

УДК 550.34

КОЛЬЦЕВАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ГЛУБИН ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ И СИЛЬНЕЙШИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В ЗОНАХ СУБДУКЦИИ ТИХОГО ОКЕАНА

¹⁾ Копничев Ю.Ф., ²⁾ Соколова И.Н.

¹⁾ Институт физики Земли Российской Академии наук, г. Москва, Россия

²⁾ Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

Рассматриваются некоторые характеристики сейсмичности на глубинах до 110 км перед сильными и сильнейшими землетрясениями ($M_w=7,0-9,0$) в зонах субдукции Тихого океана. Показано, что перед сильными событиями с гипоцентрами на глубинах 10–40 и 42–110 км, которые условно названы неглубокими и глубокими, соответственно, в течение нескольких десятков лет формируются кольцевые структуры сейсмичности в трех диапазонах глубин: 0–33, 34–70 и 71–110 км. Структуры характеризуются пороговыми величинами магнитуд (соответственно $Mn1$, $Mn2$ и $Mn3$). Проведен анализ разностей величин $Mn1 - Mn2$, $Mn2 - Mn3$ и $Mn1 - Mn3$. Установлено, что параметры $Mn2 - Mn3$ и $Mn1 - Mn3$ значительно выше для неглубоких сильных землетрясений по сравнению с глубокими. Кроме того, выявлены различия средних величин $Mn1 - Mn2$ на западе и востоке Тихого океана. Предполагается, что формирование колец сейсмичности связано с дегидратацией пород погружающихся плит и с миграцией глубинных флюидов. Полученные данные позволяют прогнозировать глубины готовящихся сильных событий по характеристикам кольцевых структур.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие установлено, что перед сильными и сильнейшими неглубокими землетрясениями (на глубинах до ~40 км) в зонах субдукции, как правило, формируются кольцевые структуры сейсмичности [1–7]. Эти структуры, выявленные в двух диапазонах глубин (0–33 и 34–70 км), обычно имеют форму эллипсов, они характеризуются пороговыми значениями магнитуд ($Mn1$ и $Mn2$), а также длинами больших осей ($L1$ и $L2$). Для зон субдукции в районе Суматры, а также на западе и востоке Тихого океана получены корреляционные зависимости $Mn1(M_w)$, $Mn2(M_w)$, $lgL1(M_w)$ и $lgL2(M_w)$, где M_w – магнитуды главных событий, перед которыми проявились кольцевые структуры. Информация о параметрах колец сейсмичности позволяет определять области подготовки сильных землетрясений, а также прогнозировать их энергию [2, 4, 6, 7]. Вместе с тем до сих пор не было известно о формировании кольцевых структур в других диапазонах глубин, а также перед сильными событиями с очагами, расположенными на больших глубинах. В настоящей работе рассматриваются такие данные для зон субдукции на западе и востоке Тихого океана.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Использованы каталоги NEIC (Геологической службы США) начиная с 1973 г. Обработывались данные о сейсмичности перед 14 сильными неглубокими ($M_w=7,7-9,0$, $h_0 \leq 40$ км) и 16 относительно глубокими ($M_w=7,0-8,2$, $h_0=42-110$ км) землетрясениями (таблицы 1, 2).

Методика выделения кольцевых структур описана в [7, 8]. Здесь мы только заметим, что ранее выделялись структуры в двух диапазонах глубин: 0–33 и 34–70 км.

Таблица 1. Параметры кольцевых структур, сформировавшихся перед сильными и сильнейшими неглубокими землетрясениями

Дата	долгота	широта	M_w	h_0 , км	$Mn1$	$Mn2$	$Mn3$
04.10.1994	43,83	147,33	8,3	33	5,0	5,1	4,6
23.06.2001	-16,27	-73,64	8,4	33	5,0	5,2	4,7
17.11.2003	51,15	178,65	7,8	33	4,8	4,6	4,1
15.11.2006	46,59	153,27	8,3	10	5,2	4,7	3,9
15.08.2007	-13,39	-76,60	8,0	39	5,0	5,0	4,1
14.11.2007	-22,25	-69,89	7,7	40	4,9	4,7	4,1
29.09.2009	-15,49	-172,10	8,1	18	5,0	4,8	4,5
07.10.2009	-12,52	166,38	7,8	35	4,8	4,6	4,2
27.02.2010	-36,42	-72,90	8,8	23	5,0	5,0	4,5
11.03.2011	38,30	142,37	9,0	29	5,9	5,4	4,4
06.02.2013	-10,80	165,11	8,0	24	5,0	4,7	4,1
01.04.2014	-19,61	-70,77	8,2	25	5,0	4,8	4,4
16.09.2015	-31,57	-71,67	8,3	22	5,2	5,3	4,5
08.12.2016	-10,68	161,33	7,8	40	5,0	4,7	4,2

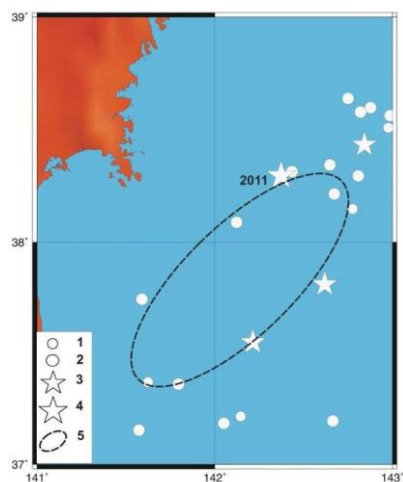
Таблица 2. Параметры кольцевых структур, сформировавшихся перед сильными и сильнейшими глубокими землетрясениями

Дата	долгота	широта	M_w	h_0 , км	$Mn1$	$Mn2$	$Mn3$
02.09.1992	11,74	-87,34	7,7	45	4,7	4,8	4,6
08.06.1993	51,22	157,83	7,5	71	4,5	4,7	4,3
30.07.1995	-23,34	-70,29	8,0	46	5,0	4,9	4,7
04.01.1998	-22,25	171,01	7,5	100	4,5	4,9	4,7
30.01.1998	-23,91	-70,21	7,1	42	4,5	4,4	4,1
06.02.1999	-12,82	166,78	7,3	90	4,3	4,3	4,3
13.01.2001	13,05	-88,66	7,7	60	5,0	4,8	4,8
09.09.2005	-4,54	153,47	7,6	90	4,5	4,8	5,0
03.05.2006	-20,19	-174,12	8,0	55	5,0	4,8	4,5
07.10.2009	-13,01	166,51	7,7	45	4,7	4,8	4,8
24.06.2011	52,05	-171,84	7,3	52	4,0	4,0	-
19.04.2014	-6,76	155,02	7,5	43	4,6	4,7	4,8
23.06.2014	51,85	178,74	7,9	109	4,5	4,8	4,8
17.12.2016	-4,51	153,52	7,9	95	5,1	4,8	5,0
08.09.2017	15,02	-93,90	8,2	47	4,7	4,4	4,4
30.11.2018	61,35	-149,96	7,0	47	4,0	4,2	4,0

В отличие от этого в настоящей статье рассматриваются также элементы сейсмичности в диапазоне 71–110 км (соответствующие параметры кольцевых структур обозначаются как $Mn3$ и $L3$). В [7] получены корреляционные зависимости различных параметров колец сейсмичности от магнитуд Mw главных событий для зон субдукции Тихого океана; при этом установлено, что для западного региона достаточно высокая корреляция наблюдается лишь для пороговых значений магнитуд. Исходя из этого, здесь проводится статистический анализ только для величин $Mn1$, $Mn2$ и $Mn3$.

АНАЛИЗ ДАННЫХ

В [7] выделены кольцевые структуры сейсмичности, сформировавшиеся перед катастрофическим землетрясением Тохоку 11.03.2011 г. ($Mw=9,0$) в диапазонах глубин 0–33 и 34–70 км. На рисунках 1 и 2 представлены данные о сейсмичности в районе северо-восточной Японии, предшествующей землетрясению Тохоку 11.03.2011 г.

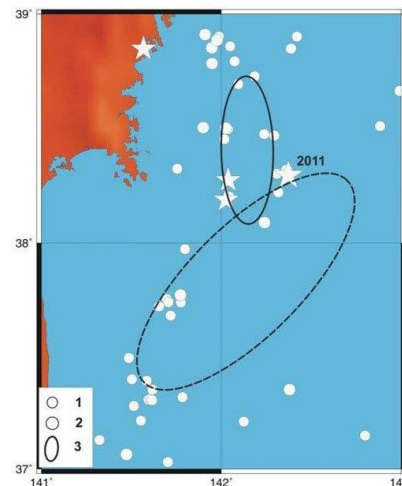


Эпицентры землетрясений: 1 – $M=5,9$; 2 – $M=6,0-6,9$; 3 – $M=7,0-7,9$; 4 – $Mw=9,0$ (указан год); 5 – кольцевая структура

Рисунок 1. Элементы сейсмичности на глубинах 0–33 км перед Великим землетрясением Тохоку 11.03.2011 г.

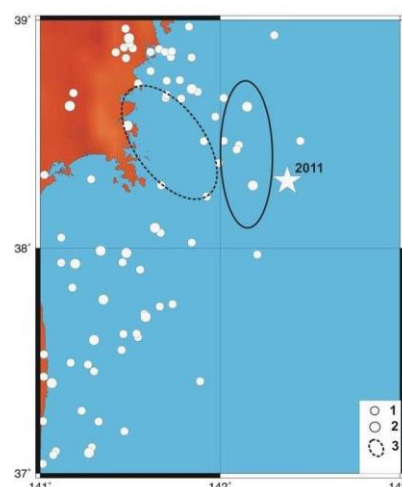
Видно, что перед этим событием сформировались кольцевые структуры с относительно высокими пороговыми величинами магнитуд: довольно крупная мелкая ($Mn1=5,9$, $L1 \sim 140$ км), ориентированная в северо-восточном направлении, и небольшая более глубокая ($Mn2=5,4$; $L2 \sim 70$ км), вытянутая вдоль меридиана 142° Е. Времена образования структур составляли соответственно 30 и 35 лет. Наибольшие магнитуды M_{max} событий в областях этих структур были равны соответственно 7,0 (19.07.2008 г.) и 7,7 (12.06.1978 г.). Заметим, что сумма магнитуд событий в единицу времени может служить грубой оценкой скорости сейсмостектонической деформации (СТД). Анализ данных показывает, что скорость СТД в области мелкой кольцевой структуры резко выросла в 2003–2011 гг. В то же время на глубинах 34–70 км скорости СТД были наибольшими в 1976–

1982 гг., задолго до землетрясения 2011 г. Важно отметить, что эпицентр землетрясения Тохоку находится вблизи восточной области пересечения колец сейсмичности (здесь под областью подразумеваются ближайшие окрестности точки пересечения аппроксимирующих их эллипсов).



1 – $M=5,4-5,9$; 2 – $M=6,0-6,9$; 3 – кольцевая структура. Другие обозначения – на рисунке 1

Рисунок 2. Элементы сейсмичности на глубинах 34–70 км перед землетрясением Тохоку 11.03.2011 г.



1 – $M=4,4-4,9$; 2 – $M=5,0-5,9$; 3 – кольцевая структура. Другие обозначения – на рисунке 1

Рисунок 3. Элементы сейсмичности на глубинах 71–110 км перед землетрясением Тохоку 11.03.2011 г.

На рисунке 3 представлены элементы сейсмичности в диапазоне глубин 71–110 км. В данном случае проявилась кольцевая структура с достаточно низким пороговым значением магнитуды ($Mn3=4,4$), расположенная к западу от кольца на глубинах 34–70 км и ориентированная в северо-западном направлении ($L3 \sim 65$ км). Наибольшая магнитуда события в области кольца сейсмичности M_{max} равна 5,5, а максимальные скорости СТД имели место в 1977–1986 гг. Время формирования самой глубокой структуры составляет 34 года. Отметим, что кольца на глубинах 34–70 и 71–110 км почти касаются друг друга.

На рисунке 4 представлены элементы сейсмичности на глубинах 0–33 км, проявившейся перед сильным глубоким землетрясением 17.12.2016 г. ($M_w=7,9$, $h_0=95$ км), которое произошло в районе Новой Гвинеи. В данном случае при пороговой магнитуде $Mn1=5,1$ сформировалась небольшая кольцевая структура ($L1=40$ км), вытянутая в субмеридиональном направлении. Структура, проявившаяся в 1974–2003 гг. (длительность ее формирования – 42 года) находится к югу от эпицентра землетрясения 17.12.2016 г. Наибольшая магнитуда в области структуры ($M_{max}=6,4$) соответствует событию 1995 г., максимальная скорость СТД наблюдалась в 1995–2003 гг., задолго до сильного землетрясения 2016 г.

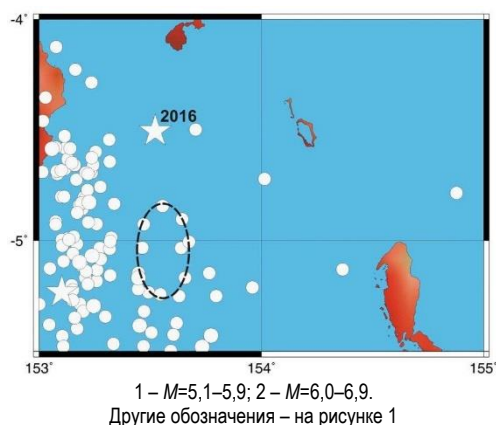


Рисунок 4. Элементы сейсмичности на глубинах 0–33 км перед сильным глубоким землетрясением 17.12.2016 г.

Рисунок 5 иллюстрирует элементы сейсмичности в диапазоне глубин 34–70 км. Здесь в 1974–2015 гг. образовалась более крупная кольцевая структура ($Mn2=4,8$, $L2=55$ км), также ориентированная в субмеридиональном направлении и пересекающаяся с неглубокой структурой на юге. Длительность ее формирования составляет 42 года, наибольшая магнитуда в области структуры ($M_{max}=5,8$) соответствует двум землетрясениям 1975 г., при этом максимальные скорости СТД имели место в 1974–1977 гг.

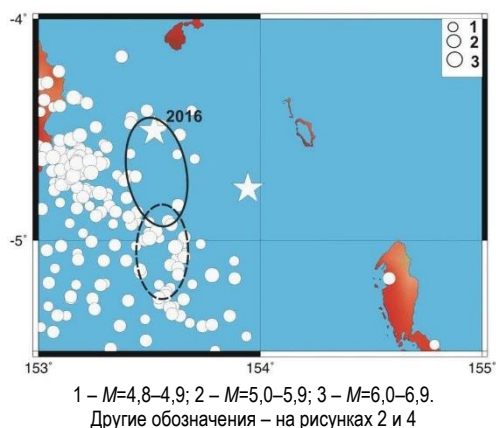


Рисунок 5. Элементы сейсмичности на глубинах 34–70 км перед землетрясением 17.12.2016 г.

На рисунке 6 показаны некоторые характеристики сейсмичности на глубинах 71–110 км. Четко выделяется небольшое кольцо сейсмичности ($L3=35$ км) с относительно высоким пороговым значением $Mn3$ (5,0), которое также вытянуто в субмеридиональном направлении. Кольцо сформировалось в 1981–2012 гг., на западе оно практически касается структуры, проявившейся на глубинах 34–70 км. В области кольцевой структуры в 2005 г. произошло очень сильное землетрясение с $M_w=7,6$, при этом наибольшие скорости СТД наблюдались в 2005–2012 гг. Интересно, что эпицентр сильного землетрясения 17.12.2016 г. находится поблизости от кольцевых структур, выделенных в диапазонах глубин 34–70 и 71–110 км (отметим, что в большинстве случаев эпицентры сильных глубоких землетрясений находятся вблизи областей пересечения или касания колец сейсмичности, сформировавшихся на глубинах 1–3 и 4–6 показывается, что перед глубоководным событием 17.12.2016 г. в разных диапазонах глубин проявились кольцевые структуры с близкими пороговыми величинами магнитуд (в отличие от колец сейсмичности, связанных с неглубоким землетрясением Тохоку).

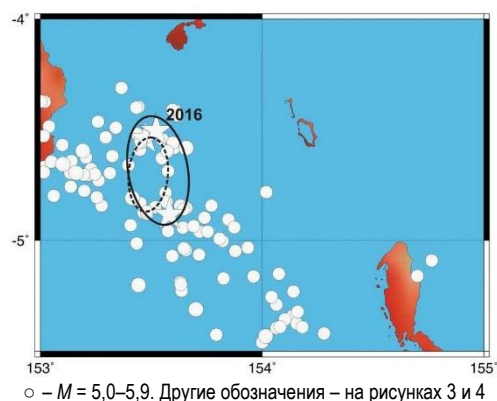


Рисунок 6. Элементы сейсмичности на глубинах 71–110 км перед землетрясением 17.12.2016 г.

Было проведено сопоставление пороговых величин и наибольших магнитуд, соответствующих кольцевым структурам. Установлено, что наблюдается большой разброс значений величин $M_{max} - Mn_i$ ($i=1, 2, 3$) как перед мелкими, так и перед глубокими сильными землетрясениями. Во всех диапазонах глубин средние величины указанных параметров варьируются в интервале 1,1–1,5, а стандартные отклонения изменяются от 0,3 до 0,6.

Для того, чтобы нивелировать различия магнитуд главных событий, проведен анализ разностей $Mn1 - Mn2$, $Mn2 - Mn3$ и $Mn1 - Mn3$ (таблица 3). На рисунках 7-а, б представлены средние значения величин $Mn1 - Mn2$ и доверительные интервалы на уровне 0,9 для колец сейсмичности, сформировавшихся перед сильными и сильнейшими неглубокими и глубоководными землетрясениями отдельно для запа-

да и востока Тихого океана. Видно, что для западных зон субдукции средние значения $Mn1 - Mn2$ на 0,36 выше для мелких событий, а для восточных они близки к нулю в обоих случаях. Отметим, что для запада указанные величины для глубоких землетрясений попадают на границу интервала 2σ .

Таблица 3. Средние величины разностей пороговых магнитуд для неглубоких и глубоких землетрясений

Глубины, км	Регион	$Mn1 - Mn2$	$Mn2 - Mn3$	$Mn1 - Mn3$
10–40	Запад ТО	$0,26 \pm 0,12$	$0,58 \pm 0,14$	$0,84 \pm 0,24$
	Восток ТО	$0,02 \pm 0,12$	$0,62 \pm 0,15$	$0,63 \pm 0,16$
42–110	Запад ТО	$-0,10 \pm 0,14$	$0,04 \pm 0,13$	$-0,06 \pm 0,18$
	Восток ТО	$0,06 \pm 0,11$	$0,15 \pm 0,09$	$0,22 \pm 0,11$

Примечание: указаны доверительные интервалы на уровне 0,9

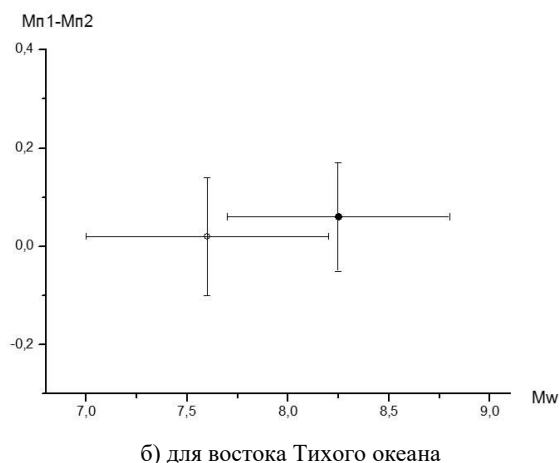
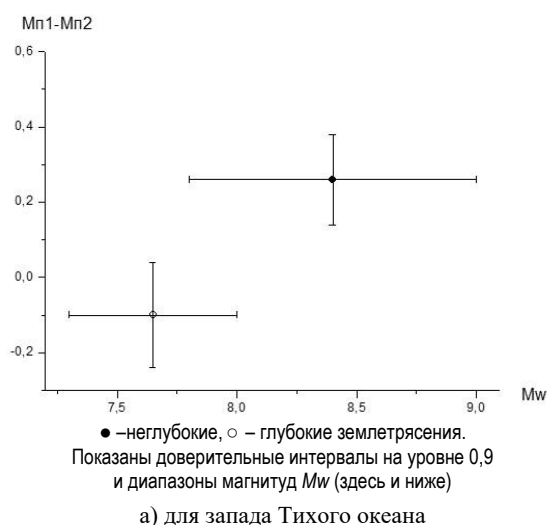


Рисунок 7. Средние значения параметра $Mn1 - Mn2$ для запада и востока Тихого океана

Из рисунка 8-а, б следует, что средние значения $Mn2 - Mn3$ для запада Тихого океана на 0,54, а для востока – на 0,47 выше для неглубоких землетрясений. При этом в обоих регионах эти величины для глубокофокусных событий выходят за пределы 2-сигмовых интервалов, соответствующих неглубоким землетрясениям.

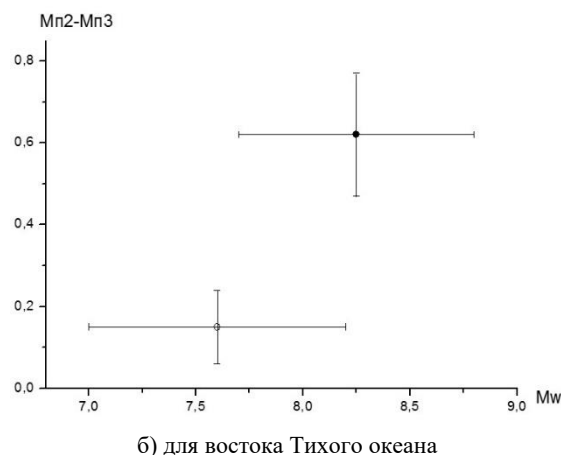
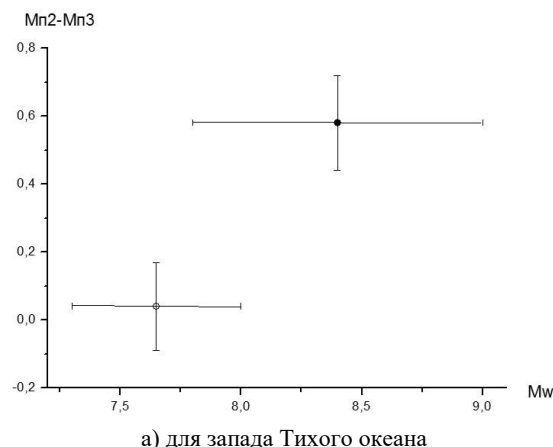


Рисунок 8. Средние значения параметра $Mn2 - Mn3$ для запада и востока Тихого океана

Рисунок 9-а, б показывает, что средние значения $Mn1 - Mn3$ для мелких и глубоких событий также различаются весьма значительно: особенно на западе (на 0,90) и на 0,41 на востоке, при этом данные для глубоких землетрясений снова выходят за границы интервалов 2σ . Следует отметить также, что наибольшие различия значений рассматриваемых разностей на западе и востоке наблюдаются для параметра $Mn1 - Mn3$, соответствующего глубоким событиям (на востоке он в среднем выше, чем на западе, на 0,28).

ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее было показано, что перед большинством сильных и сильнейших неглубоких землетрясений на периферии Тихого океана формируются кольцевые структуры сейсмичности в двух диапазонах глубин: 0–33 и 34–70 км [4–8]. Приведенные в статье данные свидетельствуют о том, что перед многими достаточно сильными событиями, в том числе и относительно глубокофокусными, здесь выделяются также кольца сейсмичности на глубинах 71–110 км. Полученные в [1–7] результаты свидетельствуют о том, что формирование кольцевых структур в диапазонах глубин 0–33 и 34–70 км связано с миграцией глубинных

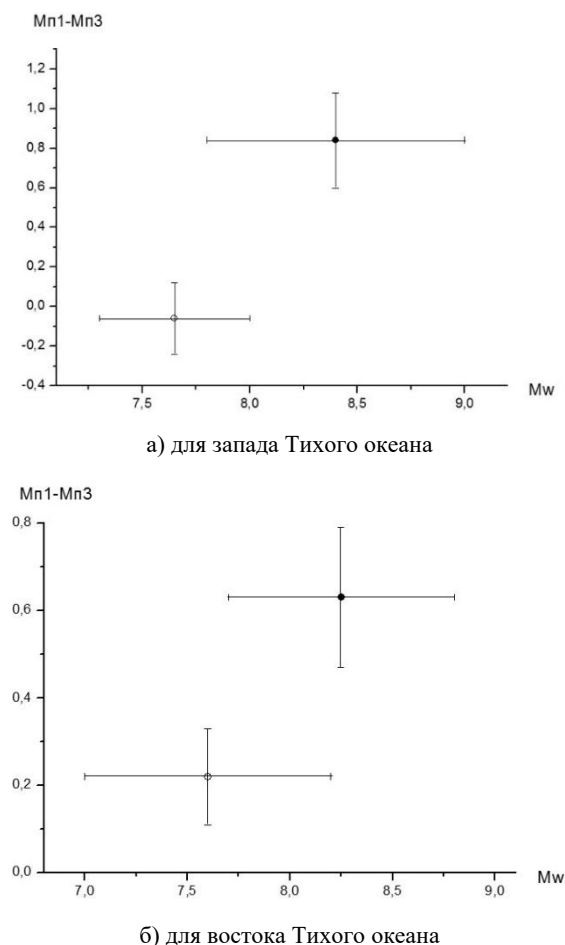


Рисунок 9. Средние значения параметра $Mn1 - Mn3$ для запада и востока Тихого океана

флюидов. При этом сейсмичность на глубинах 34–70 км, скорее всего, обусловлена дегидратацией гидратированных пород в погружающихся океанических плитах, при которой происходит охрупчивание материала плит [9, 10], а также выделяется свободная вода, служащая одним из главных компонентов глубинных флюидов. Можно предполагать, что аналогичные процессы имеют место и в диапазоне глубин 71–110 км. Отметим, что дегидратация, стимулирующая подъем глубинных флюидов, служит отражением самоорганизации геологических систем [11], в конечном счете, ведущей к уменьшению потенциальной энергии Земли.

Эпицентры сильных неглубоких землетрясений, как правило, находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения кольцевых структур в диапазонах глубин 0–33 и 34–70 км [1, 2, 6, 7]. В указанных работах был сделан вывод, что этот эффект связан с наибольшей мощностью двухфазного слоя, в котором имеет место относительно высокое содержание флюидов. В случае, когда в этом слое формируется связанная сеть из пор и трещин, заполненных флюидом, на его кровле имеет место концентрация напряжений, при этом величина избыточных напря-

жений пропорциональна мощности слоя [12, 13]. Этот эффект может служить триггером, обеспечивающим подвижку при сильном землетрясении.

Полученные в последние десятилетия данные говорят о том, что подъем глубинных флюидов в сейсмоактивных районах происходит в основном в результате землетрясений [3, 7, 8, 9, 14–18]. В [7, 8] выдвинута гипотеза о том, что энергия землетрясения пропорциональна потенциальной энергии, высвобождающейся при подъеме связанных с ним флюидов. В пользу этой гипотезы свидетельствуют характеристики кольцевых структур, формирующихся перед сильными землетрясениями с разными механизмами очагов во внутриконтинентальных районах [8], а также в зонах субдукции на западе и востоке Тихого океана [7]. Принятие гипотезы приводит к выводу об относительно высоком содержании флюидов в областях кольцевых структур, где наибольшая магнитуда событий в среднем на 1,2–1,6 выше (что соответствует различиям по энергии примерно на два порядка), чем внутри колец.

По аналогии с данными для неглубоких землетрясений, приуроченность эпицентров сильных глубоких событий к областям пересечения или наибольшего сближения кольцевых структур в диапазонах глубин 34–70 и 71–110 км также естественно связать с дегидратацией и миграцией глубинных флюидов. Исходя из пониженных значений величин $Mn2 - Mn3$ и $Mn1 - Mn3$ для глубоких землетрясений, можно сделать вывод, что перед такими событиями на глубинах ~34–110 км имеет место относительно высокое содержание флюидов. Отсюда следует, что очаги сильных и сильнейших землетрясений располагаются на таких глубинах, где они стимулируют наиболее эффективный подъем флюидов. Формирование кольцевых структур в трех диапазонах глубин перед сильными мелкими и глубокими событиями также облегчает миграцию флюидов. Все это предоставляет дополнительные свидетельства процессов самоорганизации геологических систем, обеспечивающих уменьшение потенциальной энергии Земли [11].

Следует отметить, что перед глубокими событиями наибольший контраст между западом и востоком Тихого океана наблюдается для величин $Mn1 - Mn3$ (почти 0,3 – см. рисунок 9-а, б). Учитывая этот результат, можно сделать вывод о большей доле флюидов в верхах мантии западных зон субдукции, что согласуется с данными о характеристиках поля поглощения короткопериодных S-волн в очаговых зонах сильнейших землетрясений Мауле 2010 г. (Чили, $Mw=8,8$) и Тохоку 2011 г. [19], а также о размерах кольцевых структур [7] и особенностях афтершоковых процессов [20, 21] в двух огромных регионах Тихого океана. В свою очередь большая доля флюидов в верхах мантии связана со значительно большим возрастом океанической коры на западе, которому соответствует повышенное содержание гидратированных пород [22, 23].

Практическое значение полученных данных заключается в возможности прогноза глубин очагов готовящихся сильных землетрясений. Резкое занижение параметра $Mn2 - Mn3$ и особенно $Mn1 - Mn3$ (для запада) говорит о высокой вероятности подготовки сильного глубокого события. Такой прогноз весьма важен, поскольку из монографии [24] следует,

что для глубин гипоцентров 20 и 100 км различие наибольшей интенсивности сотрясений на поверхности может достигать 3 баллов (при прочих равных условиях). Кроме того, для глубоких землетрясений существенно снижается опасность реализации крупнейших цунами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев, Ю.Ф. Кольцевая сейсмичность в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в зонах субдукции / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. – 2009. – Т. 425, № 4. – С. 539–542.
2. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районе Суматры / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. – 2009. – Т. 429, № 1. – С. 106–109.
3. Копничев, Ю.Ф. О корреляции характеристик сейсмичности и поля поглощения S-волн в районах кольцевых структур, формирующихся перед сильными землетрясениями / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология. – 2010. – № 6. – С. 34–51.
4. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности и землетрясение 11.03.2011 г. ($M_w = 9,0$) в районе северо-восточной Японии / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. – 2011. – Т. 440, № 2. – С. 246–249.
5. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в районе очага землетрясения Мауле (Чили, 27.02.2010, $M_w = 8,8$) и их связь с сейсмичностью и вулканизмом / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические исследования. – 2011. – Т. 12, № 3. – С. 22–33.
6. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районе Северного Чили и успешный прогноз места и магнитуды землетрясения Икике 01.04.2014 г. / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2015. – Вып. 4. – С. 153–159.
7. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся перед сильными и сильнейшими землетрясениями на западе и востоке Тихого океана / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические процессы и биосфера. – 2018. – Т. 17, № 1. – С. 109–124.
8. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся в континентальных районах перед сильными землетрясениями с различными механизмами очагов / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические исследования. – 2013. – Т. 14, № 1. – С. 5–15.
9. Yamazaki, T. Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab / T. Yamazaki, T. Seno // J. Geophys. Res. – 2003. – V. 108, N B4. – DOI 10.1029/2002JB001918.
10. Jung, H. Intermediate-depth earthquake faulting by dehydration embrittlement with negative volume change / H. Jung, H. Green, L. Dobrzynetskaia // Nature. – 2004. – V. 428. – P. 545–549.
11. Летников, Ф.А. Синергетика геологических систем / Ф.А. Летников. – Новосибирск: Наука, 1992. – 229 с.
12. Каракин, А.В. Гидродинамика и структура двухфазной астеносферы / А.В. Каракин, Л.И. Лобковский // Докл. АН СССР. – 1982. – Т. 268, № 2. – С. 324–329.
13. Gold, T. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes / T. Gold, S. Soter // Pure Appl. Geoph. – 1984/1985. – V. 122. – P. 492–530.
14. Husen, S. Postseismic fluid flow after the large subduction earthquake of Antofagasta, Chile / S. Husen, E. Kissling // Geology. – 2001. – V. 29, N 9. – P. 847–850.
15. Копничев, Ю.Ф. Пространственно-временные вариации поля поглощения S-волн в очаговых зонах сильных землетрясений Тянь-Шаня / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Физика Земли. – 2003. – № 5. – С. 73–86.
16. Копничев, Ю.Ф. Подъем мантийных флюидов в районах очагов сильных землетрясений и крупных разломных зон: Геохимические свидетельства / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2005. – Вып. 2. – С. 147–155.
17. Ogawa, R. Slow postseismic recovery of geoid depression formed by the 2004 Sumatra-Andaman earthquake by mantle water diffusion / Ogawa R., Heki K. // Geophys. Res. Let. – 2007. – V. 34. – L06313. DOI 10.1029/2007GL029340.
18. Копничев, Ю.Ф. Пространственно-временные вариации поля поглощения поперечных волн в сейсмически активных и слабосейсмических районах / Ю.Ф. Копничев, Д.Д. Гордиенко, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология. – 2009. – № 1. – С. 49–64.
19. Копничев, Ю.Ф. Характеристики поля поглощения короткопериодных S-волн в очаговой зоне сильнейшего землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. ($M_w = 9,0$) / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические процессы и биосфера. – 2019. – Т. 18, № 2. – С. 16–27. – Режим доступа: <https://doi.org/10.21455/GPB2019.2-2>, свободный.
20. Tajima, F. Global survey of aftershock area expansion / F. Tajima, H. Kanamori // Phys. Earth. Planet. Inter. – 1985. – V. 40. – P. 77–134.
21. Singh, S. Regional variation in the number of aftershocks ($m_b \geq 5$) of large subduction-zone earthquakes ($M_w \geq 7.0$) / S. Singh, G. Suarez // Bull. Seismol. Soc. Amer. – 1988. – V. 78, N 1. – P. 230–242.
22. Müller, R. Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust / R. Müller, M. Sdrolias, C. Gaina, W. Roest // Geochim. Geophys. Geosyst. – 2008. – N 9. – Q04006. DOI 10.1029/2007GC001743.
23. Abers, G. Thermal-petrological controls on the location of earthquakes within subducting plates / G. Abers, J. Nakajima, P. van Keken, S. Kita, B. Hacker // Earth Planet. Sci. Let. – 2013. – V. 369–370. – P. 178–187.
24. Кондорская, Н.В. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР / Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин (ред.). – М.: Наука. – 1977. – 535 с.

**ТЫНЫҚ МҰХИТТЫҢ СУБДИКЦИЯСЫ АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ ҚАТТЫ ЖӘНЕ ӨТЕ ҚАТТЫ
ЖЕРСІЛКІНУЛЕР АЛДЫНДА ӘРТҮРЛІ ДИАПАЗОНДЫ ТЕРЕҢДІКТЕРДЕГІ ШЕҢБЕРЛІ
СЕЙСМИКАЛЫЛЫҚ**

¹⁾ Ю.Ф. Копничев, ²⁾ И.Н. Соколова

¹⁾ *Ресей Ғылыми академиясының жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей*

²⁾ *Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Тынық мұхиттың субдукция аймақтарындағы қатты және өте қатты жерсілкінулер ($M_w=7,0-9,0$) алдында 110 км дейінгі тереңдіктердегі сейсмикалықтың кейбір сипаттамалары қарастырылады. Гипоцентрлі қатты оқиғалар алдында шартты түрде терең емес және терең деп аталған 10–40 және 42–110 км тереңдіктерде бірнеше онжылдықтарда үш диапозонды тереңдіктерде: 0–33, 34–70 и 71–110 км сейсмикалықтың шеңберлі құрылымдары қалыптасатыны көрсетілген. Құрылымдар магнитудалардың бастапқы шамаларымен сипатталады ($Mn1$, $Mn2$ және $Mn3$ тиісті). $Mn1 - Mn2$, $Mn2 - Mn3$ және $Mn1 - Mn3$ шамалары айырмашылықтарының талдауы жүргізілді. Терең қатты жерсілкінулерге қарағанда терең еместерімен салыстырғанда $Mn2 - Mn3$ және $Mn1 - Mn3$ параметрлері неғұрлым жоғары екендігі белгілі болды. Бұдан басқа, Тынық мұхиттың батысы мен шығысында $Mn1 - Mn2$ орташа шамаларының айырмашылықтары анықталды. Сейсмикалықтың шеңберлерінің қалыптасуы батырылған тақталар жыныстарының гидратсыздандыруымен және тереңдік флюидтердің жылытауымен байланысты деген болжам жасалады. Алынған деректер, шеңберлі құрылымдардың сипаттамалары бойынша дайындалып жатқан қатты оқиғалардың тереңдіктерін болжауға мүмкіндік береді.

**RING-SHAPED SEISMICITY STRUCTURES IN DIFFERENT DEPTH RANGES PRIOR TO LARGE
AND GREAT EARTHQUAKES IN SUBDUCTION ZONES OF THE PACIFIC OCEAN**

¹⁾ Yu.F. Kopnichev, ²⁾ I.N. Sokolova

¹⁾ *Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²⁾ *Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

We have been studying some seismicity characteristics at depths down to 110 km prior to large and great earthquakes ($M_w=7,0-9,0$) in subduction zones of the Pacific. It was shown that prior to large events at depths of 0–40 and 42–110 km, which we called conditionally as shallow and deep ones respectively, during a few decades ring-shaped structures have been forming in three depth ranges: 0–33, 34–70 and 71–110 km. The structures are characterized by threshold magnitude values: $Mt1$, $Mt2$ and $Mt3$ correspondingly. We analyzed differences of $Mt1 - Mt2$, $Mt2 - Mt3$ and $Mt1 - Mt3$ values. It was established that parameters $Mt2 - Mt3$ and $Mt1 - Mt3$ are considerably higher for large shallow earthquakes in comparison with deep ones. Besides, we found differences of mean $Mt1 - Mt2$ values at the west and east of the Pacific. We believe that ring-shaped structures formation is connected with dehydration of subducting plates material and deep-seated fluid migration. The obtained data allow us to forecast depths of preparing large events using parameters of ring-shaped structures.