

УДК 550.34

КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ГЛУБИН ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ И СИЛЬНЕЙШИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В РАЙОНАХ АЛЕУТ И АЛЯСКИ

²⁾Копничев Ю.Ф., ¹⁾Соколова И.Н.

¹⁾Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

²⁾Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Анализируются характеристики сейсмичности районов Алеут и Аляски для двух диапазонов глубин: 0 - 33 и 34 - 70 км, перед сильными и сильнейшими землетрясениями с $M_w=7.0 - 9.2$, произошедшими в 1964 - 2007 гг., а также в зонах сейсмических брешей. Перед шестью событиями, а также в трех зонах брешей выделены кольцевые структуры сейсмичности в обоих диапазонах глубин. Показано, что эпицентры главных землетрясений находились, как правило, вблизи областей пересечения или наибольшего сближения “мелких” и “глубоких” колец сейсмичности. По аналогии с районами Суматры, северо-восточной Японии и Южной Америки, исходя из характеристик кольцевых структур сейсмичности, сделаны прогнозные оценки магнитуд готовящихся сильных землетрясений в зонах сейсмических брешей.

В [1 - 5] показано, что в зонах субдукции перед сильными и сильнейшими землетрясениями формируются кольцевые структуры сейсмичности в разных диапазонах глубин. Выяснилось, что характеристики кольцевых структур существенно различаются в разных районах. Полученные результаты позволяют осуществлять долгосрочный и среднесрочный прогноз места и энергии сильных сейсмических событий, что было продемонстрировано, в частности, для района северо-восточной Японии [3]. В статье рассматриваются характеристики таких структур в районах Алеут и Аляски, в том числе в зоне очага катастрофического землетрясения 28.03.1964 г. ($M_w=9.2$).

ИСТОРИЧЕСКАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

На рисунке 1 показаны эпицентры сильных землетрясений с $M_w \geq 7.8$, произошедших в рассматриваемом районе начиная с 1900 г. (таблица 1).

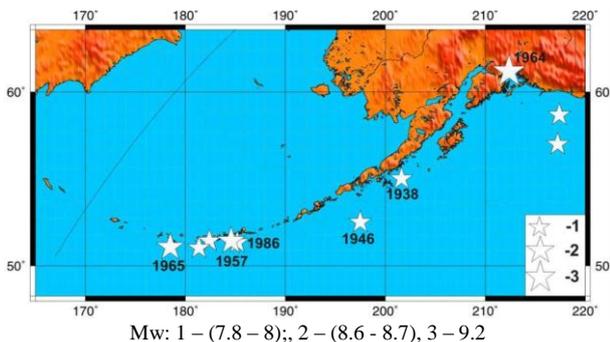


Рисунок 1. Район исследований с эпицентрами сильных и сильнейших землетрясений (с 1900 г.)

Из рисунка 1 и таблицы 1 следует, что в течение 110 лет в районе Алеут и Аляски произошли десять сильных и сильнейших событий, включая Великое Аляскинское землетрясение 28 марта 1964 г. ($M_w=9.2$) – второе по силе на земном шаре из числа зарегистрированных инструментально. Очаговая зона этого события простиралась примерно на 800 км в юго-западном направлении от эпицентра

[6]. Землетрясение породило мощное цунами, распространившееся по всему Тихому океану. Согласно палеосейсмическим данным, период повторяемости таких событий составляет ~400 - 1000 лет [7]. Следующее по силе землетрясение с магнитудой $M_w=8.7$ произошло 4 февраля 1965 г. в районе Крысьих островов. Длина его очаговой зоны составляла ~600 км, односторонний разрыв распространялся с юго-востока на северо-запад [8]. Землетрясение 9 марта 1957 г. ($M_w=8.6$) имело самую протяженную афтершоковую зону среди трех упомянутых событий, простираясь на расстояние ~1200 км вдоль Алеутской дуги. В отличие от землетрясений 28.03.1964 г. и 04.02.1965 г., это землетрясение характеризовалось двусторонним распространением разрыва [7]. Еще два сильных события произошли в 1938 и в 1946 гг. к западу от очаговой зоны землетрясения 1964 г. (M_w равнялось 8.0). Последние достаточно сильные события в районе Алеут произошли 7 мая 1986 г. ($M_w=8.0$) и 10 июня 1996 г. ($M_w=7.9$), их очаги располагались на западном краю очаговой зоны землетрясения 09.03.1957 г. Следует отметить также еще два землетрясения (30 ноября 1987 г. с $M_w=7.9$ и 6 марта 1988 г. с $M_w=7.8$), очаги которых находились в океанической плите, к югу от Аляскинского желоба.

Таблица 1. Характеристики сильных и сильнейших землетрясений в районах Алеут и Аляски

Дата	° N	° W	Н, км	M_w
10.11.1938	55.33	158.37	35	8.0
01.04.1946	52.75	162.50	-	8.0
09.03.1957	51.59	175.42	35	8.6
28.03.1964	61.02	147.63	23	9.2
04.02.1965	51.21	178.50 E	29	8.7
07.05.1986	51.50	174.80	20	8.0
30.11.1987	58.83	142.60	15	7.9
06.03.1988	57.26	142.75	6	7.8
10.06.1996	51.59	177.59	29	7.9
17.11.2003	51.15	178.65	33	7.8

**КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ГЛУБИН
ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ И СИЛЬНЕЙШИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В РАЙОНАХ АЛЕУТ И АЛЯСКИ**

В исследуемом районе выделяются зоны сейсмических брешей, в которых не было землетрясений с $M \sim > 8.0$, по крайней мере, с начала XX-го века. Это – западный фланг Алеутской дуги ($165^\circ - 170^\circ E$) между очаговыми зонами землетрясений 1938 и 1946 гг. (Шумагинская брешь [9]), а также район к востоку от очага 1964 г. (рисунок 1). Кроме того, существуют зоны относительного сейсмического затишья, в частности, на западном фланге Алеутской дуги ($170^\circ - 175^\circ E$), где землетрясений с $M \geq 7.0$ не было после 1975 г.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

По аналогии с [1 - 3, 5] рассмотрены характеристики сейсмичности в двух диапазонах глубин: 0 - 33 и 34 - 70 км. Используются данные из каталогов землетрясений NEIC (National Event Information Center, Геологическая служба США), а также ISC (International Seismological Center). Для анализа выбраны в основном данные из временного интервала, начиная с 01.01.1964 г. (с начала работы мировой сети станций WWSSN) до дня, предшествовавшего изучаемому событию. Исключение составила зона Великого Аляскинского землетрясения, для которой

характеристики сейсмичности рассмотрены, начиная с 01.01.1930 г. Отобраны события с $M \geq M_{п1}$ и $M \geq M_{п2}$ для первого и второго диапазонов глубин, соответственно ($M_{п1}$ и $M_{п2}$ - пороговые значения магнитуды). Обработаны данные о сейсмичности для очаговых зон 6 сильных и сильнейших землетрясений в зонах субдукции ($M_w = 7.0 - 9.2$, таблица 2). Характеристики этих событий далее рассматриваются в направлении с запада на восток.

Для сравнения рассмотрены сейсмические данные очаговых зон двух сильных землетрясений, которые произошли в океанической плите к югу от Аляскинского желоба (30.11.1987 г., $M_w = 7.9$ и 06.03.1988 г., $M_w = 7.8$, таблица 2). Кроме того, обработаны данные о сейсмичности в трех зонах затишья и сейсмических брешей, указанных выше. Для этих зон рассматривались характеристики сейсмичности за период 01.01.1973 - 01.01.2011 гг.

АНАЛИЗ ДАННЫХ

Событие 17.11.2003 г. ($M_w = 7.8$) произошло в районе Крысыных островов, на восточном краю очаговой зоны сильнейшего Алеутского землетрясения 1965 г. (рисунок 2).

Таблица 2. Характеристики кольцевой сейсмичности перед сильными землетрясениями в районе Алеутско-Аляскинской дуги

Дата	$^\circ N$	$^\circ W$	M_w	h, км	L, км	$M_{п1}$	T1, лет	l, км	$M_{п2}$	T2, лет
28.03.1964	61.10	147.60	9.2	33	900	5.5	≥ 26	450	5.5	≥ 32
07.05.1986	51.56	174.81	8.0	20	260	4.8	≥ 22	85	4.7	≥ 16
30.11.1987	58.83	142.60	7.9	15	-	4.0	-	-	-	-
06.03.1988	57.26	142.75	7.8	6	-	3.8	-	-	-	-
10.06.1996	51.59	177.59	7.9	29	100	5.1	25	65	4.0	26
06.12.1999	57.31	154.29	7.0	36	90	4.0	29	70	4.0	26
17.11.2003	51.15	178.65 E	7.8	33	75	4.8	30	70	4.6	32
19.12.2007	51.36	179.51	7.2	34	55	4.0	37	45	4.1	34

Примечание: L и l – длины больших осей, $M_{п1}$ и $M_{п2}$ – пороговые значения магнитуды, T1 и T2 – времена формирования мелкого и глубокого колец сейсмичности, соответственно.

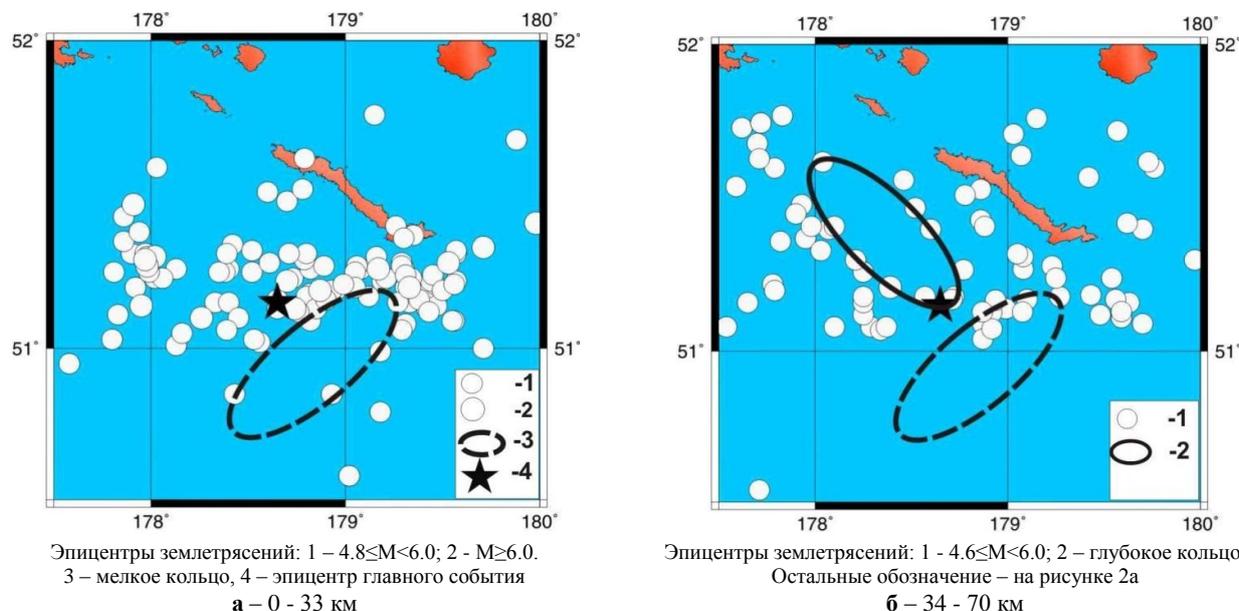


Рисунок 2. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 17.11.2003 г.

**КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ГЛУБИН
ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ И СИЛЬНЕЙШИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В РАЙОНАХ АЛЕУТ И АЛЯСКИ**

Из рисунка 2 и таблицы 2 следует, что перед событием 17.11.2003 г. в течение 30 лет сформировалась кольцевая структура сейсмичности в диапазоне глубин 0 - 33 км ($M_{п1}=4.8$) с большой осью длиной $L\sim 75$ км, вытянутая в северо-восточном направлении. Примерно за такое же время ($T_2=32$ года) образовалось кольцо сейсмичности на глубинах 34 - 70 км ($M_{п2}=4.6$) с большой осью длиной $l\sim 70$ км, ориентированное в направлении на северо-запад. По аналогии с [1 - 3, 5] для краткости кольцевые структуры первого типа будут называться "мелкими", а второго - "глубокими". Эпицентр главного землетрясения находится на границе глубокого кольца, в области, где оно практически касается мелкого.

Землетрясение 19.12.2007 г. ($M_w=7.2$) имело место в районе Андреяновских островов, на границе

между очагами событий 1957 и 1965 гг. (рисунок 3, таблица 2).

Из рисунка 3 и таблицы 2 видно, что перед землетрясением 19.12.2007 г. в течение 37 лет образовались мелкое кольцо сейсмичности ($M_{п1}=4.0$, $L\sim 55$ км), вытянутое в северо-западном направлении, а также глубокое кольцо ($M_{п2}=4.1$, $l\sim 45$ км, $T_2=34$ года), ориентированное почти нормально к оси мелкого кольца. Эпицентр главного события находится на расстоянии около 10 км к югу от области касания кольцевых структур сейсмичности.

Землетрясение 10.06.1996 г. ($M_w=7.9$) произошло вблизи острова Адак, на западном краю очаговой зоны сильнейшего события 1957 г. (рисунок 4, таблица 2).

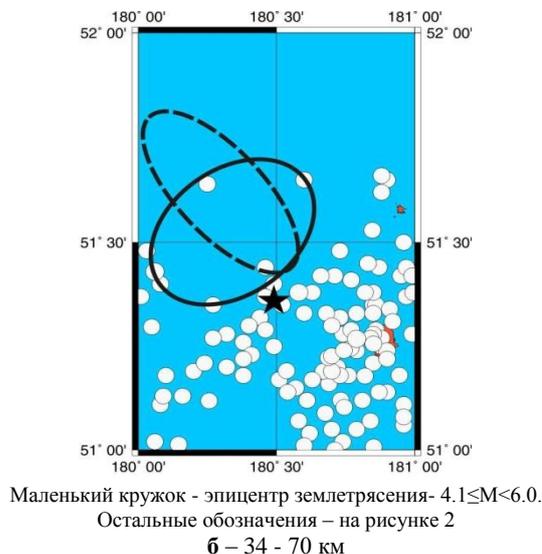
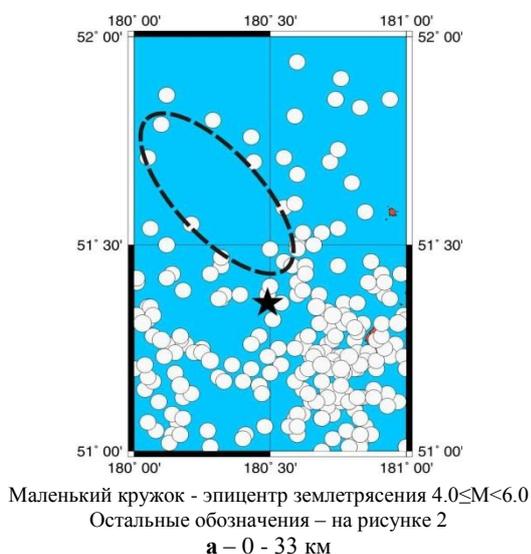


Рисунок 3. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 19.12.2007 г.

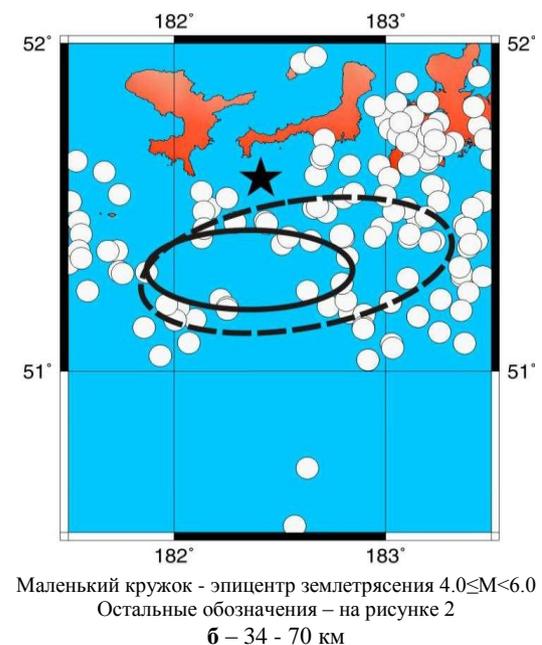
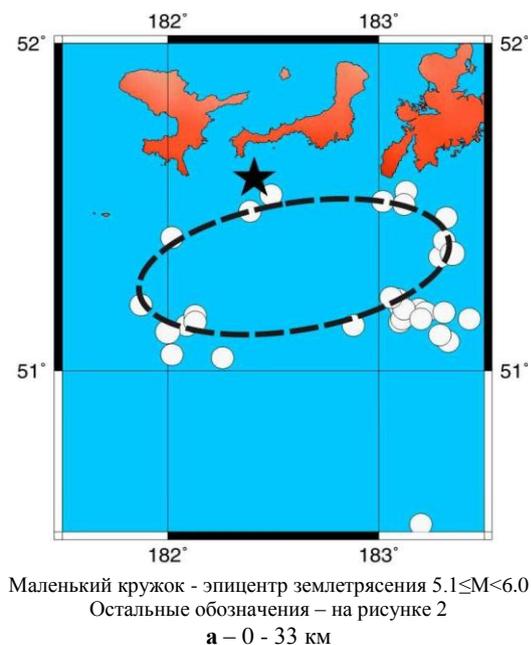


Рисунок 4. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 10.06.1996 г.

**КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ГЛУБИН
ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ И СИЛЬНЕЙШИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В РАЙОНАХ АЛЕУТ И АЛЯСКИ**

Из рисунка 4 и таблицы 2 видно, что перед землетрясением 10.06.1996 г. сформировались кольцевые структуры: мелкая ($M_{п1}=5.1$, $L\sim 100$ км, $T_1=25$ лет) и глубокая ($M_{п2}=4.0$, $l\sim 65$ км, $T_2=26$ лет), ориентированные в субширотном направлении. Эпицентр главного события находится вблизи области касания мелкого и глубокого колец ($\Delta r\sim 35$ км).

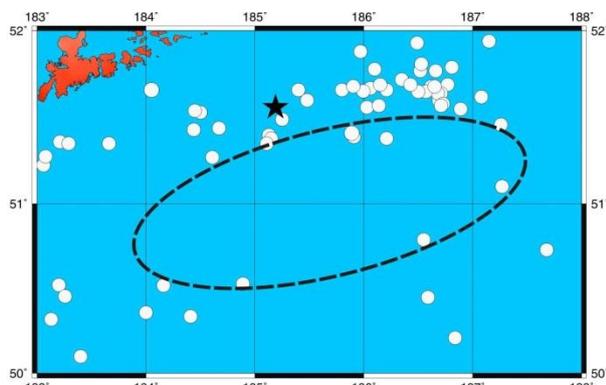
Событие 07.05.1986 г. ($M_w=8.0$) имело место в районе Андреяновских островов, также на западном фланге очага землетрясения 1957 г. (рисунок 5, таблица 2).

Из рисунка 5 видно, что перед землетрясением 07.05.1986 г. проявились кольца сейсмичности: мелкое ($M_{п1}=4.8$, $L\sim 260$ км, $T_1\geq 22$ лет) и глубокое ($M_{п2}=4.7$, $l\sim 85$ км, $T_2\geq 16$ лет). Оба кольца вытянуты в субширотном направлении, при этом эпицентр

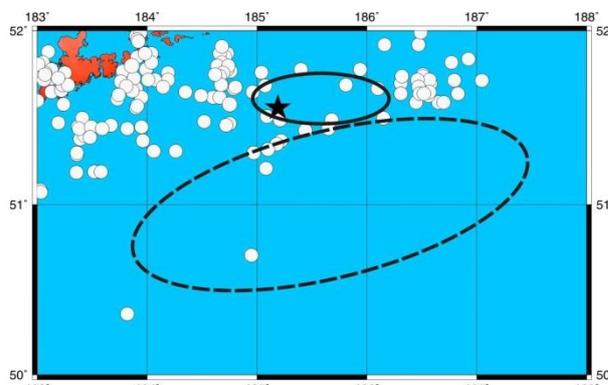
главного события находится на расстоянии около 40 км от области их касания

Землетрясение 06.12.1999 г. ($M_w=7.0$) произошло в районе острова Кадьяк, в очаговой зоне Великого Аляскинского землетрясения 1964 г. (рисунок 6, таблица 2).

Из рисунка 6 следует, что перед землетрясением 06.12.1999 г. снова сформировались кольца сейсмичности: мелкое ($M_{п1}=4.0$, $L\sim 90$ км, $T_1=29$ лет), вытянутое субмеридионально, и глубокое ($M_{п2}=4.0$, $l\sim 70$ км, $T_2=26$ лет), ориентированное в северо-западном направлении. В данном случае эпицентр главного землетрясения был расположен на расстоянии ~ 15 км от ближайшей области пересечения кольцевых структур.

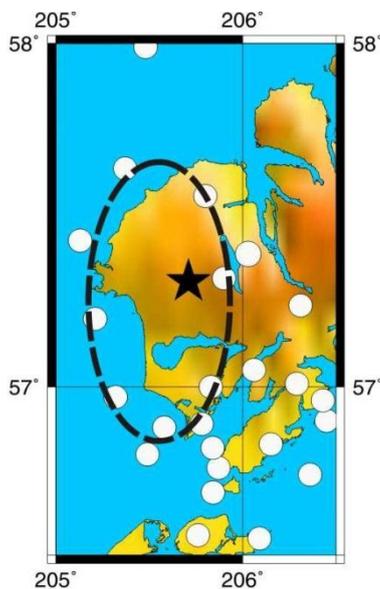


Маленькие кружки - эпицентры землетрясений $4.8 \leq M < 6.0$
Остальные обозначения - на рисунке 2
а - 0 - 33 км

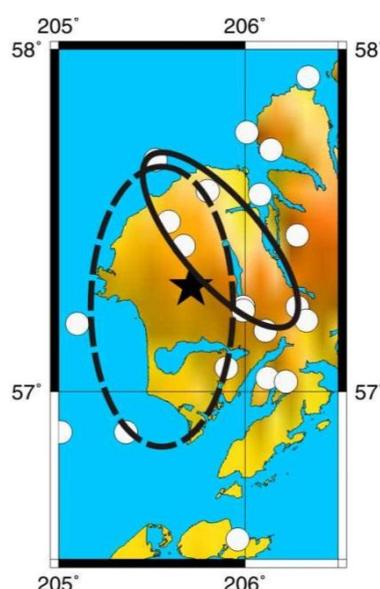


Маленькие кружки - эпицентры землетрясений $4.7 \leq M < 6.0$
Остальные обозначения - на рисунке 2
б - 34 - 70 км

Рисунок 5. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 07.05.1986 г.



Маленький кружок - эпицентр землетрясения $4.0 \leq M < 6.0$. Остальные обозначения - на рисунке 2
а - 0 - 33 км



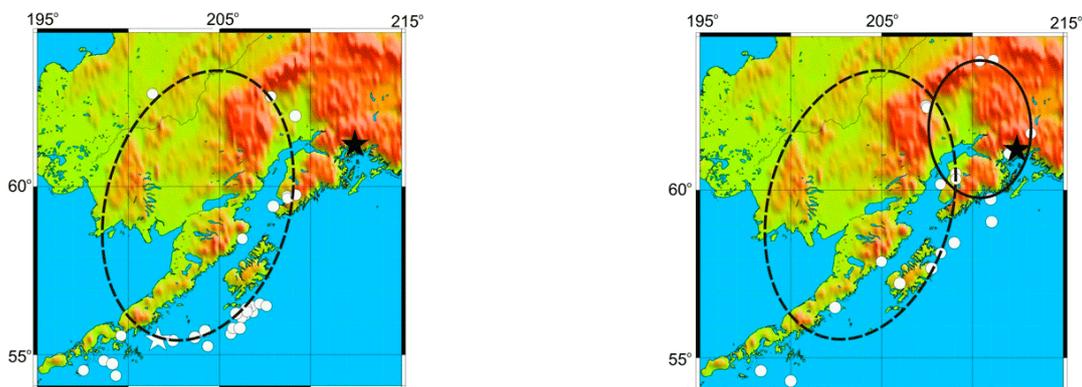
б - 34 - 70 км

Рисунок 6. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 06.12.1999 г.

Великое Аляскинское землетрясение 28.03.1964 г.
 Данные о сейсмичности перед этим грандиозным событием менее надежны, чем для других рассмотренных землетрясений, поскольку они получены в основном до создания мировой сети WWSSN. Рисунок 7 иллюстрирует характеристики сейсмичности в районе, ограниченном координатами 54-64°N, 165-145°W. Из рисунка 7 видно, что перед землетрясением сформировалось нечетко выраженное огромное мелкое кольцо сейсмичности ($M_{п1}=5.5$, $L\sim 900$ км, $T_1\geq 26$ лет), у которого существует большой пробел между эпицентрами самых западных "форшоков". Один эпицентр ($M=5.6$) попадает внутрь кольца, находясь на расстоянии ~ 130 км от его восточной границы. Следует отметить, что в районе

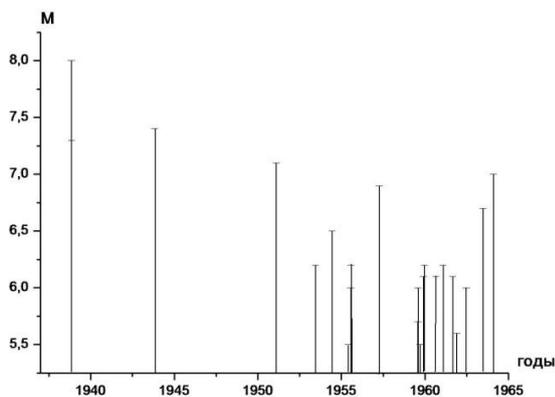
мелкого кольца находился очаг очень сильного землетрясения 11.10.1938 г. ($M_w=8.0$). Из рисунка 7б следует, что перед Аляскинским землетрясением образовалось также большое глубокое кольцо ($M_{п2}=5.5$, $l\sim 450$ км, $T_2\geq 32$ лет), расположенное к северо-востоку от мелкого. Обе кольцевые структуры ориентированы в субмеридиональном направлении. Эпицентр главного события находился вблизи от границы глубокого кольца, но достаточно далеко ($\Delta r\sim 230$ км) от ближайшей области пересечения колец. Однако и здесь выполняется условие $\Delta r/L\ll 1$.

На рисунке 8 приведено распределение магнитуд землетрясений в районе мелкого кольца в зависимости от времени.



Эпицентры землетрясений: маленький кружок - $5.1\leq M < 6.0$; большой кружок - $6.5\leq M < 8.0$.
 Не залитая звездочка - $M=8.0$. Остальные обозначения - на рисунке 2
а - 0 - 33 км **б** - 34 - 70 км

Рисунок 7. Кольцевая сейсмичность перед землетрясением 28.03.1964 г.



*Рисунок 8. Район землетрясения 28.03.1964 г.
 Зависимость магнитуд землетрясений
 в районе мелкого кольца от времени*

Из рисунка 8 видно, что максимальная скорость сеймотектонической деформации в районе кольца наблюдалась в конце 1930-х – начале 1940-х годов, когда здесь произошло три события с $M=7.3 - 8.0$. Кроме того, эта величина заметно выросла в 1955 - 1964 гг.

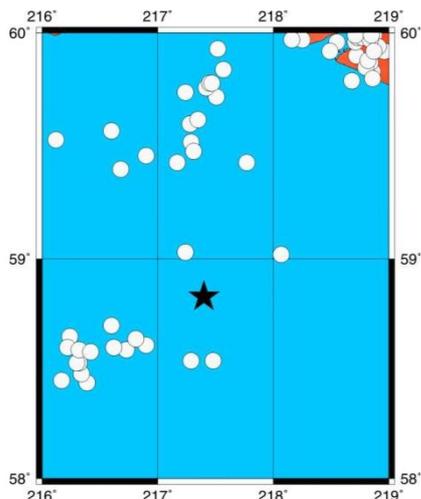
Землетрясения 30.11.1987 г и 06.03.1988 г. к югу от п-ова Аляска. Эти события с M_w соответственно

7.9 и 7.8 произошли в океанической коре к югу от глубоководного желоба. Из рисунков 9 и 10 следует, что начиная с 01.01.1973 г. перед землетрясениями не сформировались мелкие кольцевые структуры сейсмичности даже с достаточно низкими величинами $M_{п1}$ (соответственно 4.0 и 3.8). Глубокие кольца также не сформировались, поскольку в океанической литосфере практически не бывает землетрясений с глубинами ≥ 34 км [10].

Зоны затишья и сейсмических брешей. На рисунках 11 - 13 приведены характеристики сейсмичности в трех зонах затишья и сейсмических брешей. Для них рассмотрены кольцевые структуры с $M_{п1}$, $M_{п2}\sim 5.0$ за период 01.01.1973 – 01.01.2011 гг.

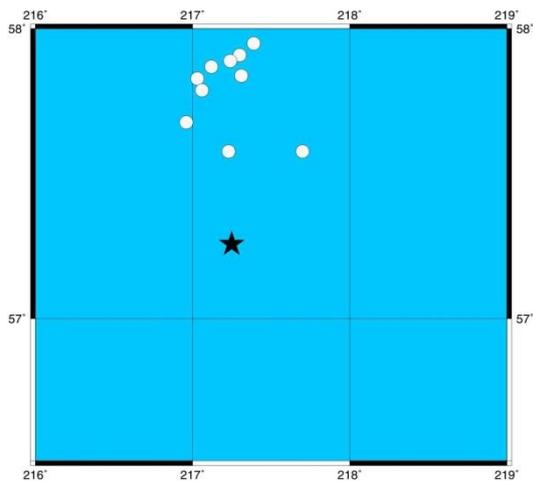
Зона сейсмического затишья в районе западных Алеут. На рисунке 11 показаны характеристики сейсмичности в западной части очаговой зоны сильнейшего землетрясения 04.02.1965 г. Видно, что выделяются кольцевые структуры, ориентированные вдоль простирания Алеутской дуги – мелкая ($M_{п1}=5.2$, $L\sim 250$ км, $T_1=33$ года) и глубокая ($M_{п2}=4.7$, $l\sim 150$ км, $T_2=38$ лет). Кольца соприкасаются на северо-востоке, при этом глубокое кольцо находится внутри мелкого.

**КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ГЛУБИН
ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ И СИЛЬНЕЙШИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В РАЙОНАХ АЛЕУТ И АЛЯСКИ**



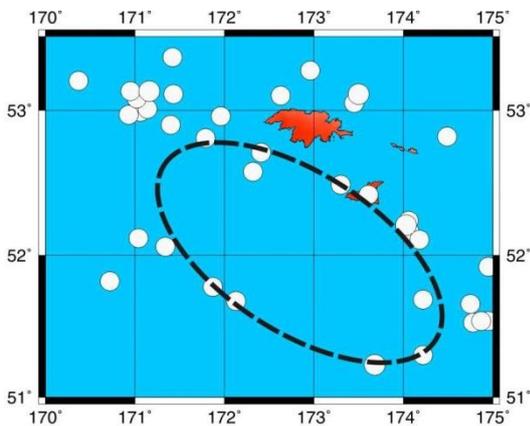
Маленький кружок - эпицентр землетрясения с $M \geq 4.0$.
Звездочка - эпицентр главного события

Рисунок 9. Сейсмичность перед землетрясением 30.11.1987 г. (с 01.01.1973 г.)

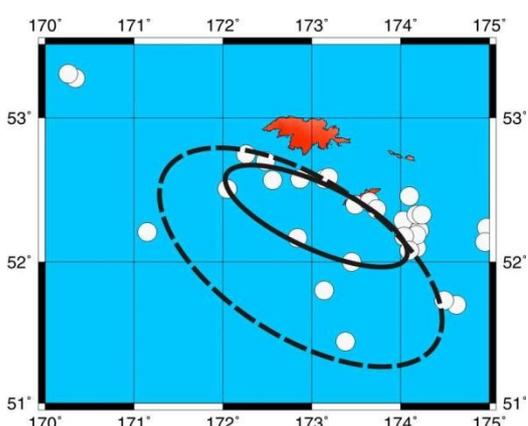


Маленький кружок - эпицентр землетрясения с $M \geq 3.8$.
Звездочка - эпицентр главного события

Рисунок 10. Сейсмичность перед землетрясением 06.03.1988 г. (с 01.01.1973 г.)



Маленький кружок - эпицентр землетрясения с $5.2 \leq M < 6.0$
Остальные обозначения - на рисунке 2
а - 0 - 33 км



Маленький кружок - эпицентр землетрясения с $4.7 \leq M < 6.0$
Остальные обозначения - на рисунке 2
б - 34 - 70 км

Рисунок 11. Район западных Алеут. Кольцевая сейсмичность в зоне сейсмического затишья

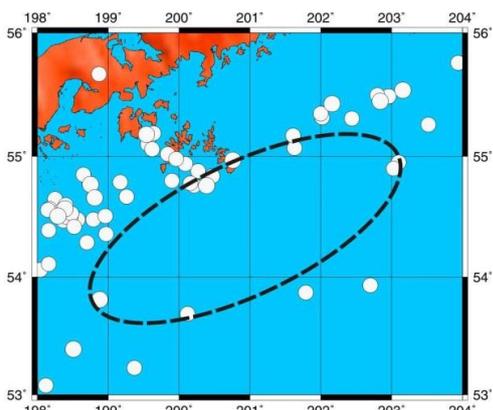
Сейсмическая брешь в районе юго-западной Аляски. Эта зона (Shumagin gap) давно служит объектом пристального внимания сейсмологов [9]. Здесь не было землетрясений с $M > \sim 8.0$, по крайней мере, с начала XX-го века. На рисунке 12 представлены характеристики сейсмичности в зоне этой брешли. Здесь также сформировались кольца сейсмичности - мелкое ($M_{п1}=5.0$, $L \sim 310$ км, $T_1=34$ года) и менее четко выраженное глубокое ($M_{п2}=4.6$, $l \sim 130$ км, $T_2=37$ лет). Мелкая кольцевая структура вытянута вдоль Аляскинской дуги, а глубокая - почти нормально к ней. Кольца касаются в западной части рассматриваемого района.

Сейсмическая брешь в районе юго-восточной Аляски находится к востоку от очага Великого Аляскинского землетрясения. На рисунке 13 показано положение эпицентров землетрясений в районе, ограниченном координатами $55-63^\circ$ N, $151-142^\circ$ W.

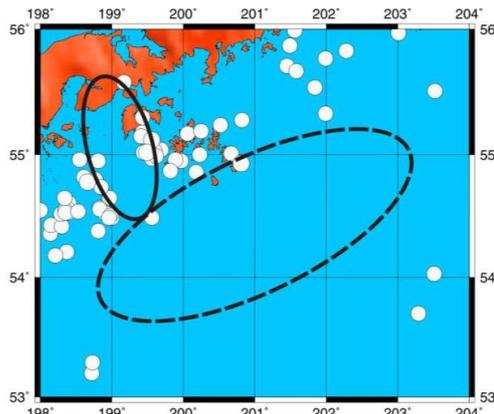
Видно, что за период с 1973 по 2011 гг. здесь сформировались крупные кольцевые структуры: широкая мелкая ($M_{п1}=5.0$, $L \sim 510$ км, $T_1=38$ лет) и относительно узкая глубокая ($M_{п2}=5.0$, $l \sim 190$ км, $T_2=38$ лет). Обе структуры вытянуты в субмеридиональном направлении и практически касаются на широте $\sim 60.5^\circ$ N. На восточную границу глубокого кольца попадает эпицентр землетрясения 28.03.1964 г., а на восточную границу мелкого кольца - очаги сильных событий 30.11.1987 и 06.03.1988 гг.

Зависимости параметров кольцевых структур от энергии главных событий. На рисунках 14 и 15 показаны зависимости $\lg L(M_w)$ и $\lg l(M_w)$ по данным, полученным для шести рассмотренных выше сильных землетрясений, произошедших в зонах субдукции.

**КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ГЛУБИН
ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ И СИЛЬНЕЙШИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В РАЙОНАХ АЛЕУТ И АЛЯСКИ**

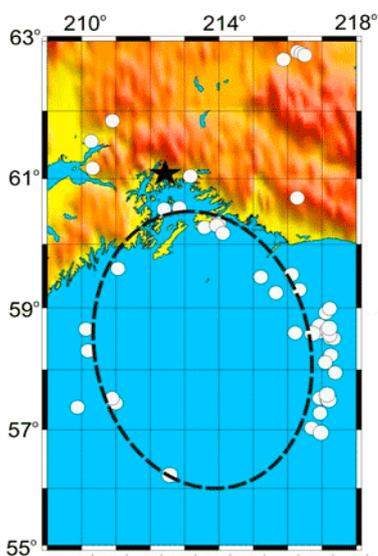


Маленькие кружки - эпицентры землетрясений $5.0 \leq M < 6.0$
Остальные обозначения - на рисунке 2
а - 0 - 33 км

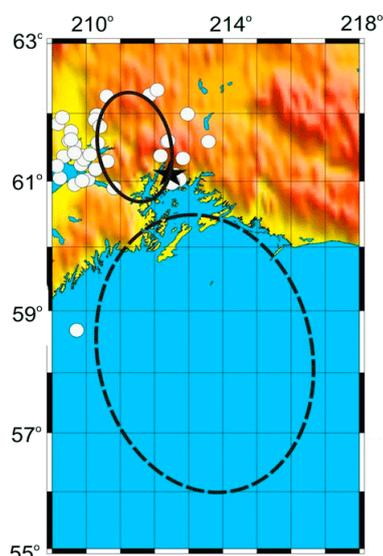


Маленькие кружки - эпицентры землетрясений $4.6 \leq M < 6.0$
Остальные обозначения - на рисунке 2
б - 34 - 70 км

Рисунок 12. Район юго-западной Аляски. Кольцевая сейсмичность в зоне сейсмической бреши

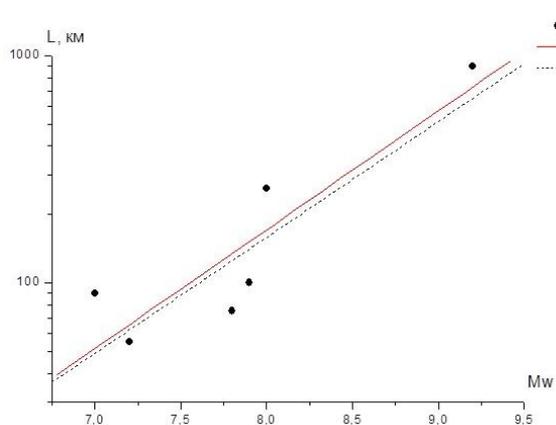


Маленький кружок - эпицентр землетрясения с $5.0 \leq M < 6.0$. Остальные обозначения - на рисунке 2
а - 0 - 33 км



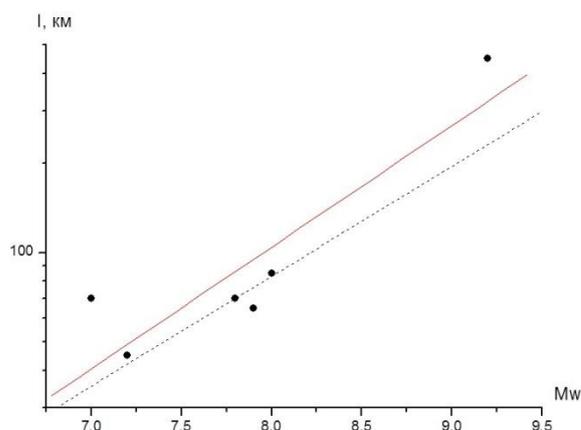
б - 34 - 70 км

Рисунок 13. Район юго-восточной Аляски. Кольцевая сейсмичность в зоне сейсмической бреши



1 - индивидуальные данные, 2 и 3 - корреляционные зависимости для районов Алеутско-Аляскинской дуги и Суматры, соответственно

Рисунок 14. Район Алеут и Аляски. Зависимость $\lg L(M_w)$



Обозначения - на рисунке 14

Рисунок 15. Район Алеут и Аляски. Зависимость $\lg l(M_w)$

**КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЗНЫХ ДИАПАЗОНАХ ГЛУБИН
ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ И СИЛЬНЕЙШИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В РАЙОНАХ АЛЕУТ И АЛЯСКИ**

Видно, что в обоих случаях наблюдаются линейные зависимости величин lgL и lgl от магнитуды событий. Уравнения регрессии имеют вид (с достаточно высоким коэффициентом корреляции r)::

$$lgL(\text{км}) = 0.52M_w - 1.94, \quad (1)$$

$$r=0.89,$$

$$lgl(\text{км}) = 0.41M_w - 1.26, \quad (2)$$

$$r=0.90,$$

Рисунки 16 и 17 иллюстрируют зависимости пороговых величин магнитуд от магнитуды события: $M_{п1}(M_w)$ и $M_{п2}(M_w)$.

Из рисунков 16, 17 видно, что пороговые величины магнитуд в кольцевых структурах растут с увеличением магнитуды M_w . Уравнения линейной регрессии описываются формулами (также с достаточно высокими коэффициентами корреляции):

$$M_{п1} = 0.72M_w - 0.96, \quad (3)$$

$$r=0.93,$$

$$M_{п2} = 0.68M_w - 0.85, \quad (4)$$

$$r=0.90.$$

Из рисунков 14 - 17 следует, что зависимости $lgL(M_w)$ и $lgl(M_w)$ для района Аляскинско-Алеутской дуги близки к аналогичным зависимостям, полученным ранее для района Суматры [2]. В то же время пороговые значения магнитуд для данного района в целом ниже, но увеличиваются с энергией главного события быстрее, чем для района Суматры.

Оценка магнитуд возможных сильных землетрясений в районах Алеут и Аляски. На основании полученных корреляционных зависимостей (1)-(4) оценена магнитуда возможных сильных событий в исследованных зонах затишья и сейсмических брешей. В таблице 3 приведены прогнозные оценки величин M_w , полученные путем осреднения значений, соответствующих различным параметрам.

Из таблицы 3 следует, что в районе западных Алеут возможно сильное землетрясение с $M_w=8.4\pm 0.2$, в зоне Шумагинской брешы – с $M_w=8.3\pm 0.2$ и в районе Южной Аляски – с $M_w=8.6\pm 0.2$.

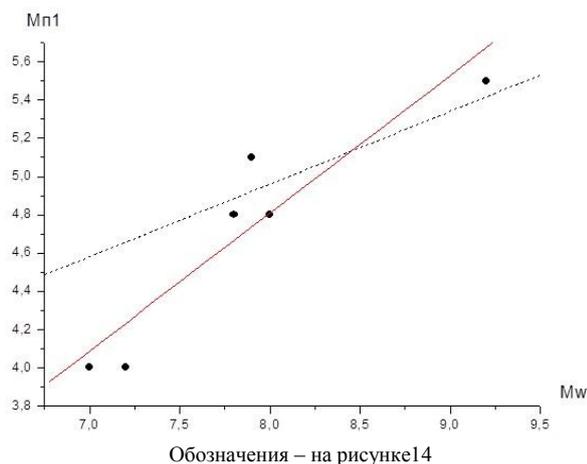


Рисунок 16. Район Алеут и Аляски. Зависимость $M_{п1}(M_w)$

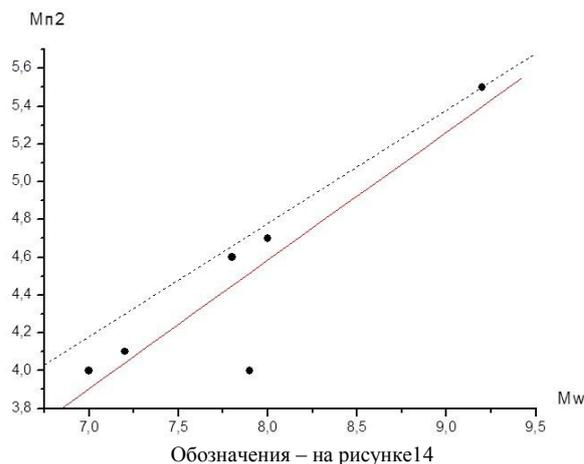


Рисунок 17. Район Алеут и Аляски. Зависимость $M_{п2}(M_w)$

Таблица 3. Величины M_w возможных сильных землетрясений в зонах сейсмических брешей

° N	° W	M_w	L, км	l, км	$M_{п1}$	$M_{п2}$	Район
51-53.5	170-175 E	8.4 ± 0.1	250	150	5.2	4.7	Зап. Алеуты
53-56	162-156	8.3 ± 0.2	310	130	5.0	4.6	Юго-зап. Аляска
55-63	151-142	8.6 ± 0.2	510	190	5.0	5.0	Юго-вост. Аляска

ОБСУЖДЕНИЕ

Данные, полученные при анализе сейсмических данных по району Алеутско-Аляскинской дуги, свидетельствуют о том, что здесь, как и в других зонах субдукции [1-5], широко развиты кольцевые структуры сейсмичности. Ранее было показано, что появление кольцевых структур связано с миграцией мантийных флюидов, играющих важную роль в процессах подготовки сильных землетрясений [1 - 5]. Существенно, что для большинства рассмотренных землетрясений, эпицентры главных событий находились вблизи областей касания или пересечения мелких и глубоких колец сейсмичности, как и в

других районах. Единственным исключением является Аляскинское землетрясение 28.03.1964 г., что, возможно, связано со значительными погрешностями в определении координат его эпицентра, обусловленными низкой плотностью сейсмических станций в очаговой зоне и ее ближайших окрестностях в начале 1960-х годов (об этом может также свидетельствовать отсутствие сейсмических событий с $M \leq 6.0$ в области мелкого кольца до 1955 г. - рисунок 8). Однако следует подчеркнуть, что эпицентры всех трех сильнейших событий XXI-го века - Суматринского 26.12.2004 г., $M_w=9.0$, Чилийского 27.02.2010 г., $M_w=8.8$ и Японского 11.03.2011 г.,

$M_w=9.0$, - находились вблизи областей пересечения или наибольшего сближения соответствующих кольцевых структур [1-3, 5]. В [1 - 3] отмечено, что данный эффект, скорее всего, связан с тем, что в таких областях имеет место максимальная толщина двухфазного слоя с заметной долей флюидов, на кровле которого достигается концентрация напряжений, приводящая, в конечном счете, к подвижке при сильном землетрясении.

Важно отметить, что кольцевые структуры выделены в зонах затишья и сейсмических брешей, где по инструментальным и историческим данным не известны события с $M \geq 8.0$. Использование корреляционных зависимостей (1)-(4) позволило оценить энергию возможных сильных землетрясений, которые могут быть связаны с соответствующими кольцевыми структурами. Пример успешного применения данной методики для прогноза места и магнитуды сильнейшего землетрясения Тохоку 11.03.2011 г. ($M_w=9.0$) в районе северо-восточной Японии уже имеется [3]. В данном случае в наиболее известной Шумагинской брешы прогнозируется сильное землетрясение с $M_w \sim 8.3$, почти такой же энергии, как и события 1938 г. и 1946 г., между очагами которых находится эта зона. Еще одно землетрясение с $M_w \sim 8.4$ можно ожидать в западной части

очаговой зоны сильнейшего события 04.02.1965 г. Самое сильное землетрясение ($M_w \sim 8.6$) может произойти в районе Южной Аляски. Следует отметить, что мелкая кольцевая структура сейсмичности в этой зоне выражена лучше, чем в двух других рассматриваемых зонах, что может свидетельствовать о более высокой вероятности в ближайшие годы сильного землетрясения в районе Южной Аляски. С учетом полученных данных целесообразно вести постоянный мониторинг различных геофизических и геохимических параметров в трех выделенных зонах для возможного среднесрочного прогноза сильных сейсмических событий (таблица 3).

Следует заметить, что мелкие и, тем более, глубокие кольцевые структуры даже с достаточно низкими величинами M_{pl} не выделены перед двумя сильными землетрясениями, произошедшими к югу от Аляскинского желоба (рисунки 9, 10). Это можно объяснить низким содержанием свободных флюидов в литосфере океанической плиты до начала ее погружения под континент Северной Америки [11]. Флюиды начинают выделяться из гидратированных пород океанической коры при соответствующих термодинамических условиях, которые достигаются на глубине несколько десятков километров [11, 12].

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. Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин в районе северо-восточной Японии / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2009. – Вып. 3. – С. 88 - 97.
4. 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.
5. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин в регионе Южной Америки / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2010. – Вып. 1. – С. 100 - 110.
6. Christensen, D. The rupture process and tectonic implications of the great 1964 Prince William Sound earthquake / D. Christensen, S. Beck // Pure Appl. Geophys, 1994. – V. 142. – P. 29 - 53.
7. Ruppert, N. Seismicity, earthquakes and structure along the Alaska-Aleutian and Kamchatka-Kurile subduction zones / N. Ruppert, J. Lees, N. Kozyreva // Volcanism and subduction: the Kamchatka region. Geophysical monograph series 172, 2007. – P. 129 - 144.
8. Beck, S. Rupture process of the February 4, 1965, Rat Islands earthquake / S. Beck, D. Christensen // J. Geophys. Res., 1991. – V. 96. – P. 2205 - 2221.
9. Davies, J. Shumagin seismic gap, Alaska peninsula: history of great earthquakes, tectonic setting, and evidence for high seismic potential / J. Davies, L. Sykes, L. House, K. Jacob // J. Geophys. Res, 1981. – V. 86. – P. 3821 - 3855.
10. Engdahl, E. Global seismicity: 1990 - 1999 / E. Engdahl, A. Villasenor // Earthquake & engineering seismology. Part A. Academic Press. An imprint of Elsevier Science, 2002. – P. 665 - 690.
11. 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.
12. Калинин, В.А. Геодинамические эффекты физико-химических превращений в твердой среде / В.А. Калинин, М.В. Родкин, И.С. Томашевская. - М.: Наука, 1989. – 157 с.

**АЛЕУТ ЖӘНЕ АЛЯСКА АУДАНДАРЫНДА ҚАТТЫ ЖӘНЕ ӨТЕ
ҚАТТЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕР АЛДЫНДА ТЕРЕҢДІКТІҢ ӘР АУҚЫМДАРЫНДА
СЕЙСМИКАЛЫҒЫНЫҢ САҚИНАЛЫ ҚҰРЫЛЫМДАРЫ**

¹⁾Копничев Ю.Ф., ²⁾Соколова И.Н.

¹⁾*РҒА О.Ю. Шмидт атындағы Жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей*

²⁾*ҚР ҰЯО геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

1964 - 2007 ж.ж. болған $M_w = 7.0 - 9.2$ қатты және өте қатты жерсілкінулер алдында тереңдіктің екі ауқымы үшін: 0 - 33 и 34 - 70 км. Алеут және Аляска аудандары, сондай-ақ сейсмикалық тесіктер зоналарында сейсмикалылығының сипаттамалары талдануда. Алты оқиға алдында, сондай-ақ тесіктердің үш зонасында тереңдіктің екі ауқымында сейсмикалылығының сақиналы құрылымдары бөлінген. Басты жерсілкінулердің эпиортальқтары, әдеттегідей, «таяз» және «терең» сейсмикалылық сақиналары қиылысу немесе бір біріне ең жақын облыстарында болуы көрсетілген. Суматра, солтүстік-шығыс Жапония және Оңтүстік Америка аудандарына ұқсастығы бойынша, сейсмикалылығының сақиналы құрылымдардың сипаттамаларына сүйеніп, сейсмикалық тесіктер зоналарында дайындалудағы қатты жерсілкінулердің магнитудаларының болжамды бағалары жасалған.

**RING-SHAPED SEISMICITY STRUCTURES IN DIFFERENT DEPTH RANGES PRIOR
TO LARGE AND GREAT EARTHQUAKES IN THE REGIONS OF ALEUTIANS AND ALASKA**

¹⁾Yu.F. Kopychev, 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 seismicity characteristics of Aleut and Alaska areas for depth ranges of 0 – 33 and 34 - 70 km, before large and great earthquakes ($M_w=7.0 - 9.2$), occurred in 1964 - 2007, as well as in seismic gap zones have been analysed. Before six events and in three gap zones ring-shaped seismicity structures were formed in both depth ranges. As shown in the paper, epicenters of main earthquakes were located near areas of intersection or maximal convergence of “shallow” and “deep” rings of seismicity. The prognostic magnitude estimates of preparing large earthquakes in seismic gap zones were done by the analogy with Sumatra, north-eastern Japan and South America regions, based on ring-shaped seismicity structure characteristics.