 гг.). Горизонтальной чертой на прямой линии показано начало отсчета на разрезе (рис. 4б) (2000–2018 гг.); (б) – вертикальный разрез гипоцентров землетрясений ($M_b \geq 3.1$; $M_W \leq 7.8$) в районе Командорских островов по данным каталога NEIC (2000–2018 гг.).

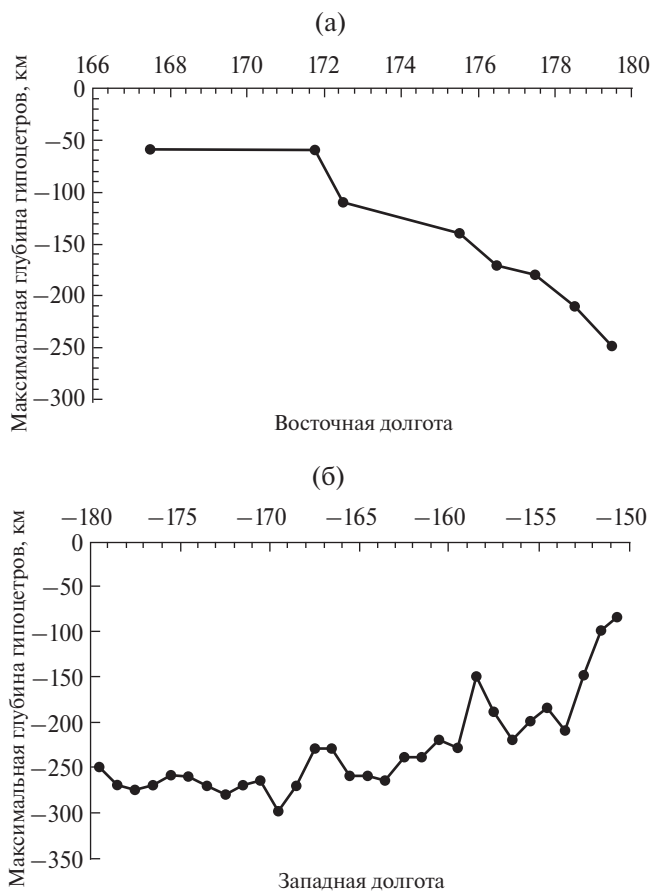


Рис. 6. (а) – Максимальные глубины гипоцентров землетрясений в разрезах, секущих Алеутскую дугу (Восточное полушарие). По оси абсцисс отложена долгота в градусах; (б) – максимальные глубины гипоцентров землетрясений в разрезах, секущих Алеутскую дугу (Западное полушарие).

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 200 км юго-восточнее о. Беринга (в 220 км от пос. Никольское), у подножья склона шельфа. На рис. 7 представлена сеймотектоническая карта эпицентральной области Ближне-Алеутского землетрясения 2017 г., первоначальной основой для которой послужил рис. 2 из статьи [Ландер и др., 2009]. Командорский блок является самостоятельной сеймотектонической зоной, расположенной между двумя крупными тектоническими образованиями: Берингово-морской плитой на севере и обширной Тихоокеанской плитой – на юге [Mets et al., 1990]. Узкий (ширина менее 100 км) Командорский литосферный блок протянулся более, чем на 500 км

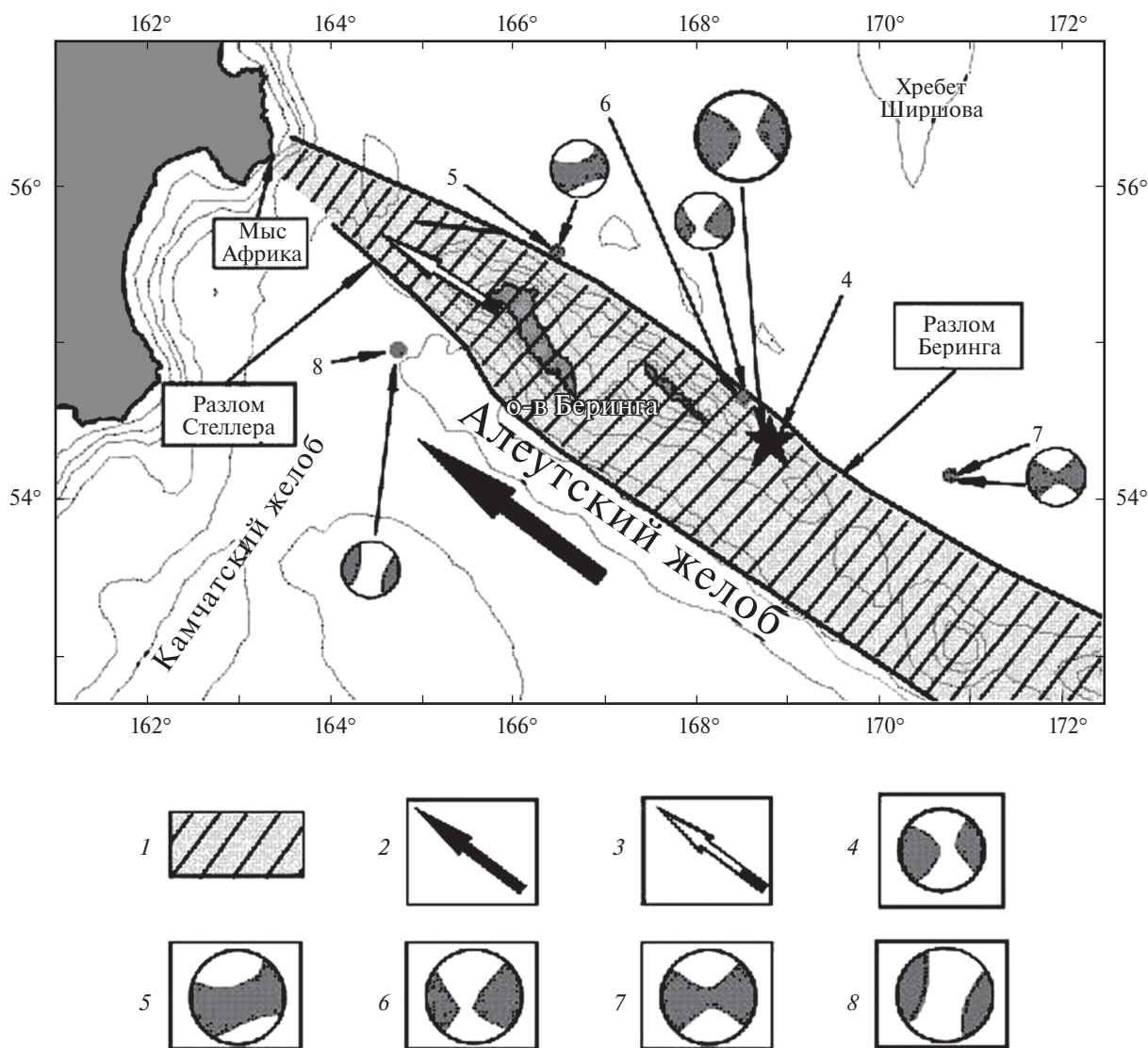


Рис. 7. Сейсмотектоническая карта эпицентральной области Ближне-Алеутского землетрясения 2017 г. Условные обозначения: 1 – Командорский блок; 2 – вектор движения Тихоокеанской плиты относительно Камчатки [Plate Motion Calculator, http://sps.unavco.org/crustal_motion/dxdt/model/]; 3 – вектор движения 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. вблизи о-ва Медный ($M_W=6.2$); 7 – фокальный механизм форшока 02.06.2017 г. вблизи Ближних островов ($M_W=6.8$); 8 – фокальный механизм землетрясения 20.12.2018 г., $M_W=7.2$. Все фокальные механизмы приведены по данным каталога [CMT – Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) catalog Project, <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>].

в направлении практически параллельном вектору движения Тихоокеанской плиты и отделен от последней трансформной границей, проходящей по Алеутскому глубоководному желобу, глубина которого достигает 7000 м. Крутизна подводных склонов достигает 30–35°. Несмотря на то, что в целом острова имеют достаточно протяженный островной шельф, в некоторых местах кромка эскарпа проходит всего в 4–5 км от берега (траверз бухты Полуденной на острове Беринга).

Отметим сразу, что в отличие от Командорского блока западная граница Бирманской микроплиты, обсуждаемая в публикациях [Ландер и др., 2009; Гордеев и др., 2015], на которой произошло Суматринское мегаземлетрясение 2004 г., имеет в длину ~1200 км при ширине самой микроплиты не менее 250–400 км. Так что, если Бирманская микроплита может вместить очаг землетрясения с $M_W \sim 9$, то вряд ли очаг такого землетрясения уместится в Командорском блоке. Например, согласно работе [Балакина,

Москвина, 2010, с. 31] магнитуды максимальных землетрясений, возможных в архипелаге Командорских островов, вследствие ограниченных размеров вмещающих тектонических структур, вряд ли могут заметно превышать значение 7.5. В сущности, это мы и наблюдаем на примере Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г.

Морфологически Командорский блок является северо-западным окончанием Алеутской островной дуги. Полоса проявлений сейсмичности в районе между долготами с $\lambda = 169\text{--}170^\circ \text{E}$, 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, Селиверстов, 2009], 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; Селиверстов, 2009]. 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, наблюдавшимся на юго-восточном сегменте Алеутского желоба до 2017 г.

Представляется, что сейсмические проявления вдоль северо-восточной (разлом Беринга) и юго-западной (разлом Стеллера и Алеутский желоб) границ Командорского блока вряд ли независимы друг от друга, поскольку обусловлены, в первую очередь, одними и теми же напряжениями, возникающими в этом узком (шириной ~ 100 км) блоке. Поэтому землетрясения, происходящие вдоль обеих его границ, вероятно, подчиняются общему закону повторяемости и сильное ($M \geq 7.5$) землетрясение вдоль одной из границ блока, по-видимому, исключает возможность возникновения в близкое после него время сопоставимого по силе события вдоль другой границы. Отметим, что высказанные

выше соображения могут рассматриваться в качестве гипотезы и нуждаются в более строгом обосновании, которое может стать предметом отдельной работы. Различная же сейсмическая активность вдоль юго-восточной и северо-западной границ блока, возможно, связана с различными скоростями перемещения Командорского блока относительно Берингоморской и Тихоокеанской литосферных плит.

В очагах землетрясений на обеих параллельных границах Командорского литосферного блока преобладают правые сдвиги, по данным каталога СМТ. Это указывает на то, что узкий линейно вытянутый блок скользит на северо-запад параллельно движению Тихоокеанской плиты, несколько отставая по скорости 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

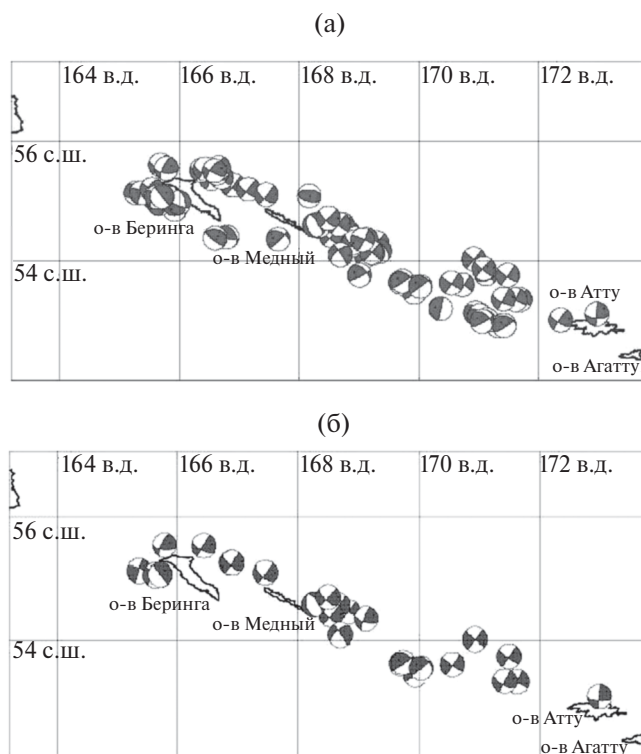


Рис. 8. (а) — Карта механизмов очагов землетрясений ($M_w \geq 5.3$) Командорской и западного сегмента Алеутской дуг. Приведены проекции на нижнюю полусферу. Белое поле — сектор растяжения, темное — сжатия; (б) — карта механизмов очагов землетрясений ($M_w \geq 6.0$) Командорской и западного сегмента Алеутской дуг.

различных зон сейсмотектонической активности [Newberry et al., 1986; Ruppert et al., 2012]. На рис. 8а, 8б приведены карты механизмов очагов землетрясений ($M_W \geq 5.3$ и $M_W \geq 6.0$ соответственно) западного сегмента Алеутской дуги, построенные по данным каталога CMT [<http://www.globalcmt.org>].

На северо-западе выбранной области вблизи острова Беринга одна из нодальных плоскостей усредненных механизмов очагов землетрясений (усреднение проводилось для землетрясений всех магнитуд $M_W \geq 5.3$) простирается субпараллельно островам. Следует отметить, что на западе и востоке данной области преобладают праводвиговые подвижки, хотя местами отмечается и взбросовый тип смещений.

Восточнее, около острова Медный, одна из нодальных плоскостей фокальных механизмов очагов также направлена близпараллельно простираению островной дуги и характеризуется в основном праводвиговым типом смещений. Именно такой механизм характерен для очага землетрясения 17.07.2017 г.

К юго-востоку от о. Медный в районе 170° в. д. наблюдается резкая смена напряженного состояния. Здесь начинают преобладать механизмы взбросо-надвигового типа.

Восточнее 170° в. д. в пределах западного сегмента Алеутской дуги в районе о. Атту и северо-западнее 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 простираются осуществляются смещения праводвигового 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-праводвиговые смещения.

С некоторыми отклонениями данное распределение областей сжатия/растяжения совпадает на разных масштабных уровнях (рис. 8).

На этом фоне сейсмологические проявления Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. в виде расположения облака эпицентров главного толчка, форшоков и афтершоков вполне согласуется с описанными выше особенностями распределения поля напряжений в известных

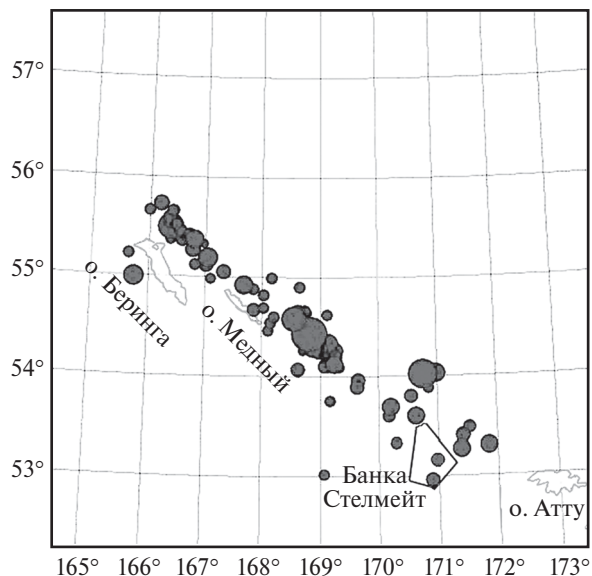


Рис. 9. Эпицентры 95 землетрясений, включая эпицентры главного толчка 17.07.2017 г., форшоков и афтершоков, зарегистрированных в регионе Командорских островов в период с 24.05.2017 г. по 27.03.2018 г. (по данным ФИЦ ЕГС РАН) [<http://ceme.gsras.ru/cgi-bin/new/mapCustom.pl?l=0&lat=55&lon=169&num=95&rad=300>]. По вертикальной и горизонтальной осям показаны географические координаты с. ш. и в. д., соответственно.

очагах зарегистрированных здесь ранее землетрясений (рис. 9). Основное линейное в плане облако эпицентров повторных толчков, как и эпицентр главного события, приурочены к зоне разлома Беринга. При этом на участке между 170 и 171° 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 (рис. 8).

Таким образом, очаг землетрясения 2017 г. практически полностью (кроме его крайней северо-западной части) занял северный склон Командорского островного поднятия и разместился в зоне разлома Беринга. Он охватил всю эту сейсмогенерирующую зону вплоть до поперечной структуры (геоморфологическим проявлением которой является банка Стелмейт [Селиверстов, 2009]) дна к западу от Ближних островов (о. Атту), заполнив большую часть «Командорской сейсмической брешии» [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: Унифицированный каталог землетрясений Северной Евразии (УКЗСЕ) [Уломов, Медведева, 2013], Региональный каталог землетрясений Камчатки (РКЗК) КФ ФИЦ ЕГС РАН [http://www.emsd.ru/], Каталог службы срочных донесений (ССД) ФИЦ ЕГС РАН [http://www.ceme.gsras.ru/ceme/ssd_news.htm], каталоги NEIC [http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/] и CMT [http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html; Dziewonski, Chou, Woodhouse, 1981; Ekström, Nettles, Dziewonski, 2012]. В настоящей работе каталоги УКЗСЕ, РКЗК и CMT использовались для анализа сейсмической истории, каталоги ССД, РКЗК, NEIC и CMT – 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 были унифицированы по магнитуде M_W . Поскольку каталог CMT является представительным для всей планеты, начиная с $M_W \sim 5.5$ [Kagan, 2003], моментные магнитуды всех крупных событий брались непосредственно из каталога CMT. Для более слабых толчков использовались корреляционные соотношения, которые приводятся ниже по тексту.

Землетрясение 17.07.2017 г. произошло в 23:34 UTC в районе о. Медный (Командорские острова). Согласно оценке ССД его магнитуда $M_S = 7.5$. По данным других ведущих сейсмических служб его моментная магнитуда оценена как $M_W = 7.7$ (NEIC) и $M_W = 7.8$ (CMT). 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 (Региональный информационно-обработывающий центр (РИОЦ) «Петропавловск») своевременно была объявлена тревога цунами. Землетрясение предварялось сильным форшоком с $M_S = 6.2$ (ССД) и $M_W = 6.2$ (CMT), который произошел приблизительно за 11 часов до главного события в 11:06 UTC и имевшим 2 афтершока с $m_b = 5.1$ (ССД), $M_W = 5.3$ (CMT) и $m_b = 4.5$ (ССД).

По данным ССД землетрясение 17 июля сопровождалось многочисленными афтершоками с достаточно невысокими магнитудами ($4.2 \leq m_b \leq 5.5$) с учетом магнитуды главного события. Всего за первые 6.5 суток было зарегистрировано 36 афтершоков с $m_b \geq 4.2$. На рис. 10 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. К марту 2018 г. афтершоковый процесс, по-видимому, был близок к завершению. При этом сильнейшим

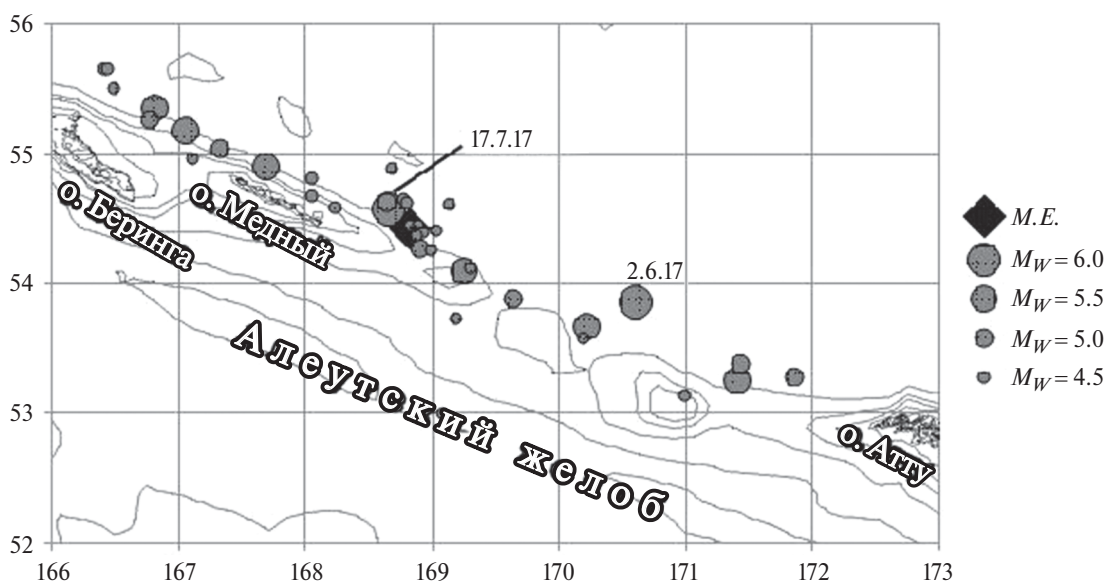


Рис. 10. Схема эпицентров форшоков и афтершоков землетрясения 17.07.2017 г., $M_W = 7.8$ (эпицентр главного толчка обозначен черным квадратом), за период с 17 по 20 июля включительно по данным ССД. Кружками различного диаметра (см. легенду справа от рисунка) обозначены форшоки и афтершоки Главного события. На карте подписаны наиболее сильные форшоки 02.06.2017, $M_W = 6.8$ и 17.07.2017 в 11:06, $M_W = 6.2$.

был афтершок 25.01.2018 г. с $M_S = 6.3$ (ССД), $M_W = 6.2$ (СМТ), 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 сдвиговой механизм.

Механизмы очагов форшоков 2 июня и 17 июля и главного сейсмического события согласно данным каталога СМТ являются чистыми сдвигами (рис. 7). Практически тождественное сходство механизмов форшоков 2 июня и 17 июля (6, 7 на рис. 7) с механизмом главного события (4 на рис. 7) является дополнительным подтверждением того, что событие 02.06.2017 г. в районе Ближних островов является форшоком. То, что механизм главного события является чистым правосторонним сдвигом, без вертикальной составляющей, вероятно, и обусловило незначительность наблюдавшегося цунами.

Афтершок 25.01.2018 г., $M_W = 6.2$ (5 на рис. 7) 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, по данным каталога СМТ, с учетом матрицы ошибок $\det M_{ij} = -0.354 \pm 0.025$ является гарантировано отрицательным и характеризует наличие значительной компоненты одноосного сжатия при преимущественно сдвиговом типе подвижки.

Видно, что область афтершоков первых 3-х суток (рис. 10), трассирующая очаг землетрясения 17 июля, простирается от Ближних островов Алеутской дуги на юго-востоке до ближней к Камчатке оконечности о. Беринга – на северо-западе.

Сильное землетрясение 20.12.2018 г., $M_W = 7.2$ (СМТ) с координатами 54.82° с. ш., 164.84° в. д. (ФИЦ ЕГС РАН) как бы завершает период сейсмической активизации западного сегмента Алеутской дуги в 2017–2018 гг. Его инструментальный эпицентр располагался уже вблизи юго-западной границы Командорского литосферного блока в области Алеутского глубоководного желоба (см. рис. 6), более, чем на 4° (~ 260 км) западнее эпицентра рассматриваемого здесь землетрясения 17.07.2017 г.,

вне его облака афтершоков. Поэтому, землетрясение 20.12.2018 г. вблизи южного борта Командорского блока, не являясь афтершоком землетрясения 17.07.2018 г., вероятно, инициировано вызванным им перераспределением напряжений. По-видимому, сильное событие 20.12.2018 г. может демонстрировать взаимосвязь сейсмических проявлений вдоль его северного и южного бортов.

В плане высвобождения M_0 землетрясение 20.12.2018 г. внесло сравнительно небольшой вклад по сравнению с землетрясением 17.07.2017 г. Согласно данным каталога СМТ его $M_0 = 8.77 \cdot 10^{19}$ Н·м или всего 16.2% от M_0 события 17.07.2018 г., так что это землетрясение фактически не исказило сделанные ранее оценки по высвобождению M_0 .

Подобно афтершоку 25.01.2018 г., $M_W = 6.2$ событие 20.12.2018 г., $M_W = 7.2$ (8 на рис. 6) также имеет очаг, не удовлетворяющий модели двойного диполя (очаг NDC типа) [Frohlich, 1995; Лутиков, и др., 2010], а его механизм является сдвигом, но уже со значительной сбросовой компонентой. Действительно, детерминант его тензора сейсмического момента, по данным каталога СМТ, с учетом матрицы ошибок $\det M_{ij} = 0.408 \pm 0.019$ гарантировано положителен и характеризует наличие значительной компоненты одноосного растяжения.

Более подробное рассмотрение этого сейсмического события лежит вне рамок настоящей работы.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ

Была прослежена вся доступная сейсмическая история по ходу высвобождения скалярного сейсмического момента (M_0) очаговой области землетрясения 17.07.2017 г. с 1742 по 2017 гг. включительно. При этом рассматривалась область, занятая афтершоками этого землетрясения, а именно область, ограниченная координатами $53.0-56.0^\circ$ с. ш. и $165.0-173.0^\circ$ в. д. С этой целью были использованы Унифицированный каталог землетрясений Северной Евразии (УКЗСЕ) и Региональный каталог землетрясений Камчатки (РКЗК). Данные УКЗСЕ использовались для периода с 1742 по 2013 гг., а данные РКЗК – с 2013 по 2017 гг. включительно. Поскольку с 1742 по 1920 гг. в каталоге УКЗСЕ для рассматриваемой территории содержались только отдельные события, временной ход высвобождения кумулятивного (накопленного) скалярного сейсмического момента

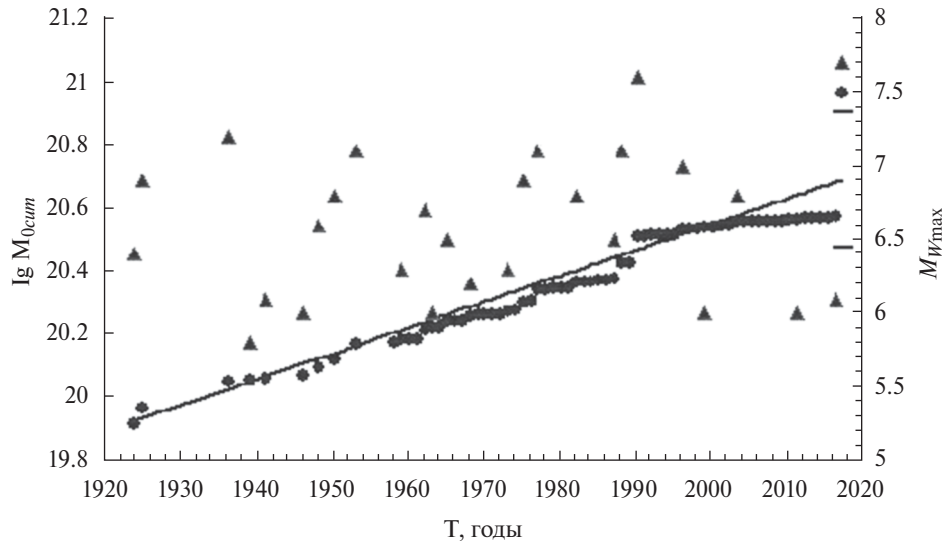


Рис. 11. Временной ход высвобождения M_{0cum} в афтершоковой области землетрясения 17 июля с 1920 по 2017 гг. (левая ось ординат). Прямой линией показана линейная регрессия, аппроксимирующая наблюдаемые данные за период с 1924 по 1998 гг. включительно. Горизонтальными черточками обозначен 95% доверительный интервал регрессии в 2017 г. Треугольниками показаны магнитуды (правая ось ординат) наиболее сильных ($M_W \geq 5.8$) сейсмических событий.

(M_{0cum}) был прослежен с 1920 года по 2017 год. С 1976 года M_W и M_0 для всех более или менее сильных ($M_W \geq 5.5$) событий брались непосредственно из Каталога тензоров центраида сейсмического момента (СМТ). Переход от магнитуды MLN в УКЗСЕ к моментной магнитуде M_W осуществлялся по корреляционной формуле, полученной по 37 парным значениям из УКЗСЕ и СМТ:

$$M_W = (0.6125 + 0.027) \cdot MLN + 2.385 \pm 0.186, R_c = 0.968. \quad (1)$$

Переход от используемого в настоящее время на Камчатке энергетического класса K_S к M_0 осуществлялся по корреляционной формуле, полученной по 60 парным значениям из РКЗК и СМТ методом линейной ортогональной регрессии:

$$\lg M_0 = (1.017 \pm 0.064) \cdot K_S + 4.416 \pm 0.906, R_c = 0.901, \quad (2)$$

где R_c – коэффициент линейной корреляции.

Переход от M_W к M_0 производится по формуле Канамори [Канамори, 1978]:

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

На рис. 11 представлен временной ход высвобождения кумулятивного (накопленно-го) скалярного сейсмического момента M_{0cum}

в очаговой (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:

$$\lg M_{0cum} = (0.0082 \pm 0.0002) \cdot t + 4.205 \pm 0.439, R_c = 0.983. \quad (3)$$

Видно, что, начиная приблизительно с 1990 г., начал накапливаться дефицит в высвобождении M_0 . К моменту возникновения землетрясения 17.07.2017 г. его величина составила $\Delta M_{0cum} \approx 1.78 \cdot 10^{20}$ 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 17.07.2017 г. накапливавшийся приблизительно с 1990 г. дефицит в высвобождении M_0 в рассмотренной области был ликвидирован. Поэтому, в афтершоковой области землетрясения 17.07.2017 г. ($M_W = 7.8$) вряд ли можно ожидать возникновения в ближайшие годы землетрясения с магнитудой, сопоставимой с магнитудой землетрясения 17 июля.

АНАЛИЗ ХОДА АФТЕРШОКОВОГО ПРОЦЕССА

Афтершоковый процесс события 17 июля развивался достаточно вяло для землетрясения такой силы. По данным ССД с момента землетрясения за первые 75 дней здесь произошло всего 59 афтершоков с магнитудами $4.1 \leq m_b \leq 5.6$, а по данным РКЗК 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 камчатских землетрясений. Переход к моментным магнитудам от энергетических классов K_S осуществлялся по формуле (2). Практически все события в каталоге ССД 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:

$$M_W = 0.718 m_b + 1.507, R_c = 0.872$$

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 и РКЗК различаются приблизительно в 3 раза.

Следует отметить, что глубина гипоцентров всех повторных толчков по данным ССД составляла от 10 до 40 км. По данным же РКЗК глубина гипоцентров всех повторных толчков лежит в пределах $2.3 \text{ км} \leq h \leq 79.3 \text{ км}$, причем число афтершоков с $h > 50 \text{ км}$ составляет менее 8% от их общего числа. То есть, очаг не выходил за пределы литосферы.

Согласно рис. 9 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., 20176], 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]. В дальнейшем, как более полными, будем пользоваться данными каталога РКЗК, 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 всего было зарегистрировано 83 афтершока с $m_b \geq 4.3$, а по данным РКЗК – 559 афтершоков с $K_S \geq 8.3$ ($M_W \geq 1.9$). На рис. 12 представлен временной ход высвобождения M_{0cum}/M_{0me} в афтершоках землетрясения 17 июля в долях

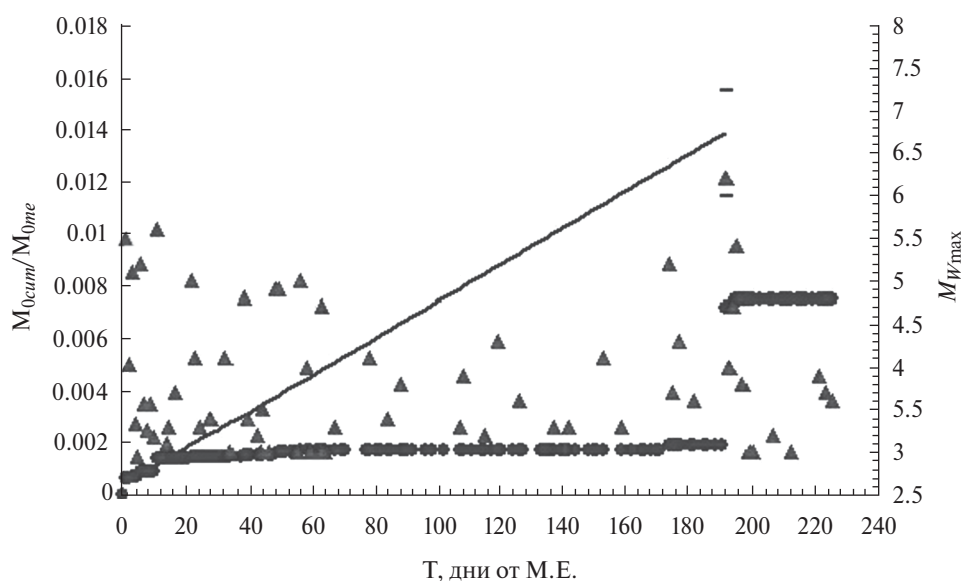


Рис. 12. Временной ход высвобождения M_{0cum}/M_{0me} в афтершоках землетрясения 17 июля в долях от M_0 главного события за период с 17.07.2017 г. по 27.02.2018 г. включительно. График построен по данным РКЗК и каталога СМТ. Прямой линией показана регрессия (4). Горизонтальными черточками обозначен 95% доверительный интервал регрессии на 25.01.2018 г.

от M_0 главного события за период с 17.07.2017 г. по 27.02.2018 г. включительно. График построен по данным РКЗК и каталога СМТ.

Линейная регрессия, проведенная по первым 14 дням развития афтершокового процесса, когда высвобождение M_{0cum} происходило приблизительно по линейному закону, имеет вид:

$$M_{0cum}/M_{0me} = (0.00007 \pm 0.00001) \cdot t + 0.0004 \pm 0.0001 R_c = 0.919, \quad (4)$$

где время t от времени главного события (МЕ) выражено в днях.

В соответствии с рис. 11 к 27.02.2018 г. 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 (4) 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. Тот факт, что ΔM_{0cum} в афтершоках, оцененный по разности между линейной 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. При этом период с 3 августа 2017 г. по 24 января 2018 г. (с 18 по 186 день на рис. 12) 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 (ΔM) 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 ΔM 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 ΔM .

Афтершоковый процесс Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. имеет две особенности в сравнении с афтершоковыми процессами большинства Курило-Камчатских землетрясений [Лутиков, Родина, 2013]: 1) малое, но лежащее в пределах отмеченных вариаций,

высвобождение $M_{0cum aft}$, составившее по разным оценкам – 0.75% (РКЗК) и 1.0% (ССД) от M_{0me} ; 2) очень медленное нарастание дефицита в высвобождении M_0 (4).

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 полгода и охватившей значительную часть продолжительности 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 был приурочен к зоне линейно вытянутого в северо-западном направлении узкого Командорского блока, который можно рассматривать в качестве трансформной структуры между двумя зонами Заварицкого-Беньюфа–Алеутской и Курило-Камчатской, а не субдукционной, характерной для двух последних.

По сравнению с Центральным сегментом Алеутской дуги (Крысьи и Андрияновские о-ва), где в XX в. происходили сильнейшие землетрясения с M_w 8.6 (1957 г.) и 8.7 (1965 г.), в ее западном сегменте (Командорские и Ближние о-ва), по крайней мере, за последние 250 лет не возникали землетрясения с $M_w > 7.8$. К тому же эти сегменты сильно различаются и по внутреннему строению: в районе Крысьих и Андрияновских островов существует ярко выраженная сейсмофокальная зона, проникающая в недра практически до подошвы промежуточных глубин (рис. 1 и рис. 2), что позволяет предполагать существование там процесса субдукции. Между Командорскими и Ближними островами явление субдукции перестает существовать, так что под Командорскими островами реально существует только литосферная сейсмичность с максимумом распределения глубин гипоцентров 10–50 км и быстрым уменьшением числа гипоцентров на больших глубинах.

Работа выполнена в рамках темы госзадания.

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.
- 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.
- Зобин В.М., Гусева Е.М., Иванова Е.И., Мельников Ю.Ю., Митякин В.П., Ходенко В.Н.* Командорское землетрясение 29 февраля 1988 г. Землетрясения в СССР в 1988 году. М.: Наука. 1991. С. 164–177.
- Ландер А.В., Левин В.Е., Титков Н.Н.* Современные движения Командорской микроплиты по сейсмологическим и GPS данным. Вулканизм и геодинамика: материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2009. С. 621–624.
- Левин В.Е., Гордеев Е.И., Бахтиаров 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., Чебров В.Н., Шевченко Ю.В.* Камчатка и Командорские острова. Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. М. 2002. С. 119–128.
- Левина В.И., Иванова Е.И., Ландер А.В., Чеброва А.Ю., Гусев А.А., Гусева Е.М.* Камчатка и Командорские острова. Землетрясения Северной Евразии. 2003. Обнинск. 2009. С. 181–192.
- Левина В.И., Чеброва А.Ю., Ландер А.В., Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Титков Н.Н.* Командорское-II землетрясение 5 декабря 2003 года с $M_S = 6.8$, $I_0 p = 7$ (Командорские острова). Землетрясения Северной Евразии. 2003. Обнинск. 2009. С. 374–381.
- Лутиков А.И., Донцова Г.Ю.* Оценка линейных размеров очагов землетрясений Камчатки по размерам облака афтершоков // 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.
- Селиверстов Н.И.* Гединамика зоны сочленения курило-камчатской и алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский. 2009. 191 с.
- Федотов С.А., Зобин В.М., Гордеев Е.И., Иванова Е.И., Лепская Т.С., Митякин В.П., Чиркова В.Н., Чубарова О.С.* 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., Абубакиров И.Р., Воронаев П.В., Гусев А.А., Дроздин Д.В., Дрозина С.Я., Иванова Е.И., Кравченко Н.М., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Ототюк Д.А., Павлов В.М., Руевская А.А., Салтыков В.А., Сениоков 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 а. № 3. Вып. 35. С. 8–21.
- 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. Науки о Земле. 2017 б. № 3. Вып. 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.
- Ekström, G., Nettles M., Dziewonski A.M.* The global CMT project 2004–2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes // Phys. Earth Planet. Inter. 2012. doi:10.1016/j.pepi.2012.04.002
- Kagan Yan Y.* Accuracy of modern global earthquake catalogs // Physics of the Earth and Planetary 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 James T., Laclair David L., Fujita Kazuya.* Seismicity and tectonics of the far Western Aleutian Islands // *Journal of Geodynamics*. 1986. V. 6. Is. 1–4. P. 13–32.
- Ruppert Natalia A, Kozyreva Natalia P., Hansen Roger A.* Review of crustal seismicity in the Aleutian Arc and implications for arc deformation // *Tectonophysics*. 2012. V. 522–523. P. 150–157.
- Plate Motion Calculator: http://sps.unavco.org/crustal_motion/dxdt/model/
- 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.

The $M_w = 7.8$ Earthquake of July 17, 2017 near the Commander Islands: Tectonic Position and Geodynamic Setting

E. A. Rogozhin^{a,b}, A. I. Lutikov^{a,b,*}, G. Yu. Dontsova^b, and V. N. Zhukovets^a

^a*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123242 Russia*

^b*Federal Research Center Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Obninsk, 249035 Russia*

Received August 27, 2018

The tectonic position and overall geodynamic setting, as well as the seismological characteristics and peculiarities of the aftershock process, are considered for the source of the strongest Near Island Aleutian earthquake of July 17, 2017, $M_w = 7.8$, on the Commander Islands. It is shown that in contrast to the eastern segments of the Aleutian island arc, the subduction of the Pacific lithospheric plate beneath the Commander block is not observed. The analysis has shown that, according to the distribution of the aftershock epicenters in the form of a linear elongated narrow zone with a length of about 400 km, the seismic source occupied almost entire northern slope of the Commander Island rise and spread in the Bering fault zone. It spanned the whole of this seismogenic zone up to the transverse structure west of the Near Islands (Attu islands). The focal mechanism solutions and the pattern of displacements in the sources of the main shock, as well as the strongest foreshocks and aftershocks, suggest that the slip in the source was an almost pure right-lateral shear. The aftershock process of the earthquake on July 17 developed quite feebly for an earthquake of this magnitude. Besides, it has two specific features distinguishing it from the aftershock processes of most of the Kuril-Kamchatka earthquakes: (1) a low release of the cumulative scalar seismic moment ($M_{0cum aft}$), which, according to different estimates, made up from 0.75 to 1.0% of the main-event seismic moment (M_{0me}); and (2) a very slow growth of the deficit in the release of seismic moment (M_0). At the same time, the duration of the quasi-stationary phase of the M_{0cum} release in the aftershocks, which is estimated at approximately half-a-year and which took a considerable span of the total length of the aftershock process from this earthquake, appears to be untypically long. These features of the aftershock process of the Near Island Aleutian earthquake of July 17, 2017 distinguish it from the aftershock processes peculiar to most of the strong Kuril–Kamchatka earthquakes. Overall, its source can be considered as a transform one between the two Benioff zones, the Aleutian and Kuril–Kamchatka ones, rather than as a subduction source characteristic of the last two zones.

Keywords: earthquake, Bering Fault; Western segment of Aleutian Arc, focal mechanism, double-couple seismic source model, scalar seismic moment