

КАРТИРОВАНИЕ МЕЖПЛИТОВОГО СЦЕПЛЕНИЯ В КАМЧАТСКОЙ ЗОНЕ СУБДУКЦИИ ПО ВАРИАЦИЯМ МАГНИТУДНО-ЧАСТОТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ

И. А. Воробьева*, член-корреспондент РАН А. А. Соловьев, П. Н. Шебалин

Поступило 08.08.2018 г.

Геометрия предполагаемых зон сцепления в Камчатской зоне субдукции определяется по графику повторяемости землетрясений (магнитудно-частотному распределению) на основе ранее установленной связи его формы со скоростями неупругих деформаций. В областях повышенного асейсмического проскальзывания наблюдается нарушение линейности графика повторяемости, связанное с дефицитом сильных событий. Области повышенного сцепления океанической и континентальной плит характеризуются избытком сильных событий и обратным загибом распределения. Результаты картирования величины загиба магнитудно-частотного распределения сейсмичности хорошо согласуются с выделением зон сцепления по спутниковым геодезическим данным и инверсии мареограмм.

Ключевые слова: Камчатка, межплитовое сцепление, магнитудно-частотное распределение.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524844478-481>

Сейсмический потенциал в зонах субдукции зависит от величины и характера сцепления (каплинг, англ. coupling) взаимодействующих тектонических плит. Установлено [1], что на различных участках зон субдукции характер сброса напряжений во время больших землетрясений может быть различным в зависимости от размеров “зацепов” (асперити, англ. asperity). Во время землетрясений на “зацепах” происходят максимальные по амплитуде подвижки. Для объяснения этого явления была предложена геотектоническая концепция, в соответствии с которой именно на “зацепах” происходит накопление напряжений [2]. В дальнейшем быстро развивающиеся исследования деформаций земной поверхности с помощью спутниковых технологий подтвердили эту концепцию, сформировалось представление о “зацепах” как зонах дефицита проскальзывания [3].

Исследование зон сцепления имеет большой практический смысл для оценки сейсмо- и цунамиопасности вблизи зон субдукции. С одной стороны, именно на краю или внутри таких зон обычно находятся гипоцентры сильных землетрясений. С другой стороны, именно такие зоны

с максимальной подвижкой при землетрясении дают основной вклад в образование волн цунами [4]. Это, в свою очередь, даёт возможность выявления зон каплинга по инверсии мареограмм, фиксирующих амплитуды цунами в разных точках береговой линии [4], а также по палеоданным об осадочных отложениях, вызванных цунами [5]. Результаты многочисленных исследований говорят в пользу того, что положение “зацепов” стабильно в течение длительного времени [3].

В Камчатской зоне субдукции выявление зон каплинга ведётся с конца 90-х годов сейсмическими методами [6], по GPS-наблюдениям [7, 8], на основе анализа мареограмм [4] и осадочных отложений цунами [5]. Однако получаемые решения не являются однозначными из-за недостаточного покрытия территории станциями GPS и отсутствия прямых измерений скоростей деформации на дне океана.

В пионерской работе [1], давшей объяснение различий в сейсмичности разных зон субдукции разным характером сцепления взаимодействующих тектонических плит, южная часть Камчатки, в которой был расположен очаг катастрофического Камчатского землетрясения 4 ноября 1952 г., $M = 9,0$, отнесён к типу обширной связанной зоны сцепления, тогда как северная Камчатка характеризуется более локализованными зонами сцепления и, соответственно, меньшим

*Институт теории прогноза землетрясений
и математической геофизики Российской Академии наук,
Москва*

**E-mail: vorobiev@mitp.ru*

сейсмическим потенциалом. В более поздних исследованиях было обнаружено, что величина подвижки в очаге землетрясения 1952 г. неоднородна и составляла от 0 до 15 м; при этом в южной части очага, скорее всего, подвижка в среднем больше, чем в северной [4, 5]. Исследования интересейсмических деформаций по данным GPS [8] подтверждают, что зоны полного сцепления взаимодействующих блоков совпадают с областями максимальной подвижки при сильных землетрясениях и что эти зоны составляют лишь небольшую часть очагов землетрясений, трассируемых облаками афтершоков.

В данной работе предлагается новый подход для выявления “зацепов” в зонах субдукции. Он основан на недавно обнаруженном явлении загиба графика повторяемости, связанного с дефицитом относительно сильных событий в областях больших скоростей асейсмичного проскальзывания [9]. Мы предполагаем, что в зонах субдукции участки меньшего сцепления также характеризуются дефицитом сильных событий, тогда как в зонах “зацепов” нелинейность графика повторяемости не наблюдается, или возможен некоторый относительный избыток сильных событий.

Мы рассматриваем землетрясения Камчатской зоны субдукции, выделенные по работе [10]. Для анализа используется каталог землетрясений Единой информационной системы сейсмологических данных Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН (<http://www.emsd.ru/sdis>). Рассматривается два варианта каталога: полный и каталог основных толчков, в котором удалены афтершоки по методу работы [11].

Для определения формы графика повторяемости мы оцениваем его наклоны $b_{M3,5}$ и $b_{M4,8}$ в двух диапазонах магнитуд одинаковой ширины, [3,5; 4,7] и [4,8; 6,0] соответственно, по данным с 1962 по 2017 г. Мы используем метод максимального правдоподобия, основанный на анализе дифференциального магнитудно-частотного распределения, который даёт несмещённую оценку наклона в ограниченном диапазоне магнитуды [12, 13]. Погрешности $\delta b_{M3,5}$ и $\delta b_{M4,8}$ (одно стандартное отклонение) определяются методом Монте-Карло. Для рассматриваемого региона, периода времени и используемого каталога магнитуда 3,5 является представительной. Значения $b_{M4,8}$ и $\delta b_{M4,8}$ определяются на регулярной сетке с шагом 5 км. В каждом узле мы используем 50 ближайших событий; максимальный радиус составляет 50 км. Затем в тех же кругах мы вычисляем $b_{M3,5}$ и $\delta b_{M3,5}$. Постоянный размер выборки обеспечивает постоянство значения $\delta b_{M4,8} \approx 0,2$. Отклонение графика

повторяемости от прямолинейной формы мы характеризуем величиной загиба

$$D_{Sigma} = (b_{M4,8} - b_{M3,5}) / \delta b_{M4,8}.$$

Абсолютное значение $|D_{Sigma}| > 1,64$ указывает на статистически значимый (на уровне 0,95) загиб графика повторяемости. Отрицательное значение D_{Sigma} соответствует избытку более сильных землетрясений, положительное — их дефициту.

Результаты анализа представлены на рис. 1 по каталогу основных толчков и рис. 2 по полному каталогу. Положение и форма областей обратного

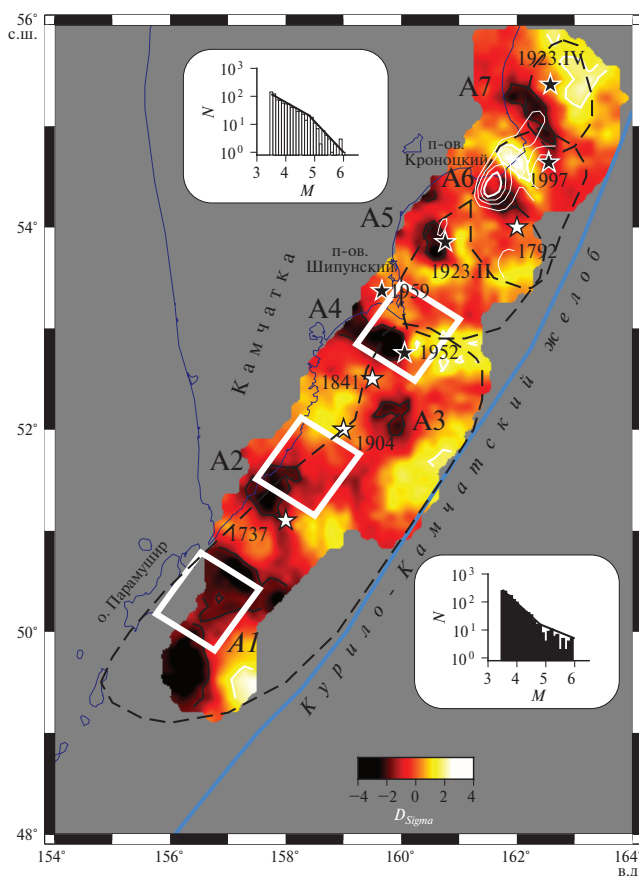


Рис. 1. Вариации формы графика повторяемости для каталога основных толчков. Тёмные зоны A1–A7 и светлые зоны соответствуют избытку и дефициту сильных землетрясений соответственно; графики повторяемости из этих зон показаны на врезках. Чёрная и белая линии очерчивают зоны статистически значимого загиба графика повторяемости $|D_{Sigma}| \geq 1,64$. Чёрные звёздочки — хорошо определённые эпицентры сильных землетрясений, белые звёздочки — плохо определённые эпицентры исторических сильных землетрясений. Штриховые линии показывают очаги сильных землетрясений 1952, 1923.II, 1923.IV и 1997 гг. Распределение смещений в очаге Кроноцкого землетрясения 1997 г. [6] показано белыми линиями. Зоны предполагаемых максимальных смещений в очаге Камчатского землетрясения 1952 г. показаны белыми квадратами [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lay T., Kanamori H., Ruff L.T.* // Earthquake Predict. Res. 1982. V. 1. P. 3–71.
2. *Pacheco J.F., Sykes L.R., Scholz C.H.* // J. Geophys. Res. 1993. V. 98. P. 14,133–14,159.
3. *Scholz C.H., Campos J.* // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. P. B05310. DOI: 10.1029/2011JB009003.
4. *Johnson J.M., Satake K.* // Pure Appl. Geophys. 1999. V. 154. P. 541–553.
5. *MacInnes B.T., Weiss R., Bourgeois J., Pinegina T.K.* // Bull. Seismol. Soc. Amer. 2010. V. 100. P. 1695–1709. DOI: 10.1785/0120090376.
6. *Zobin V.M., Levina V.I.* // Bull. Seismol. Soc. Amer. 2001. V. 91. P. 1619–1628.
7. *Bürgmann R., Kogan M.G., Levin V.E., Scholz C.H., King R.W., Steblov G.M.* // Geophys. Res. Lett. 2001. V. 28. P. 1331–1334. DOI: 10.1029/2000GL012350.
8. *Bürgmann R., Kogan M.G., Steblov G.M., Hilley G., Levin V.E., Apel E.* // J. Geophys. Res. 2005. V. 110. P. B07405. DOI: 10.1029/2005JB003648.
9. *Vorobieva I., Shebalin P., Narteau C.* // Geophys. Res. Lett. 2016. V. 43. P. 6869–6875.
10. *Левина В.И., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Чеброва А.Ю.* // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 41–64.
11. *Zaliapin I., Ben-Zion Y.* // Geophys. J. Int. 2016. V. 207. P. 608–634.
12. *Vorobieva I., Narteau C., Shebalin P., Beauducel F., Nercessian A., Clouard V., Bouin, M.-P.* // Bull. Seismol. Soc. Amer. 2013. V. 103. P. 2188–2202.
13. *Bender B.* // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1997. V. 73. P. 831–851.
14. *Федотов С.А., Чернышев С.Д., Матвиенко Ю.Д., Жаринов Н.А.* // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 3.
15. *Bourgeois J., Pinegina T.K.* // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2018. V. 18. P. 335–350.

MAPPING OF INTERPLATE COUPLING IN THE KAMCHATKA SUBDUCTION ZONE FROM VARIATIONS IN THE EARTHQUAKE SIZE DISTRIBUTION

I. A. Vorobieva, Corresponding Member of the RAS A. A. Soloviev, P. N. Shebalin

Received August 8, 2018

The geometry of supposed coupling zones in the Kamchatka subduction zone is determined by the earthquake size distribution based on earlier revealed relationship between its shape and rate of inelastic deformations. In the areas of higher aseismic slip, a break of linearity in earthquake size distribution is observed owing to the deficit of large earthquakes. Zones of higher coupling between the oceanic and continental plates are characterized by an excess of large earthquakes and an inverse bend in the earthquake size distribution. The mapping results of the bend value agree with the coupling zones distinguished from satellite geodetic data and inversion of marigrams.

Keywords: Kamchatka, interplate coupling, earthquake size distribution.