

УДК 550.34

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬЦЕВОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ГЛУБИН В РАЙОНАХ КУРИЛ И КАМЧАТКИ

^{1,2)}Копничев Ю.Ф., ¹⁾Соколова И.Н.¹⁾Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан²⁾Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

Анализируются характеристики сейсмичности в районах центральных, северных Курил и Камчатки в диапазонах глубин 0 - 33 и 34 - 70 км перед сильными и сильнейшими землетрясениями с $M_w=7.0 - 8.3$, произошедшими в 1993 - 2007 гг., а также в зонах сейсмических брешей. Выделены кольцевые структуры сейсмичности для обоих диапазонов глубин. По аналогии с районом Суматры, на основании анализа данных о размерах колец сейсмичности сделаны прогнозные оценки магнитуд готовящихся землетрясений в зонах сейсмических брешей. Проведено сопоставление этих данных с долгосрочными прогнозами других авторов.

В [1 - 3] показано, что перед сильными и сильнейшими землетрясениями в зонах субдукции формируются кольцевые структуры сейсмичности в разных диапазонах глубин. Установлено, что размеры этих структур в целом растут в соответствии с магнитудой готовящегося землетрясения. Это позволяет использовать методику выделения кольцевых структур для выявления потенциальных мест следующих землетрясений и прогноза их энергии. В статье рассматриваются характеристики сейсмичности в районах Курил и Камчатки, где, согласно долгосрочному прогнозу С.А. Федотова и др. [4], достаточно высока вероятность землетрясений с $M \geq 7.7$ в ближайшие годы.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

Данные по исторической сейсмичности рассмотрены для района между 46° и 56.5° N. Здесь, начиная с 1900 г., произошел ряд сильных землетрясений с $M_w \geq 7.8$ (таблица 1): 1923 г. ($M_w=8.5$), 1952 г. ($M_w=9.0$), 1959 г. ($M_w=8.0$), 2006 г. ($M_w=8.3$) и 2007 г. ($M_w=8.1$).

Таблица 1. Сильные землетрясения
в районе Курило-Камчатской дуги с начала XX века

Дата	φ°, N	λ°, E	h, км	M_w
05.01.1915	47.50	154.50	35	7.9
03.02.1923	53.85	160.76	35	8.5
04.11.1952	52.75	159.50	—	9.0
04.05.1959	53.37	159.66	35	8.0
15.12.1971	56.02	163.17	22	7.8
05.12.1997	54.80	162.00	37	7.8
15.11.2006	46.59	153.27	10	8.3
13.01.2007	46.24	154.52	10	8.1

Великое Камчатское землетрясение 4 ноября 1952 г. было четвертым по силе сейсмическим событием XX-го века с очагом, имевшим размер ~ 600 км. Землетрясение вызвало цунами, распространившееся по всему Тихому океану. Великое землетрясение 1737 г., скорее всего, было предшественником события 1952 г., исходя из чего можно предполагать, что период повторяемости таких землетрясений ~ 200 лет [5]. По данным [4], средний период повторяемости событий с $M \geq 7.7$ в районе всей Курило-Камчатской дуги составляет 140 ± 60 лет. В течение послед-

них 50 лет в районах северных Курил и Камчатки событий с $M_w > 7.8$ не было, тогда как в районах южных и центральных Курил в 1963 - 2007 гг. произошло 5 землетрясений с $M_w > 8.0$.

МЕТОДИКА И ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ

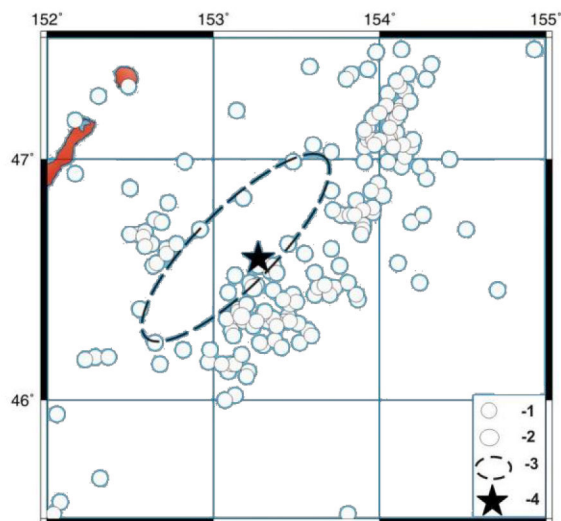
Характеристики сейсмичности рассмотрены для районов центральных, северных Курил и Камчатки между 45.5° и 56.5° N и для диапазонов глубин 0 - 33 и 34 - 70 км. Использованы данные с 01.01.1973 г. из каталогов землетрясений NEIC (National Event Information Center, каталог Геологической службы США). Анализировались данные о землетрясениях, произошедших в окрестностях будущих очаговых зон, с магнитудами $M \geq M_{п1}$ и $M \geq M_{п2}$, где пороговое значение магнитуды $M_{п1}$ - варьировалось от 4.5 до 5.5 для первого, а $M_{п2}$ от 4.2 до 5.3 для второго диапазона глубин (таблица 2). При этом выбирался временной интервал с 01.01.1973 до дня, предшествовавшего главному событию. Обработаны данные о сейсмичности перед 5 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 течение многих десятиков лет не было землетрясений с $M_w \geq 7.8$ (для этих зон рассматривались события до 01.01.2009).

Таблица 2. Район Курило-Камчатской дуги.
Перечень землетрясений, по которым
исследованы характеристики сейсмичности

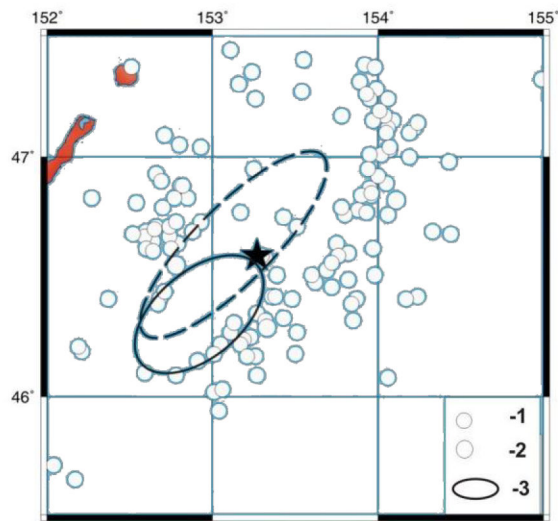
Дата	φ°, N	λ°, E	h, км	M_w
13.11.1993	51.93	158.65	34	7.0
05.12.1997	54.80	162.00	37	7.8
15.11.2006	46.59	153.27	10	8.3
13.01.2007	46.24	154.52	10	8.1
15.01.2009	46.86	155.15	36	7.4

АНАЛИЗ ДАННЫХ

Центральные Курилы. Здесь в 2006 - 2009 гг. произошло три сильных землетрясения с $M_w=7.4 - 8.3$. На рисунке 1 показаны характеристики сейсмичности за период 01.01.1973 - 14.11.2006 в районе очага сильнейшего землетрясения, произошедшего 15.11.2006 ($M_w=8.3$).



Эпицентры землетрясений с магнитудами: 1 – ($5.0 \leq M < 6.0$); 2 – $M \geq 6.0$. 3 – мелкое кольцо, 4 – эпицентр главного события
а – (0 – 33) км



Эпицентры землетрясений с магнитудами: 1 – ($4.7 \leq M < 6.0$); 2 – $M \geq 6.0$. 3 – глубокое кольцо.
б – (34 – 70) км

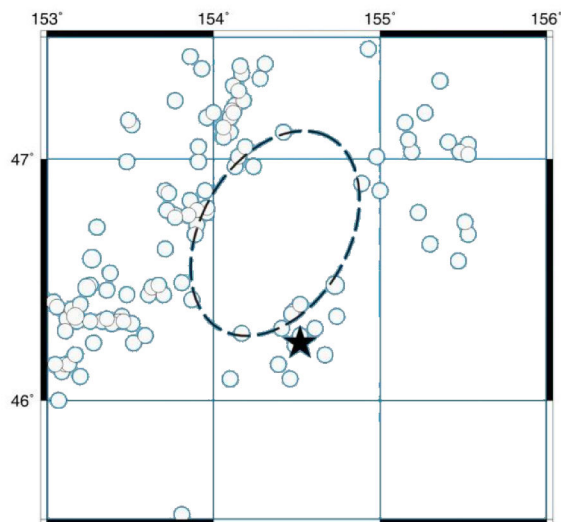
Рисунок 1. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 15.11.2006 в районе центральных Курил ($M_w=8.3$) на различных глубинах

Из рисунка 1 следует, что перед событием 15.11.2006 как в диапазоне глубин 0 – 33 км ($M_{п1}=5.0$), так и в диапазоне глубин 34 – 70 км ($M_{п2}=4.7$) сформировались кольцевые структуры с осями северо-восточного направления и длиной больших осей $L \sim 120$ км и $l \sim 70$ км, соответственно. Далее для краткости и по аналогии с [1-3], кольца, сформированные в первом диапазоне глубин, названы «мелкими», а во втором – «глубокими».

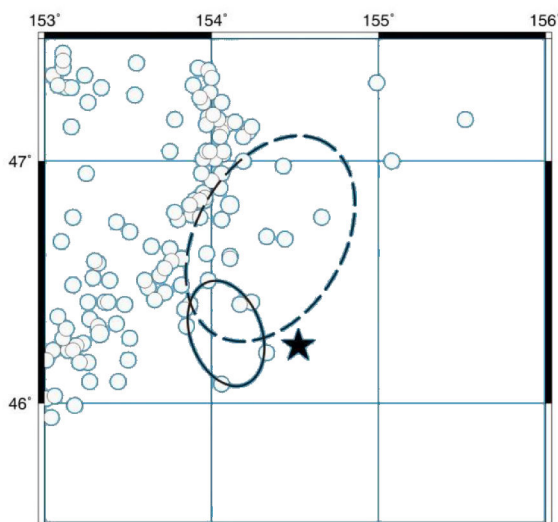
Как видно из рисунка 1, эпицентр главного землетрясения расположен вблизи северо-восточной области пересечения колец на удалении от нее $r \sim 10$ км.

На рисунке 2 представлены аналогичные данные для очаговой зоны сильного землетрясения 13.01.2007 ($M_w=8.1$), которое произошло к юго-востоку от очага 15.11.2006.

В данном случае ярко проявилась мелкая кольцевая структура ($M_{п1}=5.2$, $L \sim 100$ км), ориентированная в северо-северо-восточном направлении. Глубокое кольцо, выраженное менее отчетливо, расположено на южной границе мелкого кольца ($M_{п2}=4.5$, $l \sim 50$ км). Следует отметить, что эпицентр сильного землетрясения находился на расстоянии $r \sim 15$ км от восточной области пересечения колец.



Кружок: малый – ($5.2 \leq M < 6.5$); большой – $M \geq 6.5$
а – (0 – 33) км



Кружок малый – ($4.5 \leq M < 6.0$)
б – (34 – 70) км

Остальные обозначения – на рисунке 1

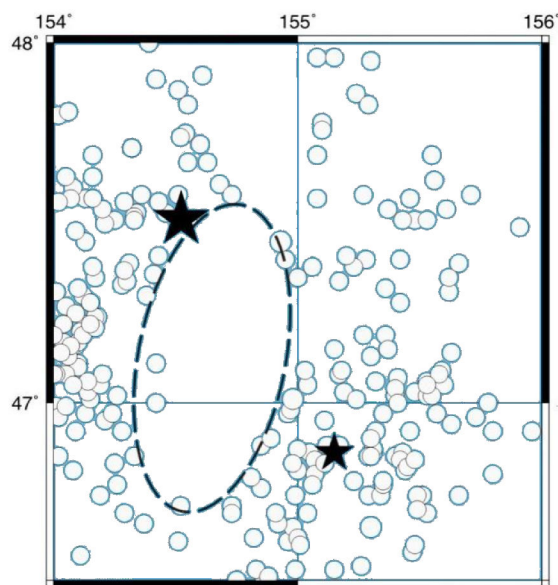
Рисунок 2. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 13.01.2007 в районе центральных Курил ($M_w=8.1$) на различных глубинах

Рисунок 3 иллюстрирует данные о сейсмичности района очага перед землетрясением 15.01.2009 ($M_w=7.4$) за период до 14.01.2009.

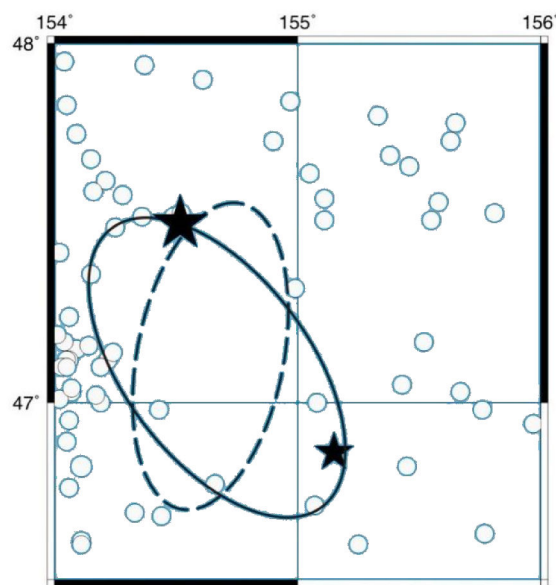
Видно, что здесь также сформировались кольцевые структуры: мелкая ($M_{p1}=4.8$, $L\sim 95$ км), ориентированная в субмеридиональном направлении, и глубокая ($M_{p2}=4.2$, $l\sim 110$ км), вытянутая в северо-западном направлении. В данном случае эпицентр землетрясения с $M_w=7.4$ ($h=34$ км) располагался на границе глубокого кольца, на расстоянии ~ 20 км от

мелкого кольца и относительно далеко от южной области пересечения колец ($r\sim 40$ км). Интересно, что эпицентр сильного землетрясения 05.01.1915 ($M_w=7.9$) находился вблизи северной области пересечения колец.

Северные Курилы. На рисунке 4 показана сейсмичность в районе к северу от очаговых зон двух землетрясений: 15.11.2006 и 13.01.2007.



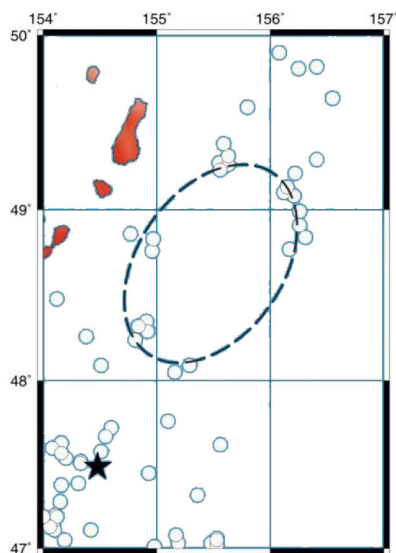
Кружок малый – ($4.8 \leq M < 6.0$)
а – (0 – 33) км



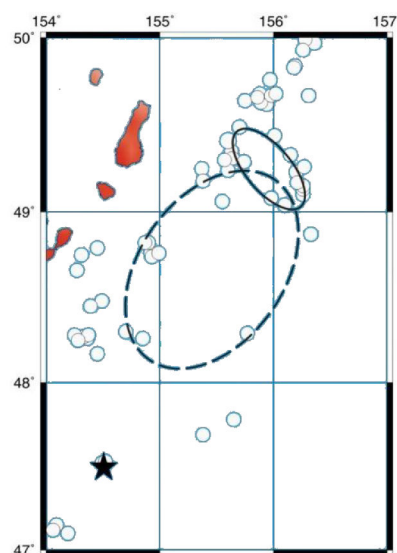
Кружок малый – ($4.2 \leq M < 6.0$)
б – (34 – 70) км

Малая и большая звездочки – эпицентры землетрясений 15.01.2009 и 05.01.1915, соответственно. Остальные обозначения – на рисунке 1

Рисунок 3. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 15.01.2009 в районе центральных Курил ($M_w=7.4$) на различных глубинах



Кружок: малый – ($5.4 \leq M < 6.5$); большой – $M \geq 6.5$
а – (0 – 33) км
Звездочка – эпицентр землетрясения 05.01.1915. Остальные обозначения – на рисунке 1



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

Рисунок 4. Кольцевая сейсмичность в районе северных Курил на различных глубинах

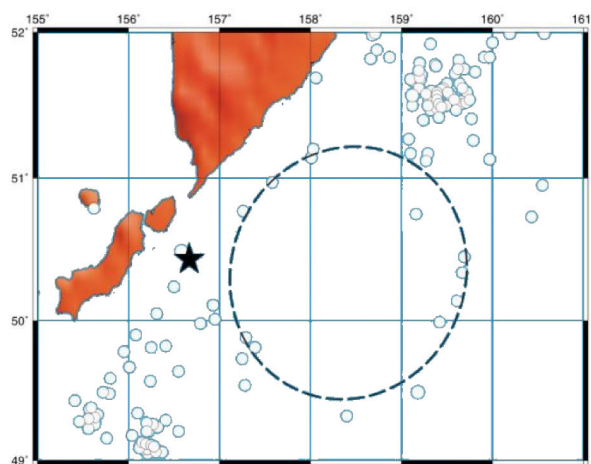
Здесь к 01.01.2009 сформировались мелкое кольцо ($M_{п1}=5.4$, $L \sim 140$ км) и глубокое кольцо ($M_{п2}=5.3$, $l \sim 50$ км), вытянутые соответственно в северо-северо-восточном (вдоль Курило-Камчатской дуги) и северо-западном направлениях. Глубокое кольцо пересекает северо-восточный край мелкого кольца.

На рисунке 5 представлен характер сейсмичности в южной части очаговой зоны сильнейшего Камчатского землетрясения 4 ноября 1952 г. ($M_w=9.0$). Афтершоковая область этого землетрясения располагалась примерно между 49° и 53° N.

Из рисунка 5 следует, что к 01.01.2009 в изучаемом районе сформировалось мелкое кольцо почти

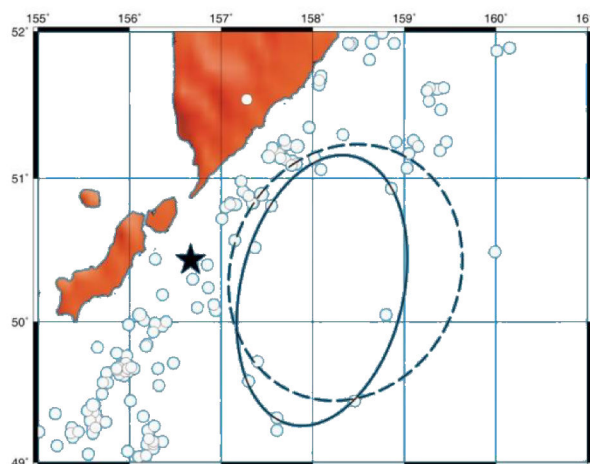
круговой формы ($M_{п1}=5.0$, $L \sim 200$ км) с большой осью, вытянутой в северо-северо-восточном направлении, и глубокое кольцо ($M_{п2}=5.0$, $l \sim 210$ км), ориентированное субмеридионально. Большая часть глубокого кольца находится внутри мелкого. Следует отметить, что вблизи западной границы мелкого кольца располагалась очаговая зона Парамуширского землетрясения 28.02.1973 г. ($M_w=7.1$, $h=27$ км).

Камчатка. Рисунок 6 иллюстрирует характеристики сейсмичности, проявившейся в районе Южной Камчатки, между 51° и 52.5° N в период 01.01.1973 – 12.11.1993 перед землетрясением 13.11.1993 ($M_w=7.0$).



а – (0 – 33) км

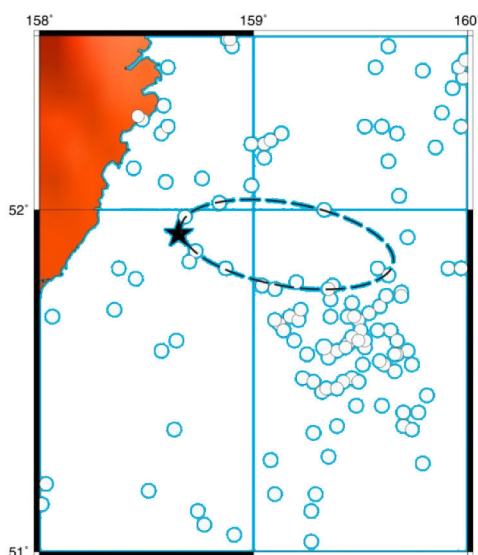
Звездочка – эпицентр землетрясения 28.02.1973. Остальные обозначения – на рисунке 1



Кружок малый – ($5.0 \leq M < 6.0$)

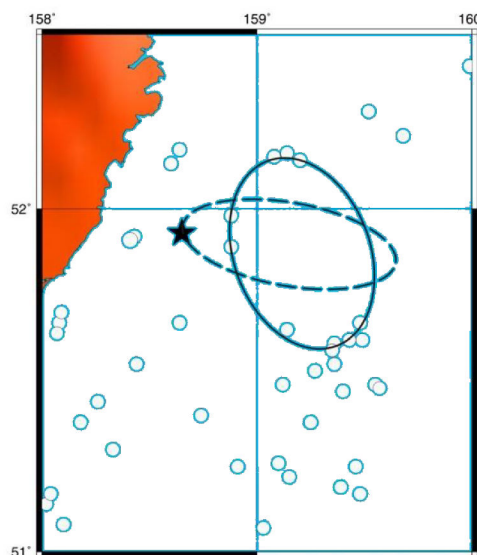
б – (34 – 70) км

Рисунок 5. Кольцевая сейсмичность в районе северных Курил и южной Камчатки на различных глубинах



Кружок малый – ($4.5 \leq M < 6.0$)

а – (0 – 33) км



Кружок малый – ($4.6 \leq M < 6.0$)

б – (34 – 70) км

Остальные обозначения – на рисунке 1

Рисунок 6. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 13.11.1993 в районе южной Камчатки ($M_w=7.0$) на различных глубинах

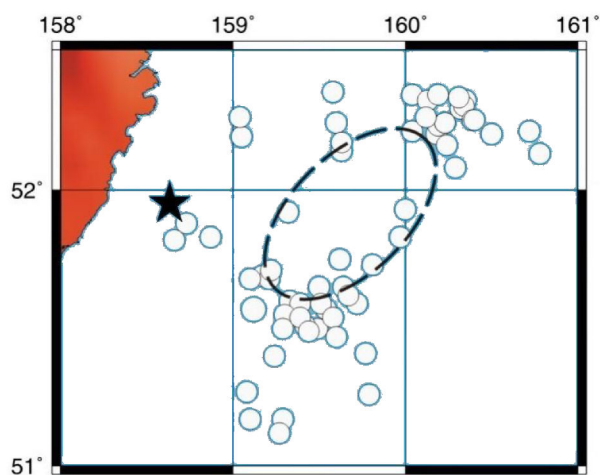
Перед землетрясением образовались мелкое кольцо ($M_{п1}=4.5$, $L\sim 70$ км), вытянутое в субширотном направлении, и проявившееся менее четко глубокое кольцо ($M_{п2}=4.6$, $l\sim 65$ км), большая ось которого ориентирована в северо-северо-западном направлении. Эпицентр землетрясения 13.11.1993 находился на границе мелкого кольца, на расстоянии около 20 км от северо-западной области пересечения колец. На рисунке 7 показана сейсмичность в районе к востоку от зоны, рассмотренной в предыдущем случае, в период 01.01.1973 – 01.01.2009.

Из рисунка 7 видно, что в этом районе южной Камчатки сформировалось мелкое кольцо ($M_{п1}=5.3$, $L\sim 85$ км), ориентированное в направлении на северо-

восток, и глубокое кольцо ($M_{п2}=4.8$, $l\sim 55$ км), вытянутое в направлении на северо-северо-восток. Глубокое кольцо пересекает северо-восточный край мелкого.

На рисунке 8 показаны сейсмические структуры, расположенные дальше на север, в районе между 52° и 53.5° N.

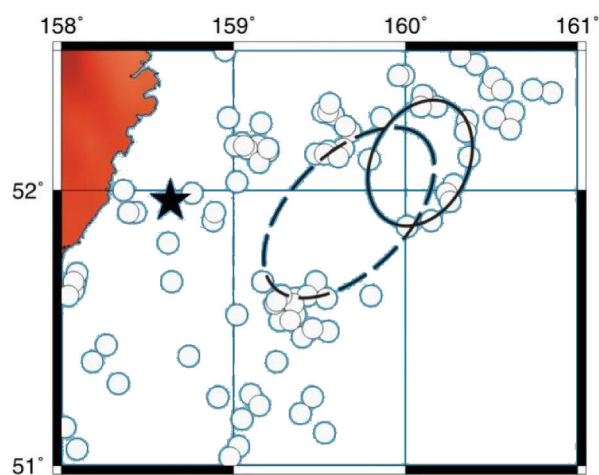
Здесь к началу 2009 г. образовалось почти круговое мелкое кольцо ($M_{п1}=5.5$, $L\sim 95$ км) и к северу от него небольшое глубокое ($M_{п2}=5.2$, $l\sim 45$ км), ориентированное в направлении на северо-запад. Кольца касаются друг друга в районе $\sim 52.9^\circ$ N, к югу от Шипунского полуострова. Рисунок 9 иллюстрирует характеристики сейсмичности в еще более северном районе, ограниченном координатами $52-54^\circ$ N, $159-163^\circ$ E.



Кружок малый – ($5.3 \leq M < 6.5$); большой – $M \geq 6.5$

а – (0 – 33) км

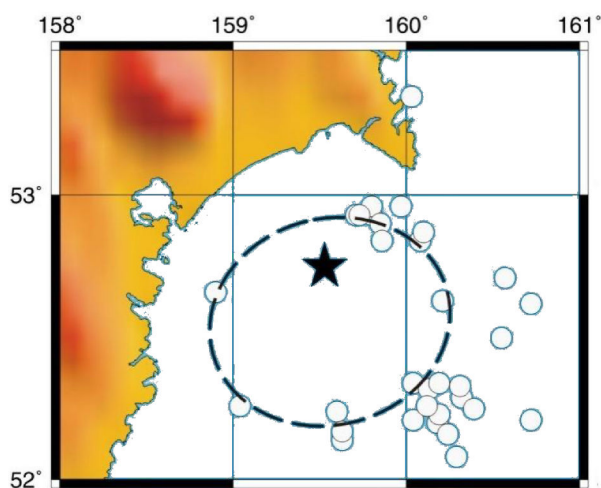
Звездочка – эпицентр землетрясения 13.11.1993. Остальные обозначения – на рисунке 1



Кружок малый – ($4.8 \leq M < 6.0$)

б – (34 – 70) км

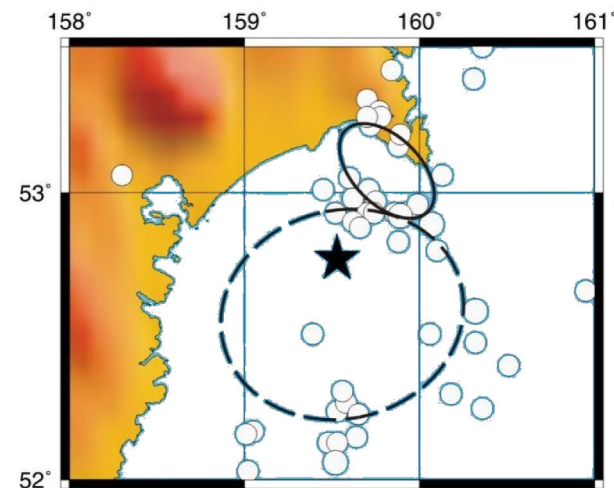
Рисунок 7. Кольцевая сейсмичность в районе южной Камчатки на различных глубинах



Кружок: малый – ($5.5 \leq M < 6.5$); большой – $M \geq 6.5$

а – (0 – 33) км

Звездочка – эпицентр Камчатского землетрясения 04.11.1952. Остальные обозначения – на рисунке 1



Кружок; малый – ($5.2 \leq M < 6.5$); большой – $M \geq 6.5$

б – (34 – 70) км

Рисунок 8. Кольцевая сейсмичность в районе южной Камчатки на различных глубинах

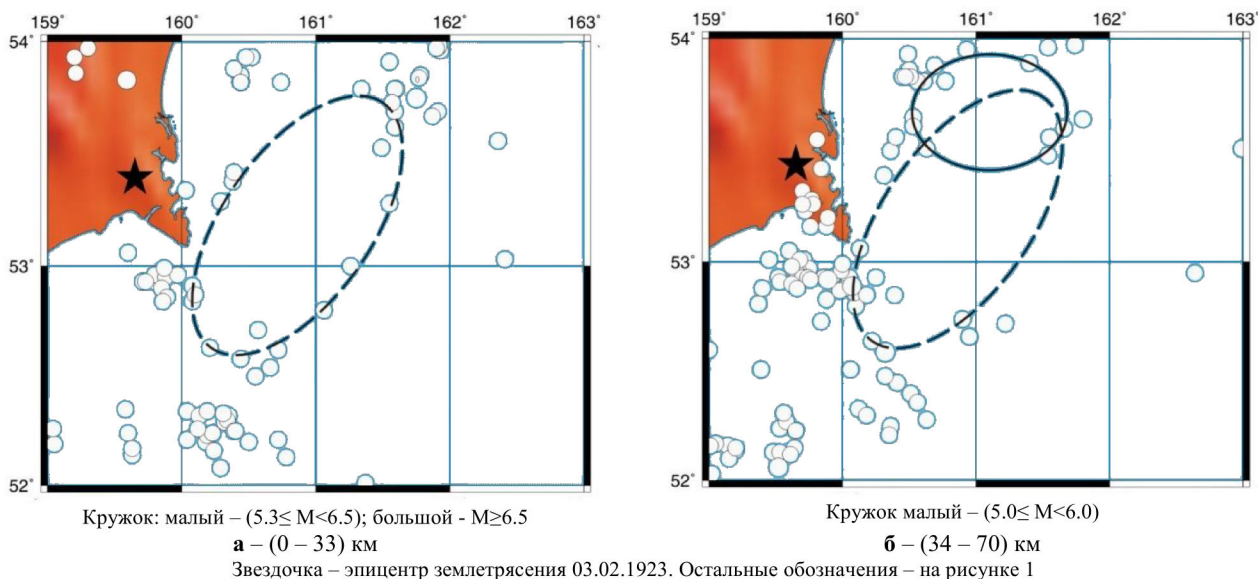


Рисунок 9. Кольцевая сейсмичность в районе южной Камчатки на различных глубинах

Здесь сформировались довольно протяженное мелкое кольцо ($M_{п1}=5.3$, $L \sim 150$ км), вытянутое параллельно глубоководному желобу, и глубокое ($M_{п2}=5.0$, $l \sim 80$ км), субширотной ориентации. Структуры пересекаются на северо-восточном краю мелкого кольца. Следует отметить, что на западе мелкое кольцо касается и другого глубокого кольца (рисунок 8).

На рисунке 10 показаны сейсмические структуры в районе центральной Камчатки, между 53° и 55° N.

Здесь выделяются мелкое кольцо ($M_{п1}=5.3$, $L \sim 110$ км), ориентированное в северо-восточном направлении, и глубокое кольцо ($M_{п2}=5.0$, $l \sim 90$ км), вытянутое субмеридионально. Следует отметить, что глубокое кольцо к 01.01.2009 проявилось менее четко, чем мелкое. Кольца пересекаются на севере в районе Кроноцкого полуострова.

На рисунке 11 представлена характеристика сейсмичности в районе между 54° и 55.5° N, сформировавшейся в период 01.01.1973 – 04.12.1997, перед Кроноцким землетрясением 05.12.1997 ($M_w=7.8$).

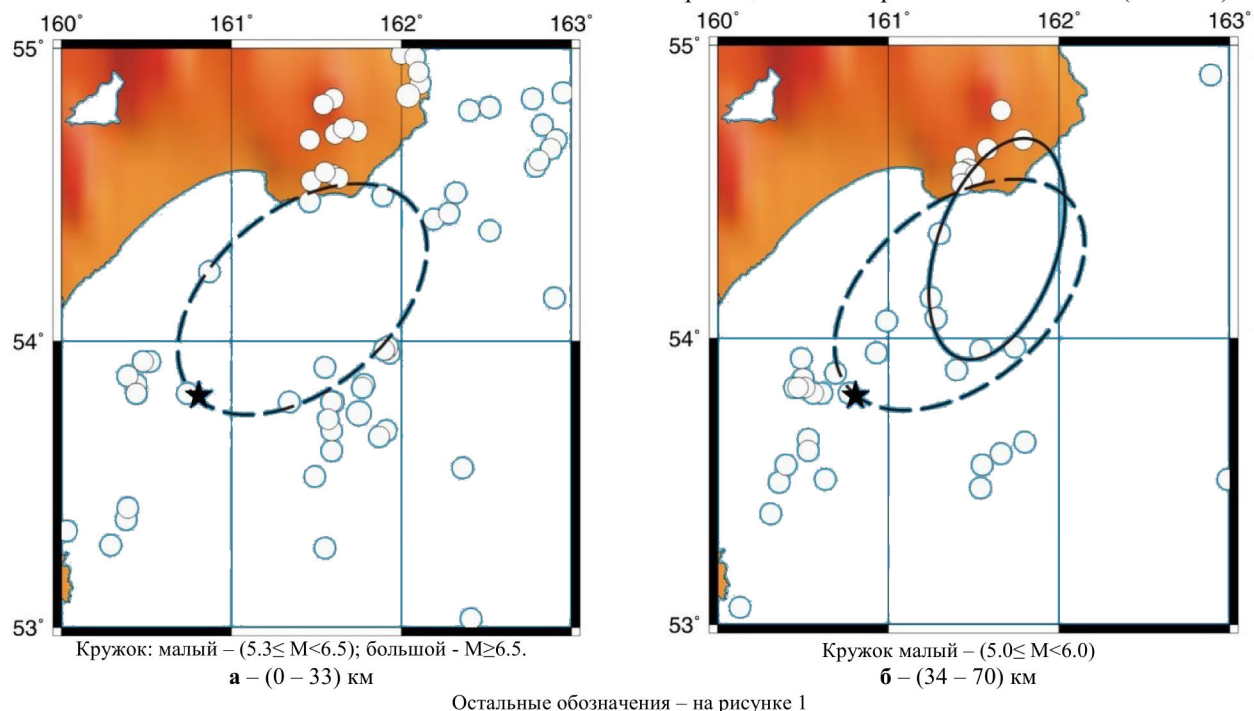


Рисунок 10. Кольцевая сейсмичность в районе центральной Камчатки на различных глубинах

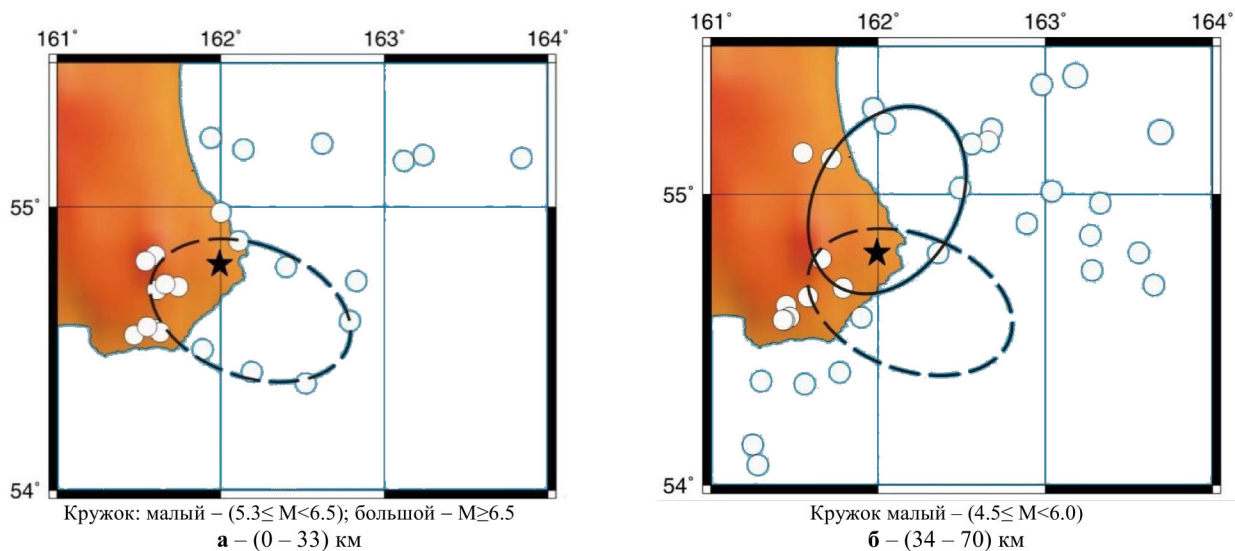


Рисунок 11. Кольцевая сейсмичность перед Кроноцким землетрясением 05.12.1997 ($M_w=7.8$) в районе центральной Камчатки на различных глубинах

В данном случае хорошо проявилось мелкое кольцо ($M_{п1}=5.3$, $L \sim 85$ км), вытянутое в запад-северо-западном направлении, и менее четко – глубокое кольцо ($M_{п1}=4.5$, $l \sim 75$ км), ориентированное почти нормально к мелкому. Кольца пересекаются также в районе Кроноцкого полуострова. Следует отметить, что эпицентр Кроноцкого землетрясения находился на расстоянии ~ 25 км от обеих областей пересечения кольцевых структур. Через 11 лет, как это следует из рисунка 12, картина поля сейсмичности заметно изменилась.

Сформировалось более четко выраженное мелкое кольцо – практически той же длины, но относительно более узкое, ориентированное субширотно. На границу этого кольца как раз и приходится эпицентр Кроноцкого землетрясения. Более ярко оконтурено и глубокое кольцо ($M_{п2}=4.5$, $l \sim 60$ км). Обращает на себя внимание, что области пересечения колец остались практически в тех же местах (рисунки 11, 12).

На рисунке 13 показаны структуры сейсмичности к югу от Камчатского полуострова, в районе между 55° и 56.5° N.

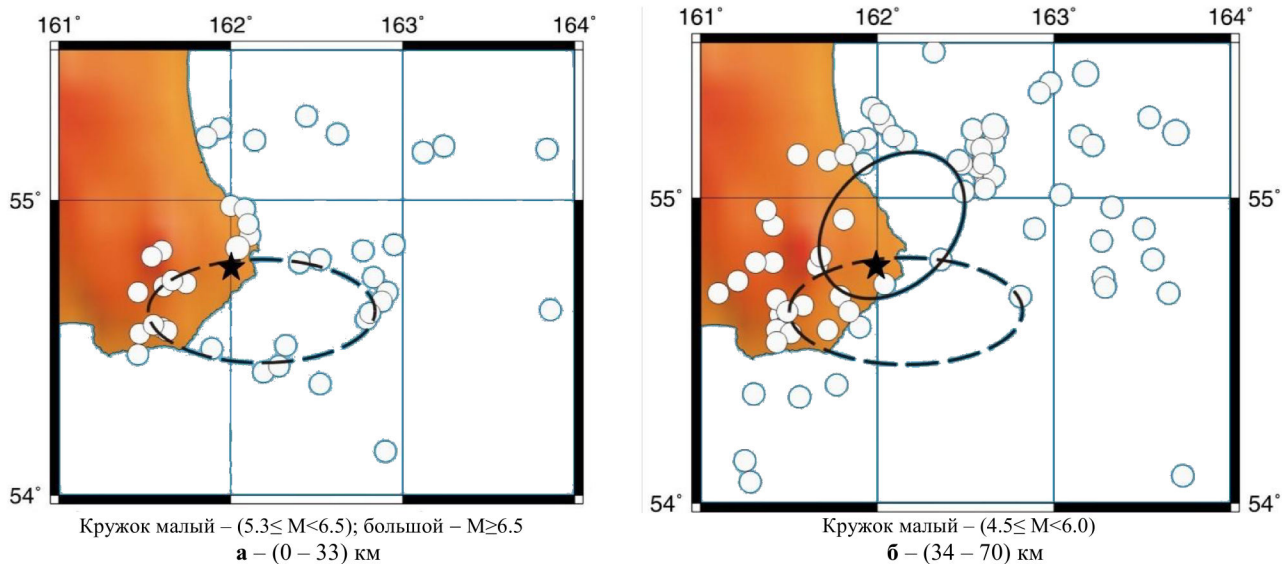


Рисунок 12. Кольцевая сейсмичность в районе центральной Камчатки на глубинах

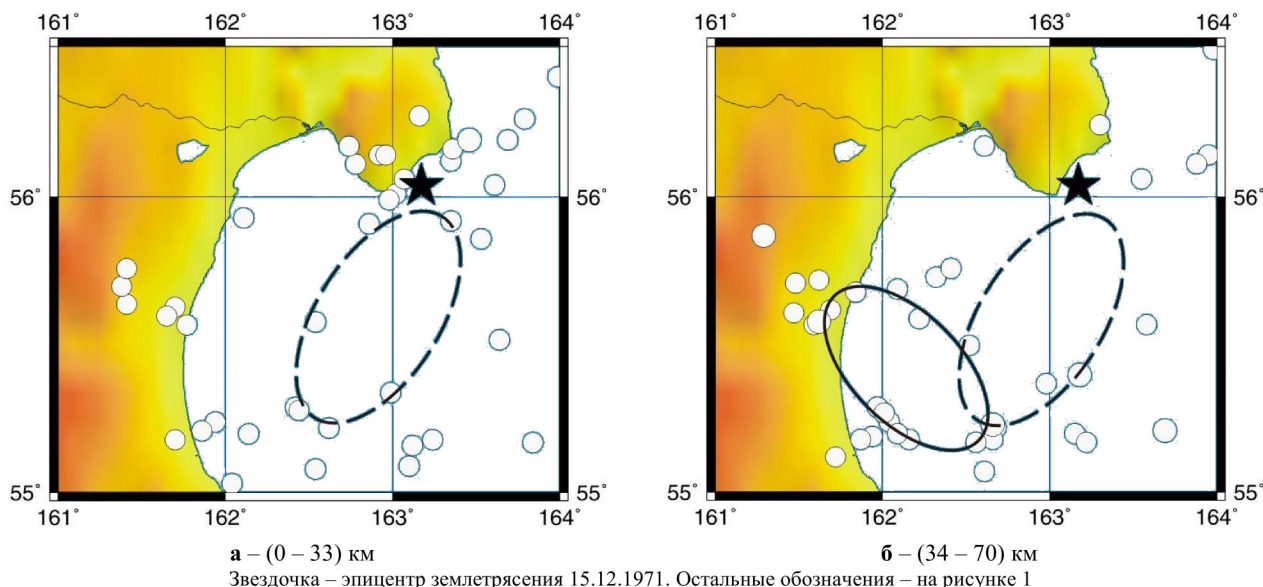


Рисунок 13. Кольцевая сейсмичность в районе центральной Камчатки на различных глубинах

Видно, что здесь проявилось мелкое кольцо ($M_{п1}=5.0$, $L\sim 85$ км), ориентированное в северо-восточном направлении. На его границу приходится эпицентр Усть-Камчатского землетрясения 15.12.1971 ($M_w=7.8$). Глубокое кольцо выражено более четко ($M_{п2}=4.7$, $l\sim 75$ км), оно вытянуто в направлении на северо-запад. Оба кольца пересекаются примерно в области 162.5° E.

Рисунок 14 иллюстрирует характеристики сейсмичности на стыке Курило-Камчатской и Алеутской

дуг, в районе между Камчатским полуостровом и Командорскими островами.

Здесь выделяется длинное мелкое кольцо ($M_{п1}=5.4$, $L\sim 180$ км), вытянутое в северо-западном направлении, а также глубокое кольцо ($M_{п2}=4.7$, $l\sim 130$ км), ориентированное в направлении на северо-северо-запад. Координаты областей пересечения колец – $\sim 55.3^\circ$ и 56.1° N.

На рисунке 15 показаны выявленные кольцевые сейсмические структуры для всего района Курило-Камчатской дуги.

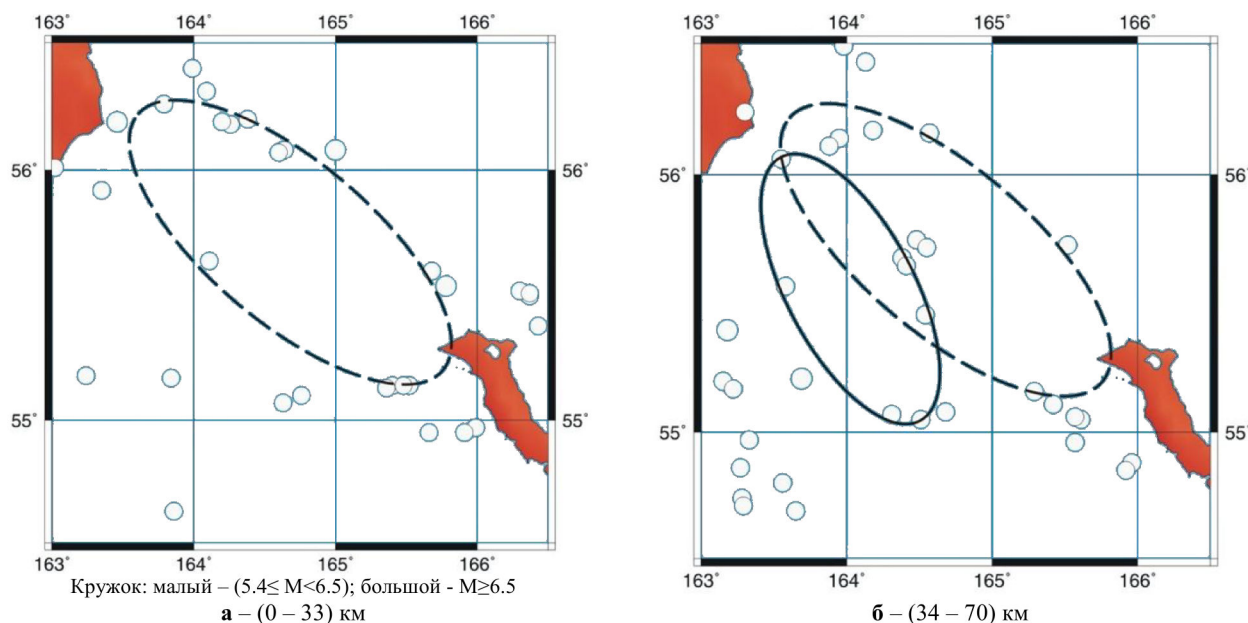
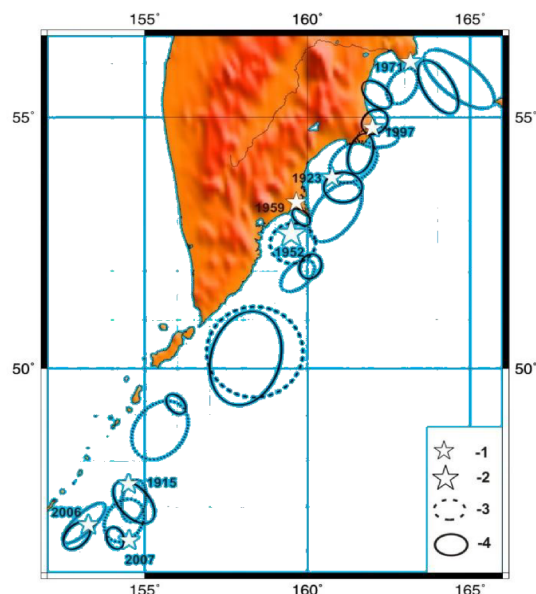


Рисунок 14. Кольцевая сейсмичность на стыке Курило-Камчатской и Алеутской дуг на различных глубинах



Эпицентры сильных и сильнейших землетрясений: 1 - ($7.8 \leq M_w \leq 8.5$); 2 - $M_w = 9.0$ (указаны годы этих событий). 3 – мелкие кольца, 4 – глубокие кольца

Рисунок 15. Район Курило-Камчатской дуги. Кольцевая сейсмичность на глубинах 0-33 км и 34-70 км

Из картины на рисунке 15 следует, что выделенные мелкие и глубокие кольца заполняют полосу от 46° до 56.5° N, пересекаясь, или касаясь друг друга. Пробелы между кольцами наблюдаются только в очаговой зоне землетрясения 1952 г. и к югу от нее, между 48° и 51.5° N.

Оценка магнитуд возможных землетрясений в районах Курил и Камчатки. Для оценки энергии землетрясений, которые могут произойти в районах кольцевых структур, использован специальный под-

ход, основанный на сопоставлении между собой данных, полученных для исследуемого района и для района Суматры [3]. В [3] показано, что размеры мелких и глубоких колец, а также величины M_{p1} и M_{p2} существенно растут с увеличением магнитуды M_w . Для серии землетрясений 2000 - 2008 гг. в районе Суматры ($M_w = 7.0-9.0$) получены следующие зависимости величин L , l , а также M_{p1} и M_{p2} от магнитуды главных событий M_w (с достаточно высокими коэффициентами корреляции):

$$\lg L \text{ (км)} = 0.51 M_w - 1.88 \quad (1)$$

$$\lg l \text{ (км)} = 0.37 M_w - 1.04 \quad (2)$$

$$M_{p1} = 1.92 + 0.38 M_w \quad (3)$$

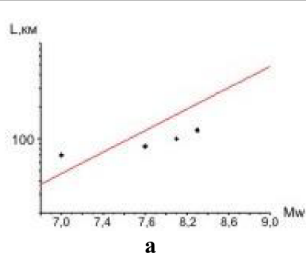
$$M_{p2} = -0.02 + 0.60 M_w \quad (4)$$

На рисунках 16 и 17 на фоне корреляционных зависимостей, полученных для района Суматры [3], приведены данные о величинах указанных параметров для 4 землетрясений из районов Курил и Камчатки, произошедших в 1993 - 2007 гг. (таблица 3).

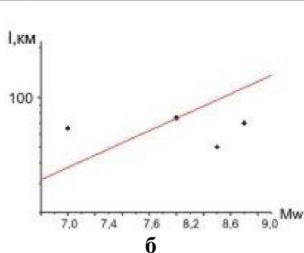
Из рисунков следует, что величины $\lg L$ и $\lg l$ для этих событий (в диапазоне $M_w = 7.0 - 8.3$) в среднем незначительно отклоняются от корреляционных зависимостей для района Суматры (соответственно на 0.13 ± 0.17 и -0.03 ± 0.20). Величины M_{p1} и M_{p2} отклоняются от аналогичных зависимостей в среднем на 0.13 ± 0.20 и -0.09 ± 0.30 , соответственно. Учитывая полученный результат, для оценок величин M_w в первом приближении можно использовать выражения (1) и (2), вводя полученные поправки. В таблице 3 указаны средние прогнозные величины M_w для всех рассмотренных зон, где выделены кольцевые структуры, которые варьируются от 7.7 до 8.9.

Таблица 3. Районы Курил и Камчатки. Прогноз величин M_w , M_{p1} и M_{p2} для зон сейсмических брешей

Зона	φ° , N	λ° , E	M_w	M_{p1}	M_{p2}	ΔM_{p1}	ΔM_{p2}
1	46.5-48.0	154-156	8.2 ± 0.3	5.1	4.8	-0.3	-0.6
2	48-50	154-157	7.9 ± 0.4	5.0	4.6	0.4	0.7
3	49-52	157-160	8.9 ± 0.4	5.4	5.2	-0.4	-0.2
4	51.0-52.5	159-161	7.7 ± 0.1	4.9	4.5	0.4	0.3
5	52.0-53.5	158-161	7.7 ± 0.3	4.9	4.5	0.6	0.7
6	52-54	160-162	8.2 ± 0.1	5.1	4.8	0.2	0.2
7	53-55	160-163	8.1 ± 0.1	5.1	4.7	0.2	-0.2
8	54.0-55.5	161-163	7.8 ± 0.1	5.0	4.6	0.3	0.1
9	55.0-56.5	161-164	7.9 ± 0.1	5.0	4.6	0.0	0.1
10	55.0-56.5	163-166	8.5 ± 0.1	5.3	5.0	0.1	-0.3



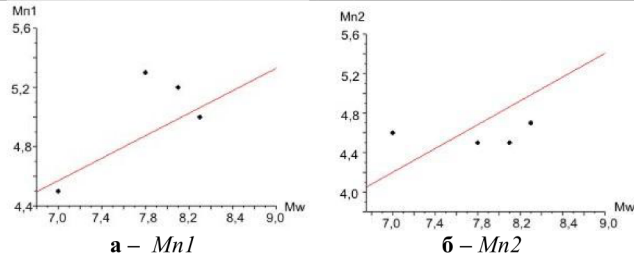
а



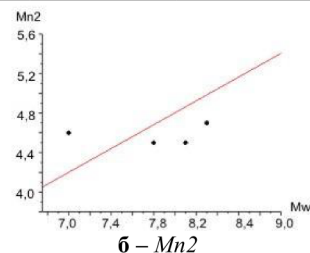
б

Прямые – корреляционные зависимости для района Суматры [3]

Рисунок 16. Район Курило-Камчатской дуги. Зависимости величин L (а) и l (б) от M_w



а – M_{p1}



б – M_{p2}

Рисунок 17. Район Курило-Камчатской дуги. Зависимости от магнитуды M_w пороговых величин M_p

Зная величины M_w , по формулам (3) и (4) можно оценить прогнозные значения $M_{п1}$ и $M_{п2}$, снова вводя в значения этих параметров поправки, указанные выше. В таблице 3 приведены прогнозные оценки величин $M_{п1}$ и $M_{п2}$, а также отклонения реальных значений от прогнозируемых ($\Delta M_{п1}$ и $\Delta M_{п2}$), которые показывают, что для двух зон (2 и 5, таблица 3) наблюдаются очень высокие величины $\Delta M_{п1}$ и $\Delta M_{п2}$ (соответственно: 0.4; 0.7 и 0.6; 0.7). Следует отметить, что обе зоны находятся на границах очага Камчатского землетрясения 1952 г. (прогнозные величины M_w для них равны соответственно 7.9 ± 0.4 и 7.7 ± 0.3). Кроме того, северная зона 5 примерно соответствует очагу землетрясения 1841 г. ($M \sim 8.4$). Еще одна зона (4, таблица 3) с относительно высокими величинами $\Delta M_{п1}$ и $\Delta M_{п2}$ (соответственно 0.4 и 0.3) находится в северной части очага Камчатского землетрясения 1952 г. В то же время самой южной зоне (зона 1, таблица 3) на границе очагов 2006 и 2007 гг., соответствуют большие отрицательные значения $\Delta M_{п1}$ (-0.3) и $\Delta M_{п2}$ (-0.6). Значительные отрицательные величины пороговых значений магнитуд наблюдаются также для зоны 3, которая расположена в центральной части очага 1952 г. – (-0.4) и (-0.2), соответственно. Конечно, из-за малого количества данных для очаговых зон прошедших сильных землетрясений районов Курил и Камчатки указанные величины следует рассматривать в качестве первого приближения, особенно для двух зон, где получены оценки магнитуды $M_w > 8.3$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных показывает, что в районах Курил и Камчатки, как и в других зонах субдукции [1 - 3], широко развиты кольцевые структуры сейсмичности в двух диапазонах глубин. Для ранее изученных зон субдукции было отмечено, что появление кольцевых структур, скорее всего, связано с миграцией мантийных флюидов, отражающей эффект самоорганизации геодинамических процессов и приводящей, в конечном счете, к уменьшению потенциальной энергии Земли. Опубликованные в последние годы данные разных авторов свидетельствуют о том, что флюиды в нижней коре и верхах мантии играют очень важную роль в подготовке сильных землетрясений [6 - 9].

Наибольший объем данных по кольцевой сейсмичности ранее был получен для района Суматры, где за последние 9 лет произошло 10 землетрясений с $M_w = 7.0-9.0$ [3]. Перед этими событиями ярко проявились кольца сейсмичности, размеры которых варьировались от 35 до 700 км (для мелких колец) и от 30 до 200 км (для глубоких колец). Важно отметить, что эпицентры сильных землетрясений, как правило, располагались вблизи областей пересечения или касания колец. Кроме того, в районе Суматры выделены кольца сейсмичности в зонах сейсми-

ческих брешей, где более 100 лет не было сильных событий с $M > 7.7$.

Данные, полученные для районов Центральных Курил и Камчатки показали, что перед четырьмя сильными землетрясениями, произошедшими в 1993 - 2007 гг., также образовались кольцевые структуры сейсмичности в двух диапазонах глубин. Интересно, что эпицентры сильных землетрясений во всех четырех случаях располагались вблизи от областей пересечения мелких и глубоких колец. Вместе с тем, перед землетрясением 15.01.2009 области пересечения колец располагались достаточно далеко от эпицентра этого события. Кроме того, в южной зоне (1) величины $M_{п1}$ и $M_{п2}$ резко занижены относительно прогнозного значения M_w (с учетом установленных поправок). Это позволяет предполагать, что землетрясение 15.01.2009 было форшоком более сильного события, которое готовится в этой зоне. Скорее всего, событие 15.01.2009 было инициировано ростом напряжений после двух сильных землетрясений с $M_w > 8.0$ [10]. В связи с этим перед ним не успели сформироваться кольца сейсмичности, которые отражают процесс подъема флюидов [1 - 3].

Важно отметить, что кольца сейсмичности к началу 2009 г. сформировались в зонах сейсмических брешей в районах северных Курил и Камчатки. Полученные оценки величин $\Delta M_{п1}$ и $\Delta M_{п2}$ могут служить мерой интенсивности подъема мантийных флюидов в соответствующих зонах [3]. Поднявшись в кору, мантийные флюиды существенно снижают трение на формирующемся разрыве и, в конечном счете, приводят к подвижке при землетрясении [11]. Таким образом, благодаря данным о величинах $\Delta M_{п1}$ и $\Delta M_{п2}$ можно судить о степени подготовленности сильного землетрясения в данной зоне. (В связи с этим отметим, что первое сильное землетрясение 04.06.2000 ($M_w = 7.9$) из серии событий 2000 - 2008 гг. в районе Суматры характеризовалось резко завышенными значениями $\Delta M_{п1}$ и $\Delta M_{п2}$ - соответственно ~ 0.6 и 0.8 [3]). Учитывая это, можно провести сопоставление данных, полученных при настоящих исследованиях, с долгосрочным прогнозом, сделанным С.А.Федотова и др. авторами для района Курило-Камчатской дуги [4].

Как отмечалось выше, наиболее высокие величины $\Delta M_{п1}$ и $\Delta M_{п2}$ получены для зон 2 и 5 (таблица 3) - прогнозные величины M_w для них равны 7.9 ± 0.4 и 7.7 ± 0.3 , соответственно. Согласно [4], вероятность возникновения землетрясений с $M \geq 7.7$ в этих зонах до ноября 2011 г. довольно высока – 9.8 и 16.4%, соответственно. Полученные здесь и ранее [1 - 3] данные говорят о том, что эпицентры будущих сильных землетрясений, скорее всего, должны располагаться вблизи областей пересечения, или наибольшего сближения колец сейсмичности. В то же время наибольшая вероятность сильного землетрясения за указанный период, по данным [4], соответствует зоне 3 (19.2%), для которой получена максимальная прогнозная величина M_w

(8.9 ± 0.4), и, вместе с тем, отрицательные величины M_{p1} и M_{p2} . Данные, полученные в настоящих исследованиях, позволяют предполагать, что сильнейшее землетрясение в этой зоне в ближайшие годы менее вероятно, чем сильные события в зонах 2 и 5 (и, в меньшей степени, в зоне 4).

В [5] путем анализа данных GPS и гравиметрии выделены области наибольшего сцепления (coupling) погружающейся тихоокеанской плиты в районе Камчатки. По этим данным, максимальное сцепление, которое обычно соответствует областям подготовки сильных землетрясений, наблюдается непосредственно к югу от Шипунского полуострова.

Этот район совпадает с зоной 5, для которой, по данным о кольцевых структурах, прогнозируется наибольшая вероятность сильного землетрясения в ближайшие годы. Следует отметить, что участок зоны субдукции шириной ~ 100 км к югу от 53° N соответствует области наибольшего выделения сейсмического момента при землетрясении 1952 г. [12]. В то же время, по данным [5], слабое сцепление наблюдается в районе северных Курил, между 48° и 49.5° N; однако этот вывод не согласуется с высокими величинами M_{p1} и M_{p2} , свидетельствующими об активных процессах подготовки сильного сейсмического события в зоне 2.

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.421. – № 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.
4. Федотов, С.А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на 2006 – 2011 гг. и успешный прогноз Средне-Курильского землетрясения 15.11.2006 г., $M_s=8.2$ / С.А. Федотов, А.В. Соломатин, С.Д. Чернышев // Вулканология и сейсмология. – 2007. – № 3, – С. 3 – 25.
5. Burgmann R., Kogan M., Steblov G., Hilley G., Levin V. et al. Interseismic coupling and asperity distribution along the Kamchatka subduction zone. J. Geophys. Res. 2005. V. 110. B07405. doi: 10.1029/2005JB003648.
6. Umeda, K. Helium isotopes as geochemical indicators of a serpentinized fore-arc wedge / K. Umeda, McCranks, A. Ninomiya // J. Geophys. Res. 2007. V.112. B10206. doi: 10.1029/2007JB005031.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Sorensen, M. Continued earthquake hazard in Northern Sumatra / M. Sorensen, K. Atakan // EOS, Transactions, AGU. 2008. – V.89. N 1. – P. 133 – 134.
11. Gold, T. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes / T.Gold, S. Soter // Pageoph. 1984/1985. – V. 122. – P. 492 – 530.
12. Johnson, J. Asperity distribution of the 1952 great Kamchatka earthquake and its relation to future earthquake potential in Kamchatka / J. Johnson, K. Satake // Pure Appl. Geophys. 1999. – V. 154. – P. 541 – 553.

КУРИЛ АРАЛДАРЫ МЕН КАМЧАТКА АУДАНДАРЫНДА ТЕРЕНДІГІНІҢ ӘР АУҚЫМДАРЫНДА САҚИНАЛЫ СЕСМИКАЛЫЛЫҒЫНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ

^{1,2}Копничев Ю.Ф., ¹Соколова И.Н.

¹ҚР ҰҰО Геофизикалық зерттеулер институты, Алматы, Қазақстан

²РҒА О. Ю. Шмидт атындағы Жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей

1993 - 2007 ж.ж. болған $M_w=(7.0-8.3)$ қатты және өте қатты жерсілкінулер алдында Курил аралдарының орталық, солтүстік және Камчатканың аудандарында 0 - 33 және 34 - 70 км. терендіктер ауқымында, сондай-ақ сейсмикалық қуыстар зоналарында сейсмикалығының сипаттамалары талдануда. Терендіктің екі ауқымына да сейсмикалығының сақиналы құрылымдары айқындалған. Суматра ауданымен ұқсастығы бойынша, сейсмикалықтың сақиналарының мөлшерлері туралы деректерін талдау негізінде, сейсмикалық қуыстар зоналарында дайындалудағы жерсілкінулердің магнитудаларын болжамды бағалауы жасалған. Осы деректерін басқа авторлардың ұзақ мерзімді болжамдарымен салыстыруы жүргізілген.

**CHARACTERISTICS OF THE RING-SHAPED SEISMICITY
IN DIFFERENT DEPTH RANGES IN THE REGIONS OF KURILS AND KAMCHATKA**

^{1,2)}Yu.F. Kopnichev, ²⁾I.N. Sokolova

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

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

The paper presents analysis results of seismicity characteristics in the regions of central, northern Kurils and Kamchatka in depth ranges of 0 - 33 and 34 - 70 km prior to large and great earthquakes $M_w=(7.0-8.3)$, occurred in 1993 - 2009, and also in seismic gap zones. Ring-shaped seismicity structures were picked out in both depth ranges. It was shown, that epicenters of major earthquakes usually were located near areas of crossing or maximum rapprochement of the ring-shaped structures. By analogy with Sumatra region prognostic estimates of preparing earthquake magnitudes in seismic gap zones, based on the data on sizes of the seismicity rings were obtained. Zones of seismicity gaps, in which large earthquakes are most probable in the nearest years, were picked out. A comparison of these data with long-term predictions of other authors was conducted.