

УДК 550.34

## ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬЦЕВОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ГЛУБИН В РАЙОНЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЯПОНИИ

<sup>1,2)</sup>Копничев Ю.Ф., <sup>1)</sup>Соколова И.Н.

<sup>1)</sup>Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

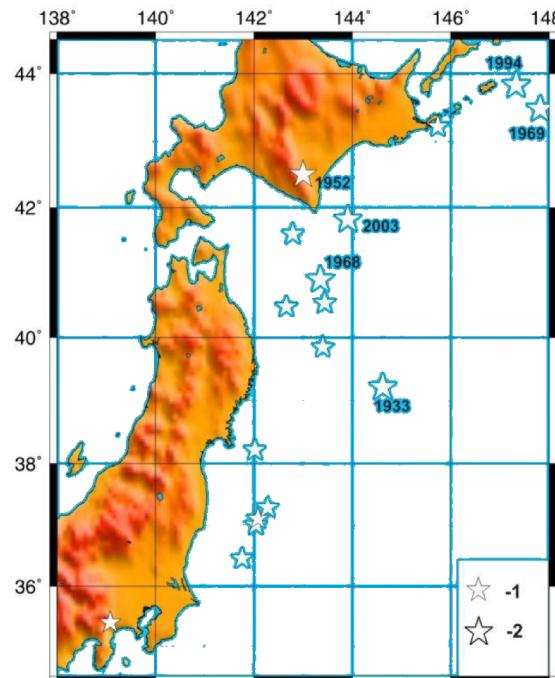
<sup>2)</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Приводятся результаты анализа сейсмичности в районе северо-восточной Японии для диапазонов глубин 0 - 33 и 34 - 70 км перед сильными и сильнейшими землетрясениями с  $M_w = (7.0 - 8.3)$ , произошедшими в 1989 - 2008 гг., а также в зонах сейсмических брешей. Показано, что эпицентры главных землетрясений находились вблизи областей пересечения или наибольшего сближения выделенных кольцевых структур сейсмичности. По аналогии с районами Суматры и Камчатки и на основании анализа данных о пороговых значениях магнитуд в районах кольцевых структур сейсмичности получены прогнозные оценки магнитуд готовящихся землетрясений в зонах сейсмических брешей. Выделены зоны сейсмических брешей, в которых наиболее вероятны сильные землетрясения в ближайшие годы.

Ранее было показано, что в зонах субдукции перед сильными и сильнейшими землетрясениями формируются кольцевые структуры сейсмичности [1 - 4]. В статье рассматриваются характеристики сейсмичности в районе северо-восточной Японии с целью выделения областей подготовки новых сильных землетрясений и оценки их энергии. Для сравнения анализируются также некоторые данные о сейсмичности в районе южных Курил.

### ИСТОРИЧЕСКАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

В рассматриваемом районе (между  $34.5^\circ$  и  $44.5^\circ$  N) начиная с 1900 г. произошел ряд сильных землетрясений с  $M_w \geq 7.7$ : 01.09.1923 г. ( $M_w = 7.9$ ); 09.03.1931 г. (7.7); 04.03.1952 г. (8.1); 02.03.1933 г. (8.4); 23.05.1938 г. (7.7); 05.11.1938 г. (7.9 и 7.8); 06.11.1938 г. (7.7); 20.03.1960 г. (7.8); 16.05.1968 г. (8.3 и 7.8); 11.08.1969 г. (8.2); 12.06.1978 г. (7.7); 04.10.1994 г. (8.3); 29.12.1994 (7.8); 25.09.2003 г. (8.3) - (таблица 1, рисунок 1). В отличие от других районов - Суматры [1-3] и Камчатки [4], - здесь в течение 110 лет не было землетрясений с  $M_w > 8.4$ . Интересно, что все землетрясения с  $M_w \geq 8.0$  произошли к северу от параллели  $39^\circ$  N. Большинство землетрясений имели механизмы типа надвига, характерного для зон субдукции [5]. В то же время землетрясение Санрику-оки (1933 г.) было сильнейшим из сбросов, произошедших на земном шаре начиная с 1900 г. [5].



Эпицентры сильных землетрясений: 1 -  $M_w = (7.7 - 7.9)$ ; 2 -  $M_w = (8.1 - 8.4)$ . Годы указаны для событий с  $M_w > 8.0$ .

Рисунок 1. Сильные землетрясения  
в районе северо-восточной Японии с 1900 г.

Таблица 1. Сильные землетрясения в районах северо-восточной Японии и южных Курил (зоны субдукции)

Дата	$\phi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	h, км	$M_w$	Дата	$\phi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	h, км	$M_w$
01.09.1923	35.4	139.08	35	7.9	16.05.1968	40.9	143.35	26	8.3
09.03.1931	40.48	142.66	35	7.7	16.05.1968	41.6	142.79	11	7.8
02.03.1933	39.22	144.62	35	8.4	11.08.1969	43.48	147.82	46	8.2
23.05.1938	36.46	141.76	35	7.7	17.06.1973	43.22	145.74	44	7.8
05.11.1938	37.01	142.04	35	7.9	12.06.1978	38.22	142.02	53	7.7
05.11.1938	37.11	142.08	35	7.8	04.10.1994	43.83	147.33	33	8.3
06.11.1938	37.29	142.28	35	7.7	28.12.1994	40.54	143.44	16	7.8
04.03.1952	42.5	143	43	8.1	29.09.2003	41.82	143.91	13	8.3
20.03.1960	39.85	143.4	35	7.8	--	--	--	--	--

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Изучение характеристик сейсмичности района северо-восточной Японии, расположенного между  $34.5^{\circ}$  и  $44.5^{\circ}$  N, проведено для двух диапазонов глубин: 0 - 33 и 34 - 70 км (рисунок 1, таблица 1). Использованы каталоги землетрясений NEIC (National Event Information Center, каталог Геологической службы США) с 01.01.1973. Проанализированы данные о землетрясениях, произошедших в окрестностях будущих очаговых зон, с магнитудами  $M \geq M_{p1}$  и  $M \geq M_{p2}$ , где значения пороговых магнитуд  $M_{p1}$ ,  $M_{p2}$  – для первого и второго диапазона глубин землетрясений, соответственно, варьировались от 3.9 до 5.1 (таблица 2).

Изучены события во временном интервале с 01.01.1973 до дня, предшествовавшего главному событию. Отобраны и обработаны данные о сейсмичности района перед семью сильными и сильнейшими землетрясениями с  $M_w=7.0$  - 8.3 (таблица 2). Кроме того, изучены характеристики сейсмичности в нескольких зонах сейсмических брешей, где в т-

чение многих десятков лет не было землетрясений с  $M_w \geq 8.0$  (для этих зон рассматривались события с 01.01.1973 до 01.07.2009).

## АНАЛИЗ ДАННЫХ

*Остров Хоккайдо.* Рисунок 2 иллюстрирует характеристики сейсмичности перед Шикотанским землетрясением 04.10.1994 г.

Из рисунка 1 и таблицы 2 видно, что перед Шикотанским землетрясением образовалась кольцевая структура сейсмичности на глубинах 0 - 33 км ( $M_{p1}=5.0$ ,  $L \sim 80$  км) и почти совпадающая с ней кольцевая структура - на глубинах 34 - 70 км ( $M_{p2}=5.1$ ,  $L \sim 80$  км). Обе они вытянуты в северо-западном направлении. Далее, для краткости, следя [2], кольца, сформировавшиеся в первом диапазоне глубин, названы «мелкими», а во втором – «глубокими». Эпицентр Шикотанского землетрясения находился на расстоянии  $\sim 15$  км от северо-восточной области пересечения колец.

Таблица 2. Характеристики выявленных кольцевых структур перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районах северо-восточной Японии и южных Курил

N	Дата	$\phi^{\circ}, N$	$\lambda^{\circ}, E$	h, км	$M_w$	$M_{p1}$	L, км	$M_{p2}$	I, км
1	01.11.1989	39.92	142.79	29	7.4	4.0	100	4.0	95
2	04.10.1994	43.83	147.33	33	8.3	5.0	80	5.1	80
3	28.12.1994	40.54	143.44	16	7.8	4.4	130	4.4	85
4	25.09.2003	41.82	143.91	13	8.3	5.0	85	5.0	40
5	31.10.2003	37.81	142.62	10	7.0	4.0	30	4.0	40
6	28.11.2004	43.01	145.12	39	7.0	4.0	65	3.9	40
7	19.07.2008	37.55	142.21	22	7.0	4.0	55	4.0	40

Примечание: L, I – длины больших осей колец сейсмичности для 1 и 2 диапазона глубин соответственно

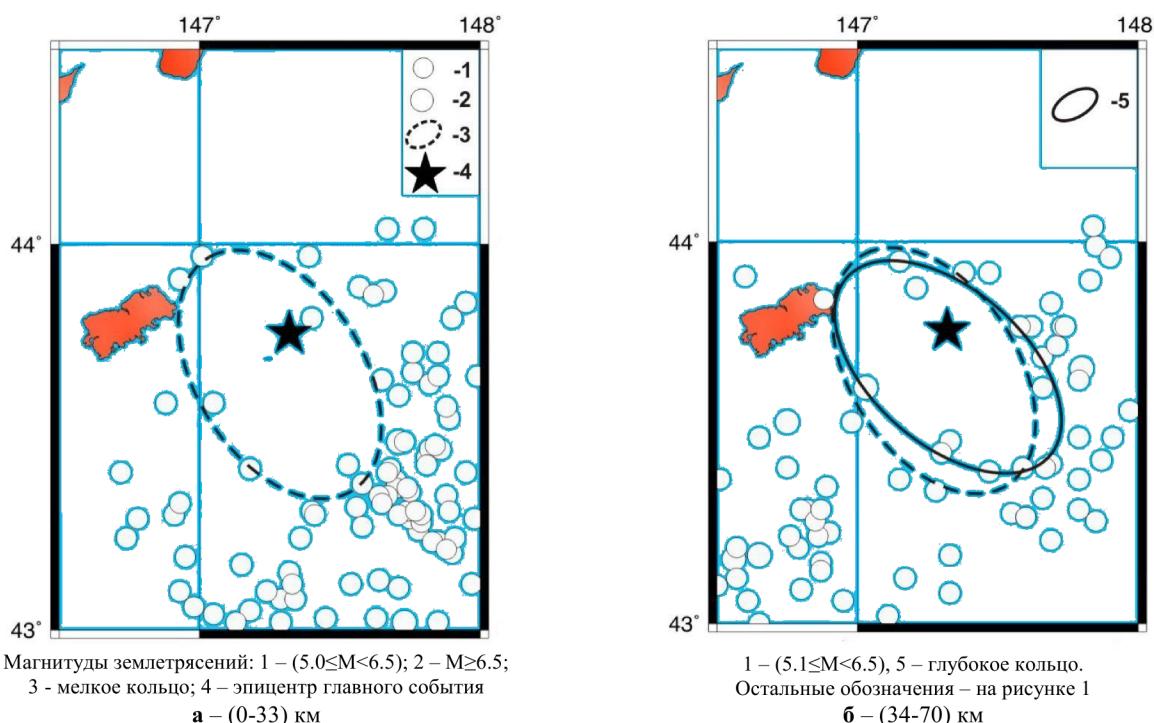


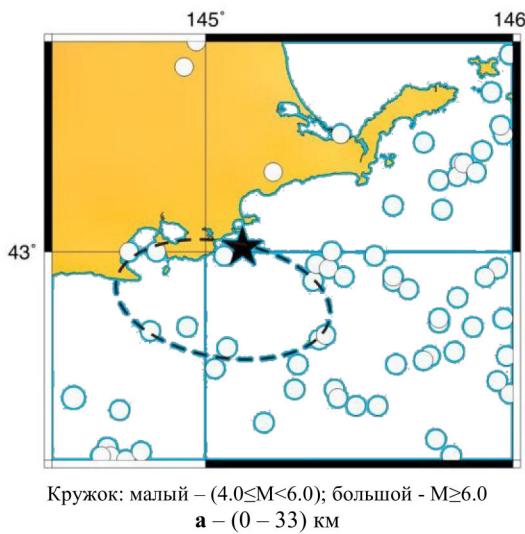
Рисунок 2. Кольцевая сейсмичность перед Шикотанским землетрясением 04.10.1994 г. на различных глубинах

На рисунке 3 представлены данные о сейсмичности района у юго-восточной границы о. Хоккайдо перед землетрясением 28.11.2004 г. ( $M_w=7.0$ ).

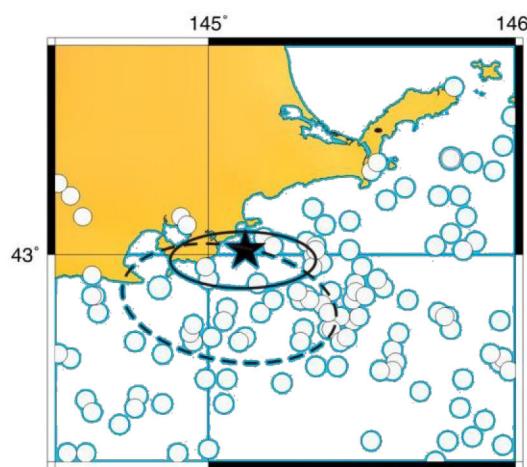
В данном случае сформировались пересекающиеся кольцевые структуры: мелкая (Мп1=4.0, L~65 км), вытянутая в субширотном направлении, и глубокая узкая (Мп2=3.9, l~40 км), ориентированная почти параллельно мелкой. Эпицентр землетрясения с  $M_w=7.0$  находился на расстоянии ~15 км от северо-западной области пересечения колец. В [2] были проанализированы характеристики сейсмичности в районе очага сильного землетрясения 25.09.2003 г. ( $M_w=8.3$ ), произошедшего к югу от о. Хоккайдо. Здесь образовались кольцевые структуры: мелкая,

вытянутая в северо-восточном направлении (Мп1=5.0, L~85 км), и расположенная внутри нее глубокая (Мп2=5.0, l~40 км, таблица 2). Эпицентр сильного события находился на расстоянии ~20 км от области касания колец.

**Остров Хонсю.** На рисунке 4 показаны характеристики сейсмичности перед землетрясением 28.12.1994 г. ( $M_w=7.8$ ) к востоку от о.Хонсю. Выделены кольцевые структуры: мелкая (Мп1=4.4, L~130 км) и внутри нее узкая глубокая (Мп2=4.4, l~85 км), ориентированные в северо-восточном направлении. Эпицентр сильного землетрясения находился практически в области касания колец.



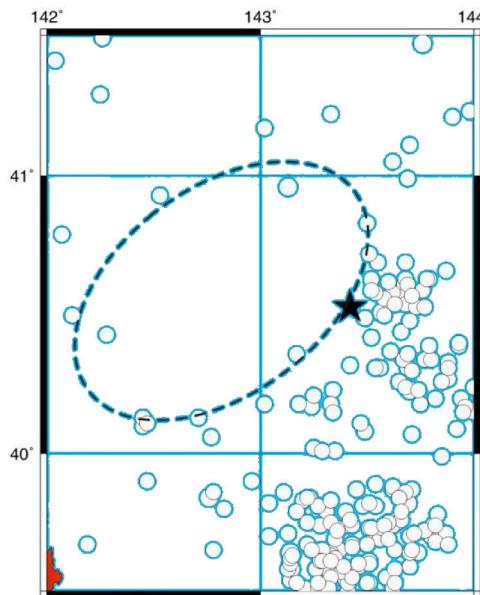
Кружок: малый – ( $4.0 \leq M < 6.0$ ); большой –  $M \geq 6.0$   
а – (0 – 33) км



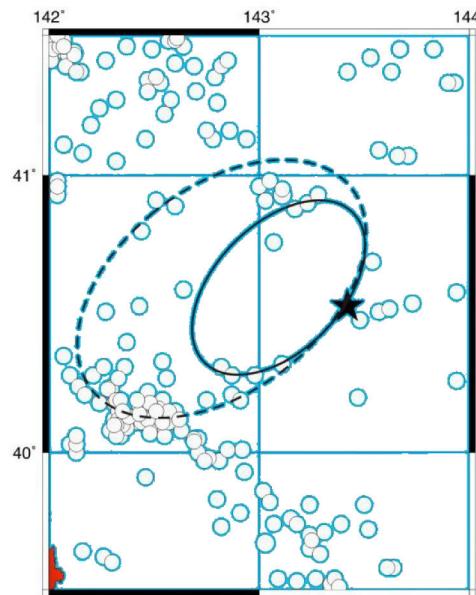
Кружок: малый – ( $3.9 \leq M < 6.0$ ); большой –  $M \geq 6.0$   
б – (34 – 70) км

Остальные обозначения – на рисунке 2

Рисунок 3. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 28.11.2004 г. в районе о. Хоккайдо на различных глубинах



Кружок: малый – ( $4.4 \leq M < 6.0$ ); большой –  $M \geq 6.0$   
а – (0-33) км



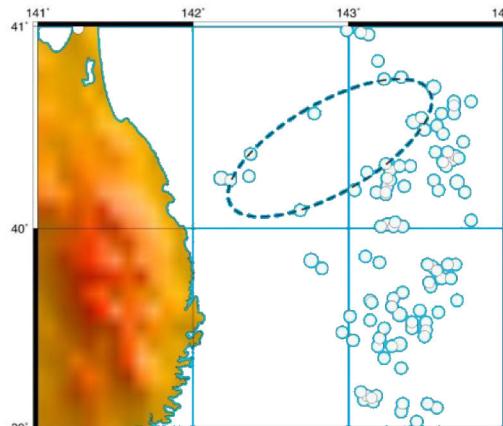
Кружок: малый – ( $4.4 \leq M < 6.0$ ); большой –  $M \geq 6.0$   
б – (34-70) км

Остальные обозначения – на рисунке 2

Рисунок 4. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 28.12.1994 г. на различных глубинах

Рисунок 5 иллюстрирует данные о сейсмичности за период 01.01.1973-01.07.2009 в районе между  $39^{\circ}$  и  $41^{\circ}$  N, к западу от очага землетрясения Санрику-оки 1933 г. Здесь сформировались ярко выраженные кольцевые структуры: мелкая ( $M_p1=5.3$ ,  $L\sim 130$  км), вытянутая в направлении на восток-северо-восток, и относительно большая глубокая ( $M_p2=5.3$ ,  $l\sim 140$  км), ориентированная в северо-западном направлении. Кольца пересекаются вблизи параллели  $40^{\circ}$  N, в области наибольшей плотности эпицентров событий с глубинами от 34 до 70 км. Следует отметить, что на границе мелкого кольца располагаются эпицентры достаточно сильных землетрясений, произошедших 28.12.1994 г. ( $M_w=7.8$ ) и 06.01.1995 г. ( $M_w=7.0$ ). Для сравнения укажем, что самые сильные события в районах мелких колец перед землетрясениями 04.10.1994 г. и 25.09.2005 г. имели магнитуды 6.4 и 6.3, соответственно.

На рисунке 6 показаны характеристики сейсмичности перед землетрясением 01.11.1989 г. ( $M_w=7.4$ ).

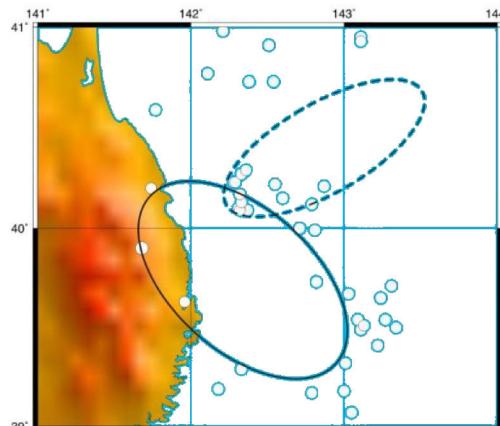


Кружок: малый – ( $5.3 \leq M < 6.5$ ); большой –  $M \geq 6.5$   
а – (0-33) км

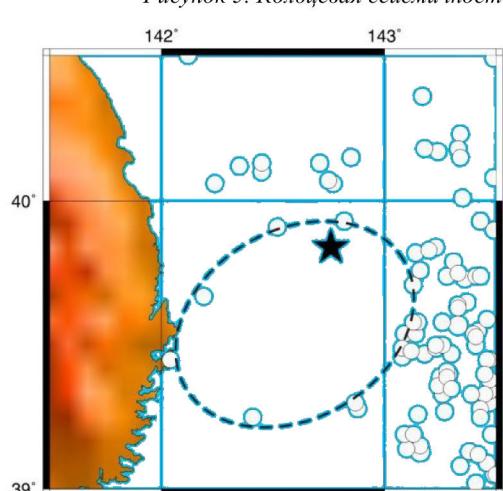
Остальные обозначения – на рисунке 2

В течение 17 лет в районе сформировались кольцевые структуры: мелкая ( $M_p1=4.0$ ,  $L\sim 100$  км), вытянутая в северо-восточном направлении, и глубокая ( $M_p2=4.0$ ,  $l\sim 95$  км), ориентированная субширотно. При этом большая часть площади этих колец попадает внутрь глубокого кольца, описанного выше (рисунок 5). Эпицентр сильного землетрясения ( $M_w=7.4$ ) находился на расстоянии ~15 км от северо-восточной области пересечения колец.

На рисунке 7 показаны характеристики сейсмичности в районе между  $37.5^{\circ}$  и  $39^{\circ}$  N. Здесь в период 01.01.1973-01.07.2009 образовались кольцевые структуры: узкая мелкая ( $M_p1=5.0$ ,  $L\sim 95$  км) и более широкая глубокая ( $M_p2=5.0$ ,  $l\sim 100$  км), ориентированные в субмеридиональных направлениях. Кольца пересекаются в районе  $143^{\circ}$  E. К западу от колец произошло землетрясение Мияги-оки 12.06.1978 г. (таблица 1).

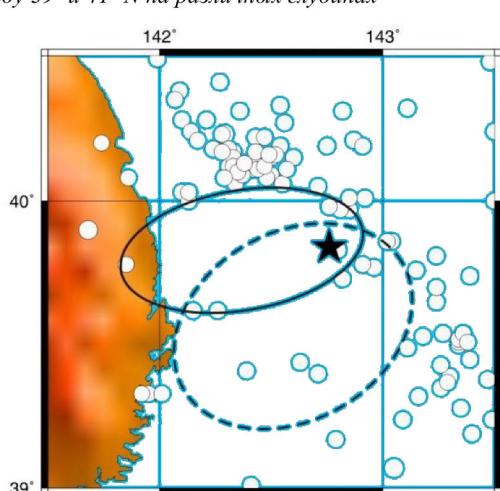


Кружок: малый – ( $5.3 \leq M < 6.5$ ); большой –  $M \geq 6.5$   
б – (34-70) км



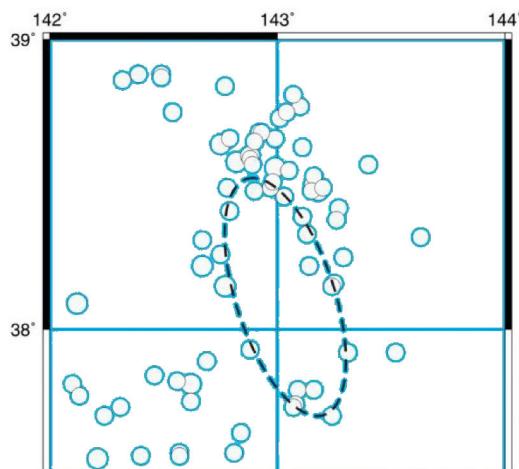
Кружок: малый – ( $4.0 \leq M < 6.0$ ); большой –  $M \geq 6.0$   
а – (0-33) км

Остальные обозначения – на рисунке 2

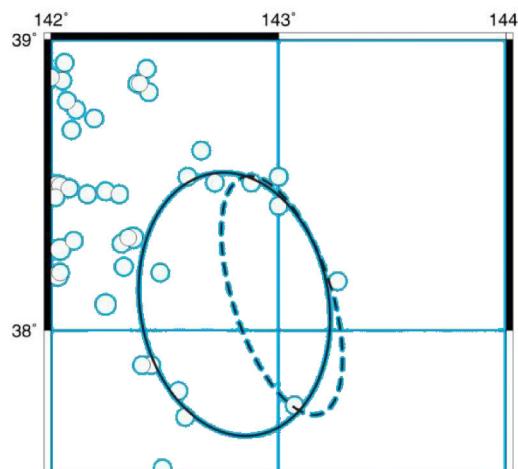


Кружок: малый – ( $4.0 \leq M < 6.0$ ); большой –  $M \geq 6.0$   
б – (34-70) км

Рисунок 6. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 01.11.1989 г. на различных глубинах



Кружок: малый – ( $5.0 \leq M < 6.5$ ); большой –  $M \geq 6.5$   
а – (0-33) км



Кружок: малый – ( $5.0 \leq M < 6.5$ ); большой –  $M \geq 6.5$   
б – (34-70) км

Остальные обозначения – на рисунке 2

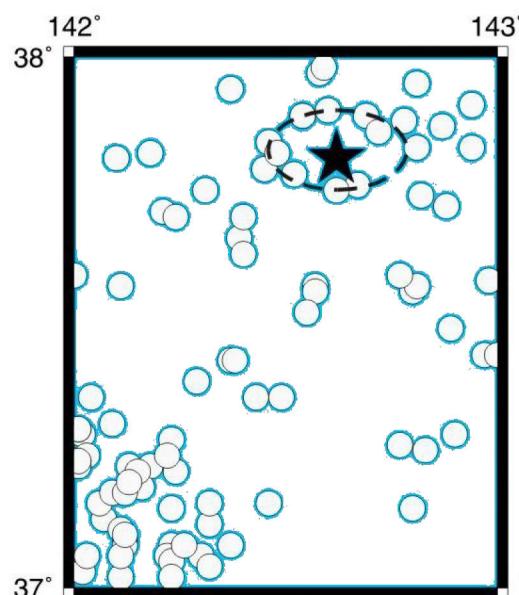
Рисунок 7. Кольцевая сейсмичность в районе между  $37.5^{\circ}$  и  $39^{\circ}$  N на различных глубинах

Перед землетрясением 31.10.2003 г. ( $M_w=7.0$ ) сформировались сравнительно малые кольца сейсмичности (рисунок 8). Узкое мелкое кольцо ( $M_p1=4.0$ ,  $L\sim 30$  км) ориентировано субширотно, а более широкое глубокое кольцо ( $M_p2=4.0$ ,  $l\sim 40$  км) вытянуто в северо-западном направлении. Эпицентр сильного землетрясения находился на расстоянии ~10 км от южной области пересечения колец.

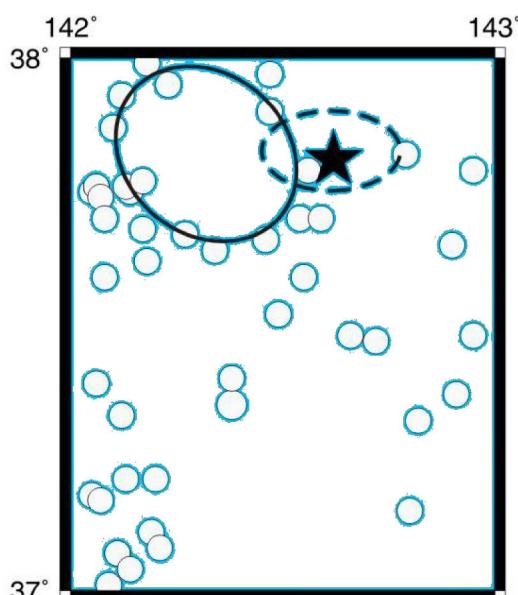
Характеристики сейсмичности в районе между  $37^{\circ}$  и  $38^{\circ}$  N представлены на рисунке 9. Здесь перед землетрясением 19.07.2008 г. ( $M_w=7.0$ ) образовались пересекающиеся кольцевые структуры: мелкая ( $M_p1=4.0$ ,  $L\sim 55$  км) и глубокая ( $M_p2=4.0$ ,  $l\sim 40$  км),

вытянутые в северо-восточном направлении. Эпицентр землетрясения 19.07.2008 г. находился на расстоянии около 10 км от северо-западной области пересечения колец.

На рисунке 10 показаны данные о сейсмичности южнее, в районе между  $36^{\circ}$  и  $37.5^{\circ}$  N. В данном случае в период с 01.01.1973 по 01.07.2009 гг. также сформировались кольцевые структуры: мелкая ( $M_p1=5.0$ ,  $L\sim 95$  км), ориентированная субширотно, и глубокая ( $M_p2=5.0$ ,  $l\sim 85$  км), вытянутая в направлении на северо-восток. Кольца сейсмичности пересекаются в области между  $141.5^{\circ}$  и  $142.1^{\circ}$  E.



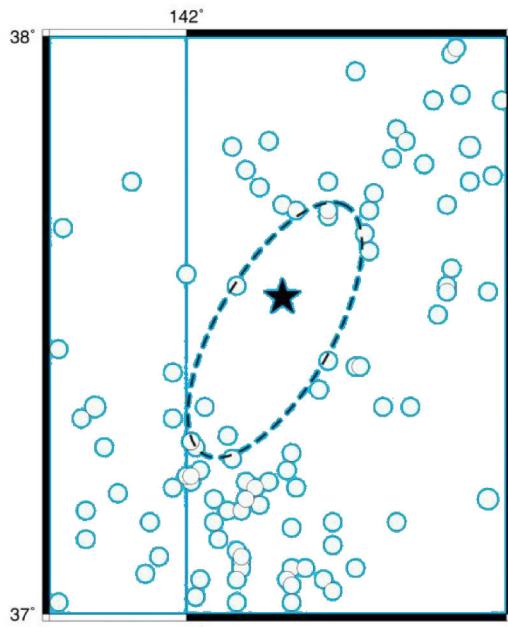
Кружок: малый – ( $4.0 \leq M < 6.0$ ); большой –  $M \geq 6.0$   
а – (0-33) км



Кружок: малый – ( $4.0 \leq M < 6.0$ ); большой –  $M \geq 6.0$   
б – (34-70) км

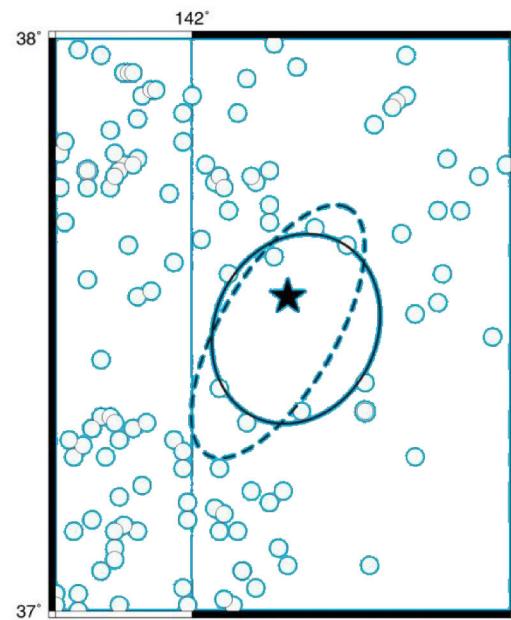
Остальные обозначения – на рисунке 2

Рисунок 8. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 31.10.2003 г. на различных глубинах



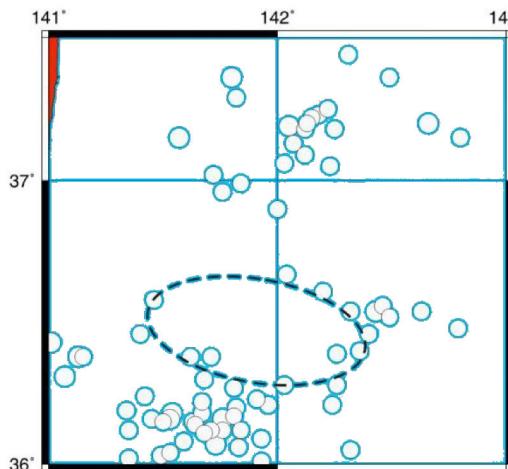
Кружок: малый –  $(4.0 \leq M < 6.0)$ ; большой –  $M \geq 6.0$   
**a** – (0-33) км

Остальные обозначения – на рисунке 2



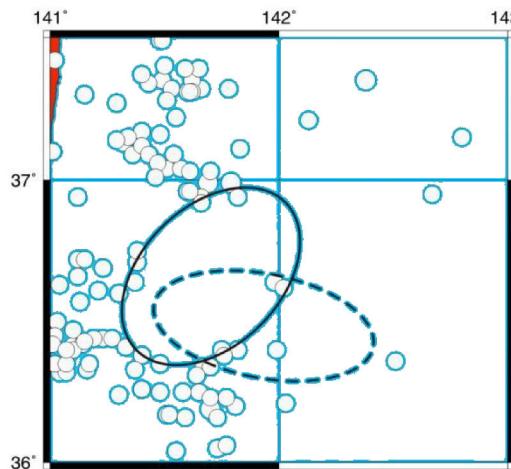
Кружок: малый –  $(4.0 \leq M < 6.0)$ ; большой –  $M \geq 6.0$   
**б** – (34-70) км

Рисунок 9. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 19.07.2008 г. на различных глубинах



Кружок: малый –  $(5.0 \leq M < 6.5)$ ; большой –  $M \geq 6.5$   
**a** – (0-33) км

Остальные обозначения – на рисунке 2



Кружок: малый –  $(5.0 \leq M < 6.5)$ ; большой –  $M \geq 6.5$   
**б** – (34-70) км

Рисунок 10. Кольцевая сейсмичность в районе между  $36^{\circ}$  и  $37.5^{\circ}$  N на различных глубинах

На рисунке 11 представлены характеристики сейсмичности в районе между  $34.5^{\circ}$  и  $36.5^{\circ}$  N. В период с 01.01.1973 по 01.07.2009. здесь проявились кольцевые структуры: мелкая ( $M_{p1}=5.2$ ,  $L \sim 130$  км), ориентированная субмеридионально, и расположенная севернее глубокая ( $M_{p2}=5.0$ ,  $l \sim 70$  км), вытянутая в направлении на запад-северо-запад. Кольца касаются друг друга в области  $\sim 35.9^{\circ}$  N. Следует заметить, что в районе между  $34.5^{\circ}$  и  $37.5^{\circ}$  N не было сильных землетрясений ( $M_w \geq 7.5$ ) после 1938 г. [5,6].

Зависимости параметров кольцевых структур от магнитуды. На рисунках 12 и 13 представлены графики  $\lg L(M_w)$  и  $\lg l(M_w)$ , построенные по данным, полученным для района северо-восточной Японии. Из рисунка 12 следует, что наблюдается увеличение размеров мелких колец с магнитудой, уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$\lg L(\text{км}) = 0.33 + 0.20 M_w, r=0.58, \quad (1)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции.

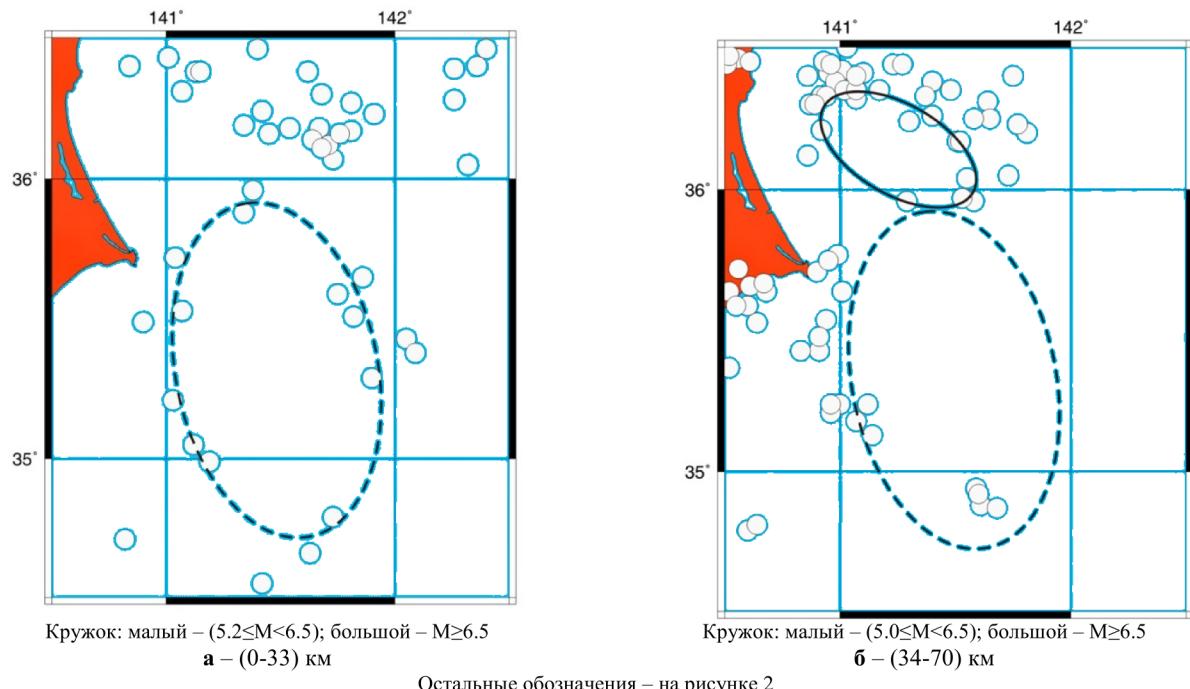


Рисунок 11 - Кольцевая сейсмичность в районе между  $34.5^{\circ}$  и  $36.5^{\circ}$  N на различных глубинах

Аналогичная зависимость для глубоких колец имеет вид:

$$\lg l(\text{км}) = 1.50 + 0.04 M_w, r=0.13. \quad (2)$$

Из полученных закономерностей следует, что в диапазоне магнитуд  $M_w=7.0 - 8.3$  наблюдается слабый рост параметра  $L$  с увеличением магнитуды при относительно высоком коэффициенте корреляции. Судя по полученным данным, зависимость величин  $L$  от  $M_w$  практически отсутствует. Следует отметить, что для района Хоккайдо и южных Курил величины  $L$  и  $l$  для землетрясений с  $M_w=8.3$  очень низкие по сравнению с районом Суматры [3].

Кроме того, размеры кольцевых сейсмических структур растут с увеличением магнитуды  $M_w$  гораздо медленнее, чем для района Суматры [3].

На рисунке 13 показаны зависимости пороговых значений магнитуд (параметров  $M_{p1}$  и  $M_{p2}$ ) от  $M_w$ . Пороговые значения магнитуд растут с увеличением  $M_w$ . Зависимости описываются следующими формулами:

$$M_{p1} = 0.76 M_w - 1.42, \quad (3)$$

коэффициент корреляции  $r=0.96$ ,

$$M_{p2} = 0.83 M_w - 1.88, \quad (4)$$

коэффициент корреляции  $r=0.96$ .

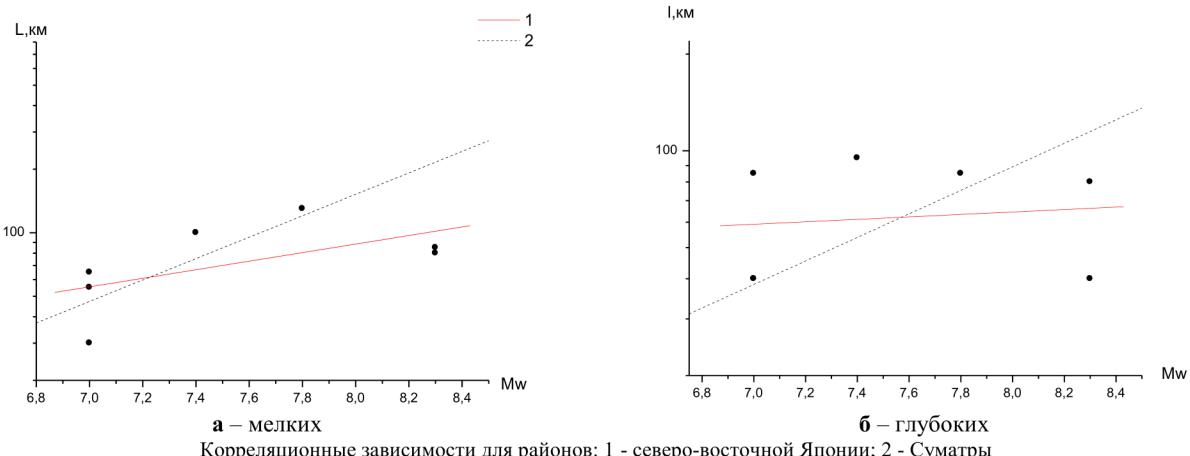


Рисунок 12. Зависимости размеров колец сейсмичности от магнитуды  $M_w$

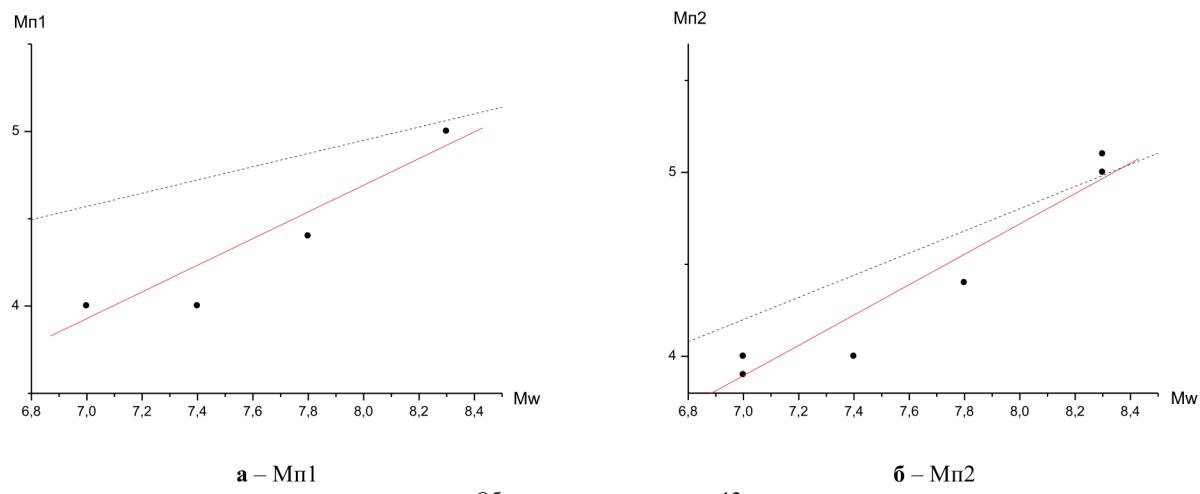


Рисунок 13. Зависимости от магнитуды  $Mw$  пороговых величин  $Mp$

В рассматриваемом диапазоне магнитуд величины  $Mp1$  и  $Mp2$  заметно ниже, чем для района Суматры, однако они растут с увеличением  $Mw$  значительно быстрее (особенно параметр  $Mp1$ ).

На рисунке 14 показаны кольцевые структуры для всего рассматриваемого района.

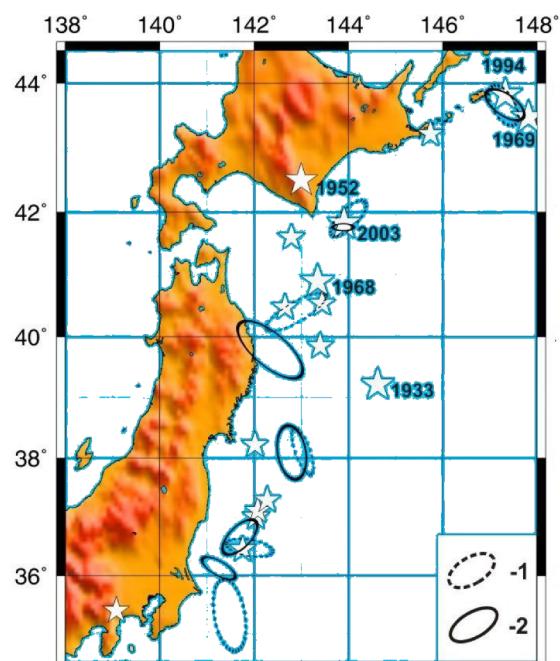
Здесь представлены данные для очагов двух землетрясений с  $Mw=8.3$  (1994 и 2003 гг.), а также для четырех зон сейсмических брешей, для которых выполнялись условия  $Mp1, Mp2 \geq 5.0$ . Видно, что мелкие и глубокие кольца заполняют полосу от  $34.5^\circ$  до  $44^\circ N$ , однако между парами колец существует довольно много пробелов, в отличие, например, от района Камчатки [4].

*Оценка магнитуд возможных землетрясений в районе северо-восточной Японии.* Для оценки энергии землетрясений, которые могут произойти в районах выявленных кольцевых структур, приведенных на рисунках 5, 7, 10 и 11, в качестве первого приближения использованы формулы 3 и 4 (применение формул 1 и 2 нецелесообразно из-за большого разброса данных). В таблице 3 указаны величины  $Mw$ , которые соответствуют пороговым значениям магнитуд в зонах сейсмических брешей.

Как видно из таблицы 3, прогнозные значения  $Mw$  для событий, возможных в этих зонах, варьируются от 8.4 до 8.8.

Таблица 3. Параметры кольцевых структур в зонах сейсмических брешей

$\phi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$Mw$	$Mp1$	$L, km$	$Mp2$	$l, km$
39 - 41	141 - 144	$8.8 \pm 0.1$	5.3	130	5.3	140
37.5 - 39.0	142 - 144	$8.4 \pm 0.1$	5.0	95	5.0	100
36.0 - 37.5	141 - 143	$8.4 \pm 0.1$	5.0	95	5.0	85
34.5 - 36.5	140.5 - 142.5	$8.5 \pm 0.2$	5.2	130	5.0	70



1 – мелкие кольца, 2 – глубокие. Остальные обозначения – на рисунке 1

Рисунок 14. Кольцевые структуры сейсмичности в районах северо-восточной Японии и южных Курил (перед землетрясениями 04.10.1994 и 25.09.2003 гг., а также в зонах сейсмических брешей)

## Обсуждение

Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе северо-западной Японии перед сильными землетрясениями формируются кольцевые структуры сейсмичности в двух диапазонах глубин, аналогично другим зонам субдукции [1-4]. Существенно, что эпицентры сильных событий здесь также располагались вблизи областей пересечения или наибольшего сближения колец сейсмичности, как это выявлено для других районов земного шара [1-4]. В [7-9] отмечалось, что появление кольцевых структур, скорее всего, связано с миграцией мантийных флюидов, играющих важную роль в процессах подготовки сильных землетрясений.

Зависимости размеров колец от магнитуды в рассматриваемом районе резко отличаются от полученных для района Суматры [3]. Из рисунка 12 следует, что в диапазоне  $Mw=7.0 - 8.3$  величины  $L$  для района северо-восточной Японии растут с увеличением магнитуды события гораздо слабее, чем для района Суматры. Большой разброс данных для величин  $l$  не позволяет сравнивать их с данными для других районов.

Существенно, что кольцевые структуры выделены в четырех зонах сейсмических брешей, где, начиная с 1900 г. не было землетрясений с  $Mw \geq 8.0$  [6]. Из таблицы 3 следует, что наибольшие прогнозные величины  $Mw$  ( $8.8 \pm 0.1$ ) соответствуют самой северной зоне, расположенной между  $39^\circ$  и  $41^\circ$  N. Для этой зоны наблюдаются максимальные значения  $L$  и  $l$ , а также  $Mp1$  и  $Mp2$ . Кроме того, на границах мелкого и глубокого колец здесь зарегистрированы достаточно сильные землетрясения (с магнитудами 7.8 и 7.4, соответственно). Следует заметить, что в мелкое кольцо частично входят зоны «зацепов» (asperities), на которых выделилась значительная часть сейсмических моментов землетрясений 1968 и 1994 гг. [10]. В то же время глубокое кольцо попадает в район высокой скорости скольжения погружающейся тихоокеанской плиты [11]. В таких районах, как правило, не бывает сильных тектонических землетрясений, поскольку напряжения разряжаются в результате крипа [10, 11]. В связи с этим можно ожидать, что готовящийся очаг, скорее всего, должен распространяться к северу от одной из областей пересечения колец, вблизи которых обычно располагаются эпицентры сильных землетрясений на активных континентальных окраинах [1 - 4]. Прогнозная величина  $Mw$  для этой зоны, возможно, завышена, поскольку в материале обучения (рисунок 13) отсутствуют величины  $Mp1$ ,  $Mp2 > 5.1$ .

## 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. АН. – 2009. – Т. 425. № 4.
2. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в зонах субдукции / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2009. – Вып. 1.
3. Копничев, Ю.Ф. Кольцевая сейсмичность в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районе Суматры / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2009. – Вып. 3.

Еще одна зона, где, вероятно, идут процессы подготовки достаточно сильного землетрясения, расположена в районе между  $34.5^\circ$  и  $36.5^\circ$  N (рисунок 11, таблица 3). Здесь выделяется мелкое кольцо довольно большого размера с высоким пороговым значением  $Mp1$ . Однако в этом районе кольцо проявились пока гораздо менее четко, чем к северу от  $40^\circ$  N. Кроме того, глубокое кольцо в этом районе имеет сравнительно небольшие размеры и более низкое значение  $Mp2$ . В связи с этим можно полагать, что здесь готовится менее сильное землетрясение, чем в районе между  $39^\circ$  и  $41^\circ$  N. Аналогичный вывод можно сделать и для двух других районов, где кольцевые структуры характеризуются относительно низкими величинами  $L$ ,  $l$  и  $Mp1$ ,  $Mp2$  (рисунки 7 и 10, таблица 3). Интересно, что это заключение согласуется с имеющимися данными об инструментально зарегистрированных событиях – наиболее сильное межплитовое землетрясение к востоку от о. Хонсю (Токачи-оки 16.05.1968 г.) произошло в районе самой северной зоны подготовки сильного сейсмического события. Необходимо подчеркнуть, что приведенные в таблице 3 оценки магнитуд возможных землетрясений следует рассматривать лишь в качестве первого приближения, поскольку, во-первых, корреляционные зависимости 3 и 4 получены по небольшому числу данных и, во-вторых, как следует из рисунка 14, не исключено, что для района о. Хонсю должны наблюдаться иные зависимости, чем для района о. Хоккайдо и южных Курил.

Интересно, что наибольшие размеры колец сейсмичности, а также максимальные величины  $Mp1$  и  $Mp2$  в районе северо-восточной Японии существенно ниже, чем в районах Суматры [3] и Камчатки [4]. Это позволяет объяснить, почему самые сильные зарегистрированные землетрясения в районе северо-восточной Японии ( $Mw=8.3-8.4$ ) значительно слабее, чем в двух других зонах субдукции ( $Mw=9.0$ ). Как было отмечено ранее, мелкие кольца оконтуривают сравнительно жесткие блоки, в которых накапливается энергия упругой деформации [8, 9]. В этом случае рост размеров колец и величин  $Mp1$  и  $Mp2$  соответствует увеличению накопленной упругой энергии, а, следовательно, и энергии, выделенной при разрядке напряжений во время землетрясения.

Данные, приведенные в статье, а также в других аналогичных работах [1 - 4] могут быть использованы для выделения зон подготовки сильных землетрясений, а также прогноза их энергии в других зонах субдукции.

4. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин в районах Курил и Камчатки / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2009. – Вып. 3.
5. Pacheko, J. Seismic moment catalog of large shallow earthquakes, 1900 to 1989 / J. Pacheko L. Sykes // Bull. Seismol. Soc. Amer. – 1992. – V.82, N 3. – P. 1306 – 1349.
6. Engdahl, E. Global seismicity: 1900-1999. In: Earthquake & engineering seismology. Part A. / E. Engdahl, A. Villaseñor // Academic Press. An imprint of Elsevier Science – 2002. – P.665 – 690.
7. Yamasaki, T. Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab / T.Yamasaki, T. Seno // J. geophys. Res. – 2003. – V. 108, N B4. doi: 10.1029/2002JB001918.
8. Копничев, Ю.Ф. Характеристики сейсмичности и поля поглощения S-волн в районе очага Суматринского землетрясения 26 декабря 2004 г. / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. – 2008. – Т. 422, № 5. – С. 672 – 676.
9. Копничев, Ю.Ф. О природе кольцевой сейсмичности перед сильными землетрясениями: связь с мантийными флюидами / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы. Сб. докладов. Бишкек. – 2008. – С. 331 – 335.
10. Yamanaka, Y. Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data / Y. Yamanaka, M. Kikuchi // J. Geophys. Res. – 2004. – V.109, B 07 (doi: 10.1029/2003JB002683).
11. Suwa, Y. Interplate coupling beneath NE Japan inferred from three-dimensional displacement field / Y.Suwa, S. Miura, A.Hasegawa, T. Sato, K. Tachibana // J. . Geophys. Res. – 2006. – V.111, B 04402 (doi: 10.1029/2004JB003203).

## СОЛТУСТІК ШЫҒЫС ЖАПОНІЯ АУДАНЫНДА ТЕРЕНДІГІНІЦ ӘР АУҚЫМДАРЫНДА САҚИНАЛЫ СЕСМИКАЛЫҒЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ

<sup>1,2)</sup>Копничев Ю.Ф., <sup>1)</sup>Соколова И.Н.

<sup>1)</sup>КР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты, Алматы, Қазақстан

<sup>2)</sup>PFA O.YU. Шмидт атындағы Жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей

1993 - 2007 ж.ж. болған  $M_w=(7.0-8.3)$  қатты және өте қатты жерсілкінүлер алдында солтұстік Жапония ауданданында 0 - 33 және 34 - 70 км. терендіктер ауқымында, сондай-ақ сейсмикалық құystар зоналарында сейсмикалығының сипаттамалары талдануда. Басты жерсілкінүлердің эпиорталықтары айқындалған сақиналы құрылымдар қылышы немесе олар жақындалған белдемдерінде бар болғандары көрсетілген. Суматра және Камчатка аудандарымен ұқсастығы бойынша, магнитудаларының табалдырықтық мәндері туралы деректерін талдау негізінде, сейсмикалық құystар зоналарында дайындалудағы жерсілкінүлердің магнитудаларын болжамды бағалауы жасалған. Жақын жылдарда онда қатты жерсілкінүлер болуы ықтимал сейсмикалық құystар зоналары бөлінген

## PECULIARITIES OF RING-SHAPED SEISMICITY IN VARIOUS DEPTH RANGES IN THE REGION OF NORTH-EASTERN JAPAN

<sup>1,2)</sup> Yu.F. Kopnichev, <sup>1)</sup>I.N. Sokolova

<sup>1)</sup>Institute of Geophysical Research NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

<sup>2)</sup>O.Yu. Shmidt Institute of the Earth's Physics RAS, Moscow, Russia

Results of seismicity analysis in the region of north-eastern Japan at the depth ranges of 0 - 33 and 34 - 70 km prior to large and great earthquakes with  $M_w=(7.0-8.3)$  which occurred in 1989 - 2008 and also in the areas of seismic gaps are given. It was shown that the epicenters of main earthquakes were located close to intersection areas or to the most rapprochement of the distinguished ring structures. Estimates of magnitudes of the prepared earthquakes in the areas of seismic gaps were made according to analogy with Sumatra and Kamchatka regions and based on data analysis of magnitude threshold values within ring structure areas. Seismic gap area was distinguished where large earthquake is most probable in the near future.