

Пространственно-временные особенности сейсмической подготовки и афтершокового процесса Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. $M_w7,8$
В.А. Салтыков, Ю.А. Кугаенко, Н.М. Кравченко, П.В. Воропаев

Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», Петропавловск-Камчатский, e-mail: salt@emsd.ru

Представлены результаты анализа форшок-афтершокового процесса Ближне-Алеутского землетрясения 17.07.2017 г. $M_w7,8$ (БАЗ). Форшоковая активность перед БАЗ длилась около 11 месяцев. Конфигурация форшоковых кластеров свидетельствует об активизации подвижек по разломным структурам, поперечным Алеутской островной дуге. Перед БАЗ выявлено двухфазное сейсмическое затишье, развивавшееся на фоне форшокового процесса. Афтершоковая область БАЗ в 3-5 раз превышает линейные размеры очага для землетрясений с $M7,7-7,8$. Оценена представительность афтершокового облака и длительность афтершоковой последовательности. Показано, что афтершоковый процесс носит стадийный характер. Обнаружено, что афтершоки первых суток проявляли тенденцию к миграции вдоль Алеутской дуги. Исследован удаленный во времени афтершок 25.01.2018 г. $M_w6,2$ и его собственная афтершоковая последовательность.

17.07.2017 г. в 23:34 UT на границе Командорского блока Алеутской островной дуги и малой литосферной плиты Берингии на задуговом разломе Беринга произошло сильное землетрясение с магнитудой $M_w7,8$ (рис. 1) – Ближне-Алеутское землетрясение (БАЗ). БАЗ относится к сильнейшим задуговым мелкофокусным землетрясениям, которые связаны с перемещением блоков Алеутской островной дуги вдоль ее простирания и имеют преимущественно сдвиговый характер подвижки в очаге [1]; в случае БАЗ – правосторонний сдвиг по крутопадающей плоскости северо-западного простирания.



Рис. 1. Эпицентр БАЗ (звезда) и стереограмма механизма очага.

Форшоковая активность перед БАЗ длилась около 11 месяцев. Сильнейший форшок с магнитудой $M_w6,7$ произошел в Беринговом море 02.06.2017 г. в ~120 км к юго-востоку от эпицентра БАЗ (рис. 2). Интенсивная последовательность форшоков с $ML3,0-6,3$ зарегистрирована за ~12 часов до основного толчка. Наиболее сильные форшоки БАЗ сопровождалась собственными афтершоковыми последовательностями. Их конфигурация (табл., рис.2) не соответствует простиранию разлома Беринга и Алеутской дуги, что свидетельствует об активизации перед БАЗ подвижек по поперечным разломным структурам.

Обнаружено двухфазное сейсмическое затишье, развивавшееся на фоне форшокового процесса (рис.3). Затишье выявлено двумя независимыми методами (*RTL* и *Z*-функция), применяющимися для параметрического мониторинга сейсмичности Камчатки [3].

По данным камчатского каталога¹ и NEIC² за 7 месяцев было зарегистрировано 900 афтершоков, из них 17 событий имело магнитуду $M \geq 5.0$. Афтершоковая область БАЗ вытянута вдоль разлома Беринга на ~500 км, что в 3-5 раз превышает линейные размеры очага для землетрясений с $M7,7-7,8$.

¹ Региональный каталог Камчатки и Командорских островов
<http://www.emsd.ru/sdis/earthquake/catalogue/catalogue.php>

² NEIC - National Earthquake Information Center, U.S. Geological Survey
<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>

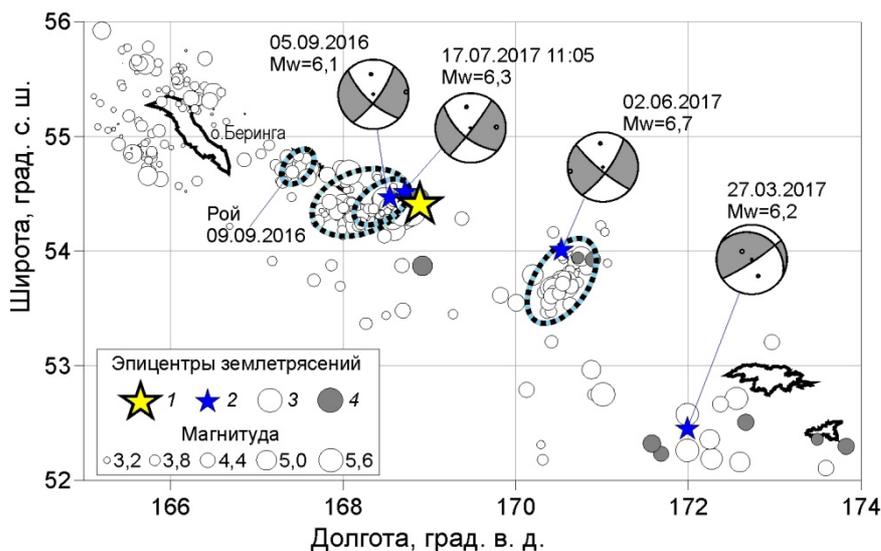


Рис.2. Форшоки Ближне-Алеутского землетрясения (с 05.09.2016 г. по 17.07.2017 г.). Эпицентры: Ближне-Алеутское землетрясение (1), сильнейшие форшоки (2), остальные форшоки по данным KAGSR (3) и NEIC (4). Представлены стереограммы механизма очага сильнейших форшоков БАЗ.

Таблица. Параметры афтершоковых последовательностей, сопровождавших сильнейшие форшоки Ближне-Алеутского землетрясения

Сильнейшие форшоки БАЗ	Представительность: класс (магнитуда) $K_C (M_C)$	$N_c (N)$	Параметры эллипса рассеяния афтершоков				
			Координаты центра эллипса		Длина осей эллипса		Азимут большой оси a
			$\varphi_0, ^\circ N$	$\lambda_0, ^\circ E$	$a, \text{ км}$	$b, \text{ км}$	$\alpha, ^\circ$
2016-09-05 22:54	8,4 (3,45)	44 (55)	54,36	168,21	91	60	77
2016-09-09 09:22 (рой)	8,5 (3,5)	16 (18)	54,73	167,40	38	24	39
2017-06-02 22:24	9,0 (3,75)	28 (41)	53,70	170,49	90	50	33
2017-07-17 11:05	8,1 (3,3)	25 (30)	54,33	168,48	53	30	55

Примечание: N_c – число афтершоков представительного класса, N – общее число зарегистрированных афтершоков.

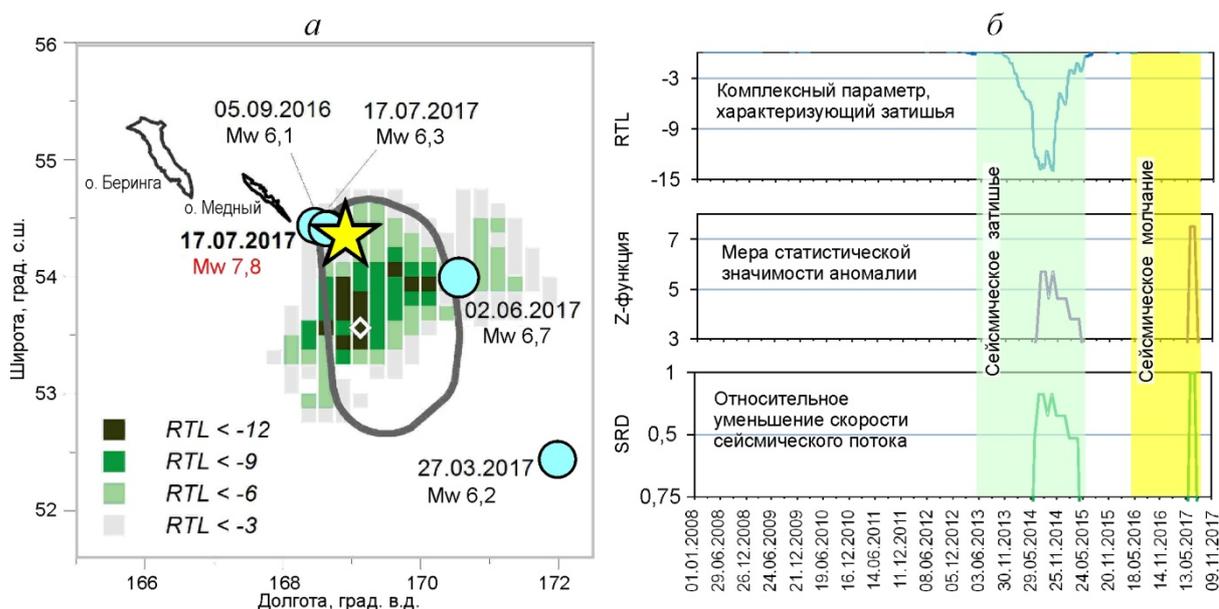


Рис. 3. Сейсмическое затишье перед Ближне-Алеутским землетрясением. *а* – карта минимальных значений RTL за время развития аномалии. Оконтурена область абсолютного сейсмического затишья по Z -функции. Отмечены эпицентры основного события (звезда) и сильнейших форшоков (кружки). *б* – временной ход параметров сейсмического режима. График параметра RTL соответствует характерной точке аномалии, выделенной ромбом карте. Z -функция рассчитана во временном окне 1 год.

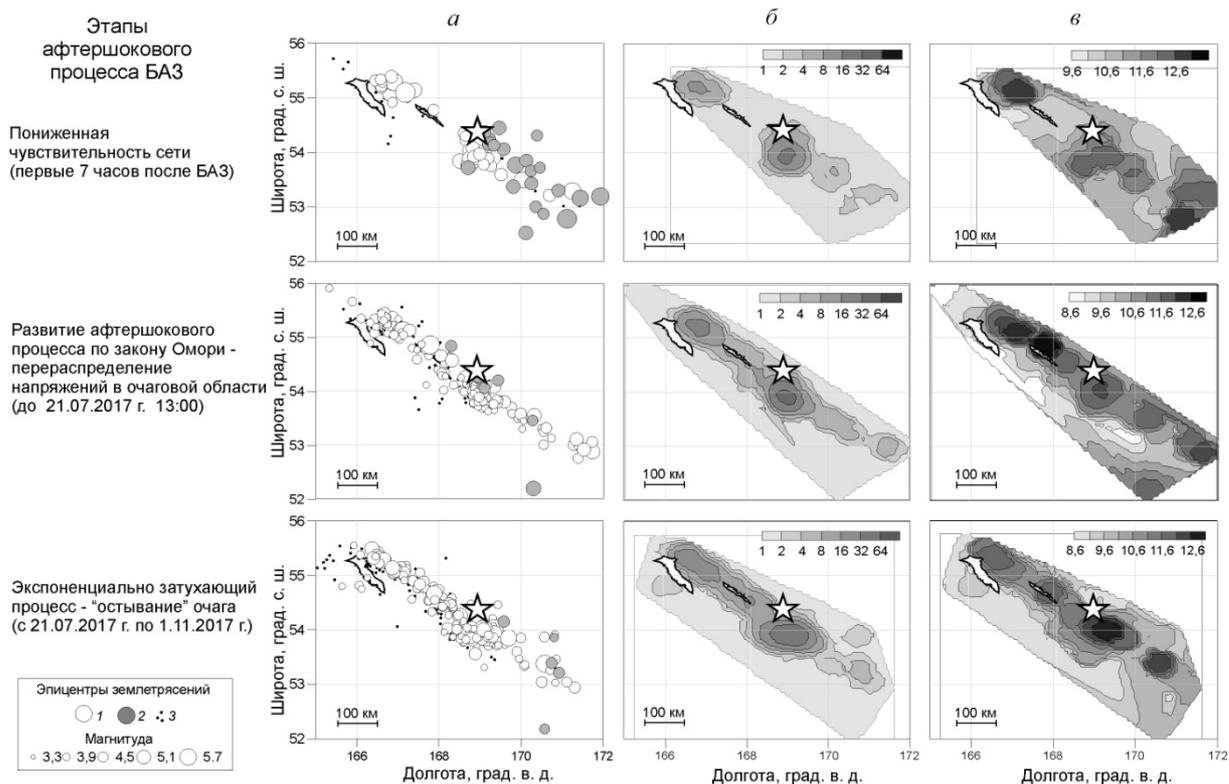
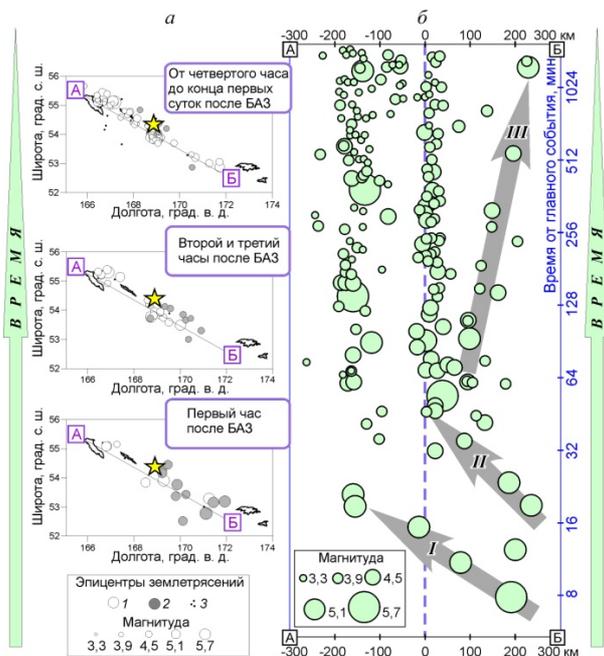


Рис. 4. Концентрация землетрясений на разных стадиях афтершокового процесса. *а* – карты эпицентров, данные KAGSR (1) и NEIC (2); землетрясения непредставительного энергетического диапазона (3). *б* – плотность числа афтершоков, *в* – плотность выделившейся сейсмической энергии. Карты *б* и *в* построены для афтершоков представительного энергетического диапазона.

Оценена представительность (уровень надежной регистрации) афтершокового облака БАЗ. Показано, что система регистрации была перегружена до 18.07.2017 ~6:00 (в течение первых ~7 часов), при этом представительность соответствовала $K_C = 9.7$. Далее нижний порог представительности афтершоков БАЗ можно считать равным $K_C = 8.6$.

Афтершоковый процесс носит стадийный характер. В течение первых четырех суток после БАЗ он соответствовал закону Омори: в очаговой области шло перераспределение напряжений и продолжалось разрушение, инициированное БАЗ. Затем характер затухания сменился на экспоненциальный: начался затухающий процесс «остывания очага». Длительность экспоненциальной фазы ($3\tau = 3/b$, где b – затухание экспоненты, τ – время релаксации) оценена в 105 суток, что соответствует наблюдавшемуся угасанию афтершоков в конце 2017 г.

Рассмотрим особенности пространственно-временного развития очага БАЗ. В работе [5] показано, что разрыв в очаге БАЗ происходил в течение ~80-90 с и распространялся преимущественно в юго-восточном направлении со скоростью ~3 км/с. Максимальные подвижки в очаге БАЗ в этой публикации оцениваются в 4-8 м, а его длина – 400 км. Рис. 5 иллюстрирует проработку очаговой области афтершоками в течение первых суток после основного события. Уже в первый час после БАЗ афтершоки охватывают ~500-километровую полосу вдоль Алеутской дуги, причем в первую очередь прорабатывается юго-восточная оконечность очага. Отметим возможную миграцию сейсмичности вдоль очага БАЗ в северо-западном направлении: визуально в течение первого часа выделяются две ветви миграции (*I* и *II* на рис. 5). В начале второго часа после БАЗ начинают формироваться два стабильных разнесенных кластера афтершоков. Одновременно наблюдается обратная миграция афтершоков из центральной в юго-восточную часть очага (*III* на рис. 5). Таким образом, афтершоковая



сейсмичность первых суток очерчивает весь гигантский очаг БАЗ, она неравномерна и имеет тенденции к миграции вдоль Алеутской дуги.

Рис.5. Динамика афтершоков в течение первых суток после БАЗ.

а – карты эпицентров для указанных временных интервалов: данные KAGSR (1), NEIC (2), землетрясения непредставительного энергетического диапазона (3). Звезда – эпицентр БАЗ.

б – диаграмма динамики афтершоков вдоль линии АБ. Ноль соответствует проекции эпицентра БАЗ. Ось времени дана в логарифмическом масштабе. Стрелки – тенденции миграции афтершоков вдоль очага БАЗ.

Исследован удаленный во времени афтершок 25.01.2018 г. $M_w 6,2$ и его собственная афтершоковая последовательность, состоящая из ~180 событий. Магнитуда этого землетрясения превысила магнитуды афтершоков БАЗ, произошедших в течение 2017 г. Это землетрясение, как и БАЗ, имело достаточно короткий временной интервал развития афтершоковой последовательности по закону Омори (по сравнению с аналогичными землетрясениями в Камчатской зоне субдукции).

Пространственно БАЗ и облако его афтершоков совпадает с северной границей относительного сейсмического затишья, называемого в литературе Командорской сейсмической брешью [2]. Ее размеры (длина ~ 600–650 км) соответствуют очагу землетрясения с $M \sim 9$. БАЗ не закрывает сейсмическую брешь, поэтому долгосрочный прогноз сильного (возможно, цунамигенного) землетрясения в западной части Алеутской дуги остается актуальным.

Список литературы

1. Балакина Л. М., Москвина А. Г. Особенности сейсмогенного процесса в Алеутской островной дуге. III. Землетрясения в западной и восточной окраинах дуги // Физика Земли. 2010. № 4. С. 9–34.
2. Лобковский Л.И., Баранов Б. В., Дозорова К.А. и др. Командорская сейсмическая брешь: прогноз землетрясения и расчет цунами // Океанология. 2014. Т. 54. № 4. С. 561–573.
3. Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Кравченко Н.М., Коновалова А.А. Параметрическое представление динамики сейсмичности Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 65-84.
4. 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 брешии // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 3. Вып. 35. С. 22-25.
5. Lay T., Ye L., Bai Ye., Cheung K.F. et al. Rupture Along 400 km of the Bering Fracture Zone in the Komandorsky Islands Earthquake ($M_w 7,8$) of 17 July 2017 // Geophysical Research Letters. 2017. doi: 10.1002/2017GL076148