

УДК 550.34

## КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ, ФОРМИРУЮЩИЕСЯ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РАЙОНАХ

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

<sup>1)</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

<sup>2)</sup>Институт геофизических исследований НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Рассматриваются характеристики сейсмичности перед 53 неглубокими сильными и сильнейшими землетрясениями, произошедшими во внутриконтинентальных районах. Установлено, что перед сильными межплитными землетрясениями формируются кольцевые структуры сейсмичности в диапазоне глубин 0–33 км. Такие структуры не выявлены перед сильными внутриплитными событиями. Показано, что размер кольцевых структур ( $L$ ), а также пороговые значения магнитуды ( $M_p$ ) существенно зависят от типа подвижки в очаге. Получены корреляционные зависимости величин  $L$  и  $M_p$  от магнитуды главных событий для землетрясений с различными механизмами очагов. Обсуждается природа кольцевых структур.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы установлено, что перед многими сильными землетрясениями в течение нескольких десятков лет формируются кольцевые структуры сейсмичности, оконтуривающие области относительного сейсмического затишья [1 – 7]. Такие структуры образуются эпицентрами событий с магнитудами  $M \geq M_p$ , где  $M_p$  – пороговые значения, которые растут с энергией главных землетрясений. Для нескольких зон субдукции получены корреляционные зависимости  $IgL(M_w)$  и  $M_p(M_w)$ , где  $L$  – длины больших осей колец сейсмичности,  $M_w$  – магнитуды соответствующих им сильных событий [1 – 7]. Использование этих зависимостей позволяет по характеристикам кольцевых структур прогнозировать место и энергию готовящихся сильных землетрясений [5, 7]. Для уточнения таких прогнозов необходимо исследовать, в частности, зависимости параметров кольцевых структур от типа земной коры (континентальная и океаническая), средней скорости ее деформации (межплитные – *interplate*, и внутриплитные – *intraplate* события [8]), а также от механизмов очагов (поскольку хорошо известно, что при прочих равных условиях размеры очаговых зон

существенно различаются для разных типов подвижек [9]). Решению этих задач и посвящена настоящая статья.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Рассматривались характеристики сейсмичности перед 53 сильными и сильнейшими землетрясениями ( $M_w=6.0-8.6$ ) в разных районах земного шара с корой континентального типа (таблица 1). Отбирались события с  $M \geq M_p$  в диапазоне глубин 0 – 33 км, зарегистрированные в интервалах времени  $T \leq 50$  лет перед главными событиями. При этом использованы сейсмические каталоги USGS (United States Geological Survey), ISC (International Seismological Centre), а также полученные для различных районов бывшего СССР. Обработаны данные о характеристиках сейсмичности перед 45 межплитными и 8 внутриплитными землетрясениями (таблица 1). При этом были отобраны лишь те события, очаги которых находились достаточно далеко от активных окраин континентов. По этой причине не рассматривались сильные землетрясения из районов Калифорнии, Аляски и некоторых других.

Таблица 1. Параметры кольцевых структур, формирующихся перед сильными землетрясениями в континентальных районах

Дата	$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$	$h$ , км	$M_w$	$L$ , км	$M_p$	$T$ , лет	Механизм	Район
15.08.1950	28.70	96.60	30	8.6	820	6.0	27	сдвига-надвиг	Ассам
16.12.1954	39.30	-118.10	16	7.1	210	5.5	22	сбросо-сдвиг	Невада
18.08.1959	44.70	-110.80	10	7.5	440	4.0	25	сброс	США
08.04.1976	40.31	63.77	33	6.6	-	$\geq 4.0$	-	взброс	Газли*
28.10.1983	44.06	-113.86	10	7.0	340	4.0	20	сброс	США
22.12.1983	11.87	-13.53	11	6.3	-	$\geq 3.0$	-	сбросо-сдвиг	Гвинея*
23.08.1985	39.44	75.24	6	7.0	110	4.0	16	взбросо-сдвиг	Тянь-Шань
22.01.1988	-19.83	133.88	5	6.6	-	$\geq 3.0$	-	взбросо-сдвиг	Австралия*
25.12.1989	60.08	-73.45	5	6.3	-	$\geq 3.0$	-	взброс	Канада*
05.03.1990	37.04	72.85	18	6.1	170	3.8	17	сброс	Гиндукуш
20.05.1990	5.11	32.18	7	7.2	-	$\geq 3.0$	-	сбросо-сдвиг	Судан*
20.06.1990	37.01	49.21	18	7.4	420	4.4	17	сдвиг	Иран
29.04.1991	42.43	43.67	7	7.0	150	4.0	23	взброс	Грузия
19.10.1991	30.78	78.77	10	6.8	150	4.5	24	взброс	Гималаи
19.08.1992	42.11	73.61	13	7.2	160	4.1	21	взброс	Тянь-Шань
29.09.1993	18.07	76.45	6	6.3	-	$\geq 3.0$	-	взброс	Индия*

**КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ, ФОРМИРУЮЩИЕСЯ  
ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РАЙОНАХ**

Дата	$\phi^\circ$	$\lambda^\circ$	h, км	Mw	L, км	Mп	T, лет	Механизм	Район
27.05.1995	52.60	142.82	11	7.1	240	4.0	22	взбросо-сдвиг	Сахалин
19.11.1996	35.35	78.13	33	6.9	260	4.5	21	сдвиг	Каракорум
04.02.1997	37.66	57.29	10	6.5	140	4.5	27	сдвиг	Копетдаг
27.02.1997	29.94	68.19	24	7.1	85	4.2	24	взбросо-сдвиг	Пакистан
10.05.1997	33.83	59.80	12	7.2	260	4.1	19	сдвиг	Иран
08.11.1997	35.11	87.37	24	7.5	480	5.0	24	сдвиг	Тибет
30.05.1998	37.11	70.11	33	6.6	110	4.5	20	сдвиг	Памир
28.03.1999	30.51	79.40	15	6.6	60	4.0	22	взбросо-сдвиг	Гималаи
17.08.1999	40.75	29.94	17	7.6	280	4.5	24	сдвиг	Турция
25.11.2000	40.25	49.95	26	6.5	120	3.6	17	сброс	Кавказ
06.12.2000	39.57	54.80	30	7.0	75	4.2	23	взбросо-сдвиг	Копетдаг
26.01.2001	24.42	70.23	16	7.6	-	$\geq 3.8$	-	взбросо-сдвиг	Индия*
14.11.2001	35.95	90.54	10	7.8	700	5.5	28	сдвиг	Тибет
24.10.2002	-1.88	29.00	11	6.2	160	4.2	25	сброс	Танганьика
20.11.2002	35.41	74.52	33	6.3	120	3.7	22	сбросо-сдвиг	Кашмир
27.01.2003	39.50	39.88	10	6.1	60	3.8	25	сдвиг	Турция
01.05.2003	39.01	40.64	10	6.3	120	4.0	28	сдвиг	Турция
21.09.2003	19.92	95.67	10	6.6	150	3.8	28	сдвиг	Мьянма
27.09.2003	50.04	87.81	16	7.3	220	4.1	21	сдвиг	Алтай
22.02.2005	30.75	56.82	14	6.4	90	4.0	28	взброс	Иран
07.04.2005	30.49	83.16	11	6.3	120	4.0	20	сбросо-сдвиг	Тибет
08.10.2005	34.54	73.59	26	7.6	130	4.0	28	сдвиго-надвиг	Гималаи
05.12.2005	-6.22	29.83	22	6.8	150	4.0	32	сбросо-сдвиг	Танганьика
22.02.2006	-21.32	33.58	11	7.0	200	4.3	33	сбросо-сдвиг	Мозамбик
02.08.2007	47.12	141.80	5	6.2	65	4.0	20	взброс	Сахалин
09.01.2008	32.30	85.32	13	6.4	130	3.6	34	сбросо-сдвиг	Синьцзян
20.03.2008	35.49	81.47	10	7.2	240	4.5	34	сбросо-сдвиг	Кунь-Лунь
12.05.2008	31.00	103.32	19	7.9	370	5.0	33	взбросо-сдвиг	Китай
25.08.2008	30.90	83.52	12	6.7	140	4.5	25	сброс	Тибет
27.08.2008	51.61	104.16	16	6.1	190	3.4	17	сбросо-сдвиг	Байкал
05.10.2008	39.53	73.82	27	6.7	55	4.0	32	взбросо-сдвиг	Тянь-Шань
08.03.2010	38.86	39.99	12	6.1	85	3.7	35	сдвиг	Турция
13.04.2010	33.17	96.55	17	6.9	180	3.7	33	сдвиг	Цинхай
20.12.2010	28.41	59.18	12	6.5	130	4.0	20	сдвиг	Иран
24.03.2011	20.69	99.82	8	6.8	190	4.0	30	сдвиг	Мьянма
18.09.2011	27.72	88.06	20	6.9	160	3.7	31	сдвиг	Сикким
14.10.2011	54.11	123.72	15	6.1	-	$\geq 3.5$	-	сдвиг	Россия*
23.10.2011	38.63	43.49	20	7.2	95	3.7	14	взбросо-сдвиг	Турция

Примечание: \* - внутриплитное землетрясение

Исследованные события объединены в три группы по типам механизмов очагов: первая – сбросы и сбросо-сдвиги, вторая – сдвиги, третья – взбросы, взбросо-сдвиги и сдвиго-надвиги. В дальнейшем для краткости эти группы называются сбросы, сдвиги и взбросы, соответственно.

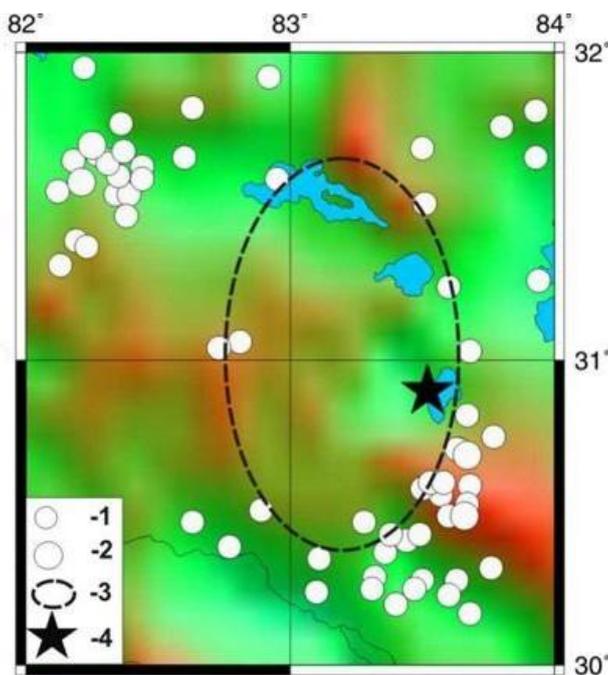
#### АНАЛИЗ ДАННЫХ

*Межплитные (interpolate) землетрясения* происходят на границах литосферных плит, в районах, характеризующихся относительно высокими скоростями деформации земной коры [8]. На рисунке 1 показаны характеристики сейсмичности перед землетрясением 25.08.2008 г. в районе Гималаев (Mw=6.7, механизм – почти чистый сброс). В приведенном примере за время Tп=25 лет сформировалась коль-

цевая структура (Mп=4.5), вытянутая в субмеридиональном направлении, с длиной большой оси L=140 км. Максимальная магнитуда Mmax события в районе кольца сейсмичности составляла 6.2. Эпицентр главного землетрясения находился на расстоянии ~10 км от восточного края кольца.

На рисунке 2 приведены данные о сейсмичности перед землетрясением 19.11.1996 г. (Mw=6.9) в районе западного Тибета (механизм – почти чистый сдвиг). Видно, что события с M=4.5-5.5 за 21 год сформировали кольцо с большой осью размером 260 км, вытянутое в субширотном направлении. Эпицентр главного землетрясения находился практически на границе кольцевой структуры

**КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ, ФОРМИРУЮЩИЕСЯ  
ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РАЙОНАХ**

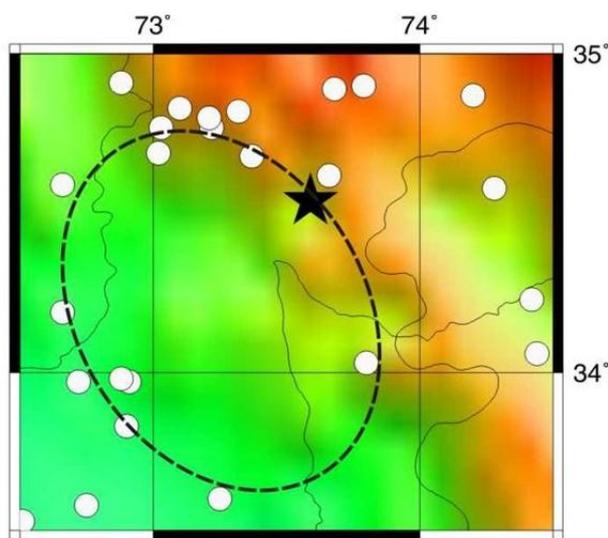


Глубины – 0 - 33 км. Эпицентры землетрясений: 1 -  $M=4.0-5.9$ ; 2 -  $M \geq 6.0$ ; 3 – кольцевая структура; 4 - эпицентр главного события

*Рисунок 1. Характеристики сейсмичности перед землетрясением 25.08.2008 г. в районе Гималаев*

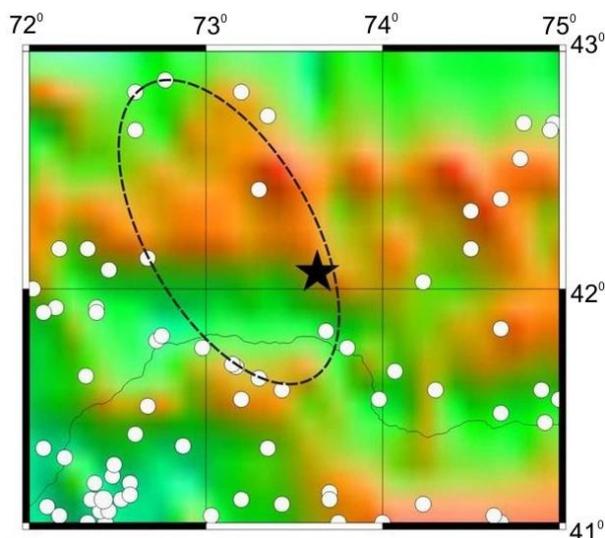
На рисунке 3 показана сейсмичность в районе Центрального Тянь-Шаня. Здесь в период 01.01.1970 - 18.08.1992 г.г. перед Сусамырским землетрясением ( $M_w=7.2$ , механизм очага - взброс) сформировалось кольцо сейсмичности ( $M_p=4.2$ ,  $M_{max}=4.7$ ) с боль-

шой осью длиной 160 км, вытянутое в направлении на северо-северо-запад. В данном случае эпицентр главного события находился на расстоянии около 10 км от восточного края кольцевой структуры.



Обозначения – на рисунке 1

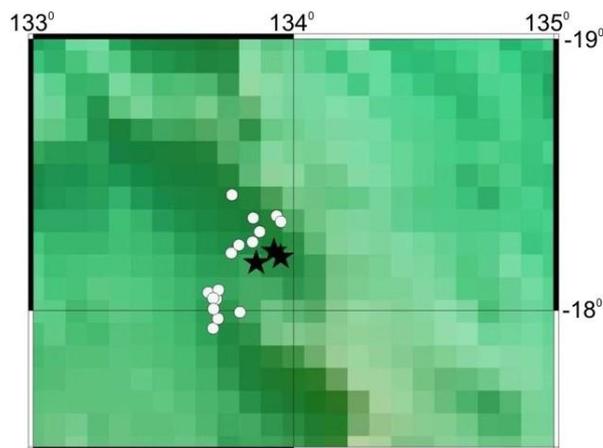
*Рисунок 2. Характеристики сейсмичности перед землетрясением 19.11.1996 г. в районе западного Тибета*



Малый кружок -  $M=4.2-5.9$ . Остальные обозначения – на рисунке 1

*Рисунок 3. Характеристики сейсмичности перед Сусамырским землетрясением 19.08.1992 г. в районе Центрального Тянь-Шаня*

КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ, ФОРМИРУЮЩИЕСЯ  
ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РАЙОНАХ



Кружок – эпицентр землетрясения с  $M \geq 3.5$ . Звездочка – эпицентр событий роя

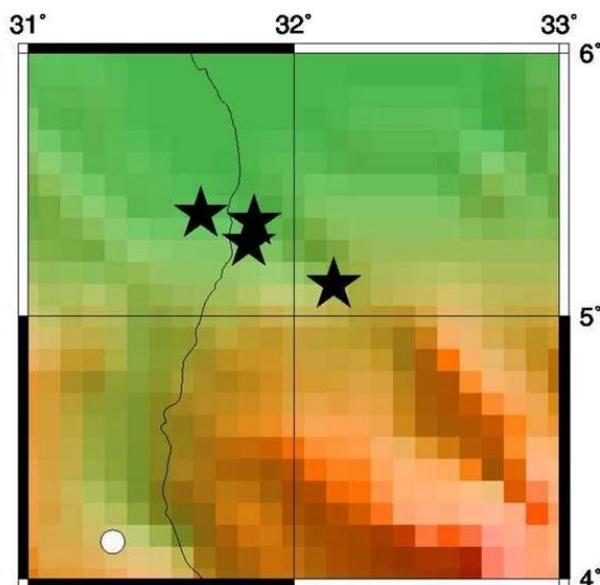
Рисунок 4. Характеристики сейсмичности перед роём землетрясений 22.01.1988 г. в районе центральной Австралии

Кольца сейсмичности выделены также и для многих других рассмотренных межплитных землетрясений (таблица 1). Следует отметить, что в подавляющем большинстве случаев наибольшие магнитуды событий, формирующих кольцевые структуры ( $M_{max}$ ), значительно ниже магнитуд соответствующих главных землетрясений. Кроме того, эпицентры сильных событий находятся обычно вблизи границ кольцевых структур.

*Внутриплитные (intraplate) землетрясения* происходят внутри литосферных плит, характеризующихся очень низкими скоростями деформации [8]. Один из примеров таких событий (рисунок 4) – три землетрясения, которые произошли 22.01.1988 г. в

слабосейсмичном районе центральной Австралии ( $M_w=6.3-6.6$ , механизмы – взбросы). Из рисунка 4 следует, что перед ними в период с 01.01.1964 г. по 21.01.1988 г. были зарегистрированы события с  $M=3.5 - 5.2$ . Эпицентры этих землетрясений были в основном сгруппированы в узкой полосе длиной ~50 км, но они не сформировали сколько-нибудь заметной кольцевой структуры.

На рисунке 5 представлены характеристики сейсмичности в районе Судана, где с 20 мая 1990 г. в течение двух месяцев произошел роём из четырех сильных землетрясений с  $M_w=6.5-7.2$  (механизм очагов – сбросо-сдвиг).



Кружки – эпицентры землетрясений с  $M \geq 3.0$ . Звездочки – эпицентры событий роя

Рисунок 5. Характеристики сейсмичности перед роём землетрясений 1990 г. в районе Судана

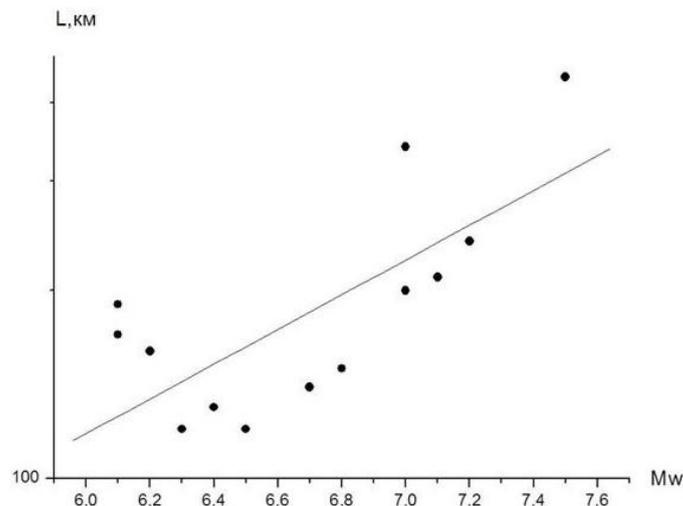


Рисунок 6. Зависимость параметров  $lgL$  от  $Mw$  для сбросов

Из рисунка 5 видно, что с 01.01.1964 г. по 19.05.1990 г. имели место всего три события с магнитудой более 3.0 ( $M=4.1 - 5.1$ ), поэтому здесь также не могло сформироваться кольцо сейсмичности. Сходные результаты получены и для остальных рассмотренных сильных внутриплитных землетрясений (таблица 1). Таким образом, перед внутриплитными

событиями, в отличие от межплитных, не формируются кольцевые структуры сейсмичности.

Зависимости параметров кольцевых структур от механизмов главных событий. На рисунках 6 - 8 показаны зависимости размеров кольцевых структур от магнитуды для разных типов подвижек в очагах главных событий – сбросов (рисунок 6), сдвигов (рисунок 7), взбросов (рисунок 8).

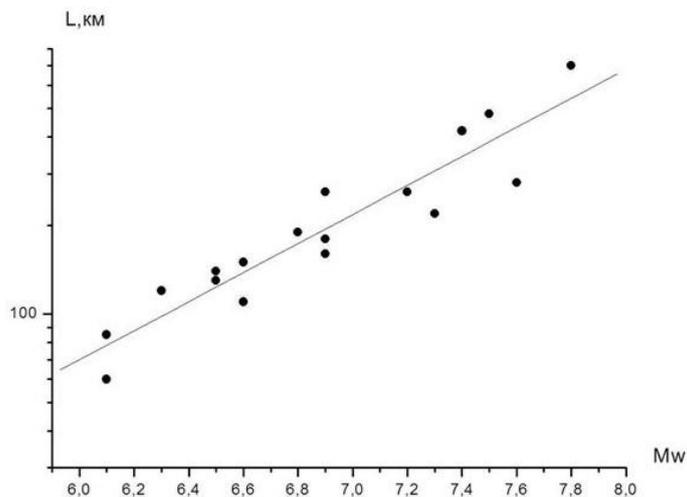


Рисунок 7. Зависимость параметров  $lgL$  от  $Mw$  для сдвигов

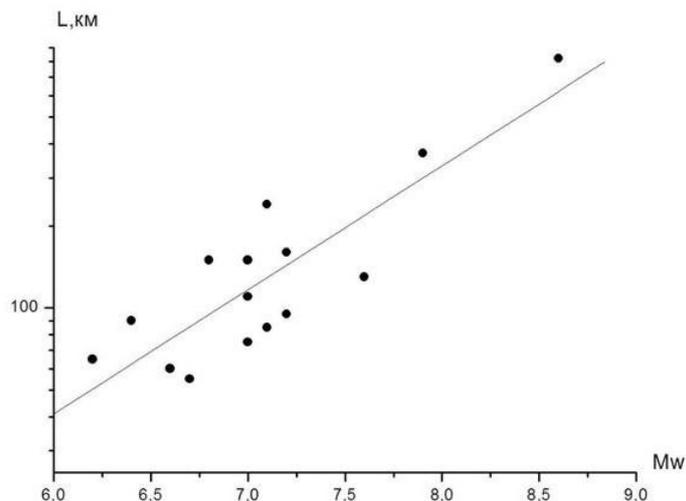


Рисунок 8. Зависимость параметров  $lgL$  от  $M_w$  для взбросов

Из этих рисунков видно, что во всех трех случаях наблюдаются линейные зависимости  $lgL(M_w)$ . При этом уравнения линейной регрессии описываются формулами:

$$lgL = 0.40 + 0.28M_w, r=0.73 \quad (1)$$

для сбросов,

$$lgL = -1.12 + 0.49M_w, r=0.94 \quad (2)$$

для сдвигов и

$$lgL = -1.11 + 0.45M_w, r=0.85 \quad (3)$$

для взбросов ( $r$  – коэффициент корреляции). Из зависимостей (1 - 3) следует, что средние размеры колец сейсмичности существенно различаются для трех рассматриваемых групп событий. Для одних и

тех же величин  $M_w$  параметры  $L$  для взбросов значительно (в 1.5 - 3 раза в диапазоне  $M_w=6.0 - 7.0$ ) ниже, чем для сдвигов и сбросов. При  $M_w \sim 6.0$  размеры колец максимальны для сбросов, однако они увеличиваются с ростом магнитуды медленнее, чем для других типов подвижек, так что при  $M_w > 7.0$  становятся меньше, чем для сдвигов. Из рисунков 6-8 также следует, что для всех механизмов очагов величины  $L$  значительно ниже, чем для района Суматры [2] ( в 2.5 - 4 раза в диапазоне магнитуд  $M_w=7.0 - 8.0$ ).

На рисунках 9 - 11 показаны зависимости пороговых значений магнитуды от величин  $M_w$ .

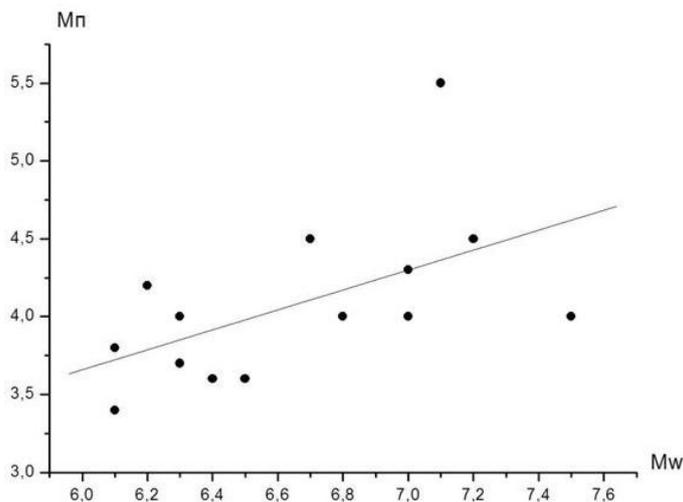


Рисунок 9. Зависимость параметров  $M_p$  от  $M_w$  для сбросов

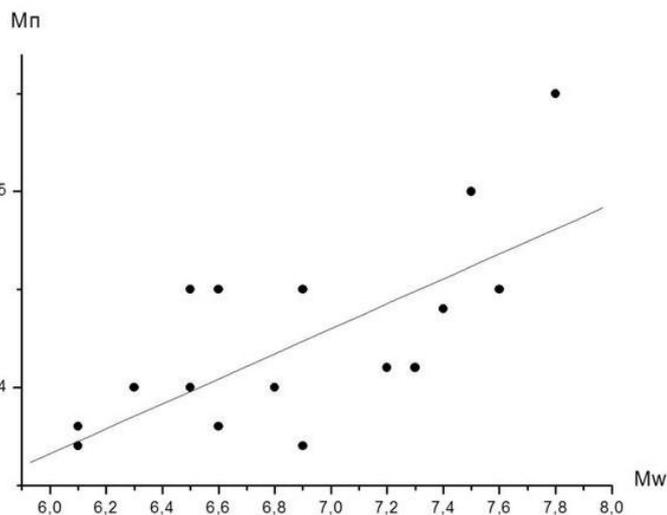


Рисунок 10. Зависимость параметров  $M_p$  от  $M_w$  для сдвигов

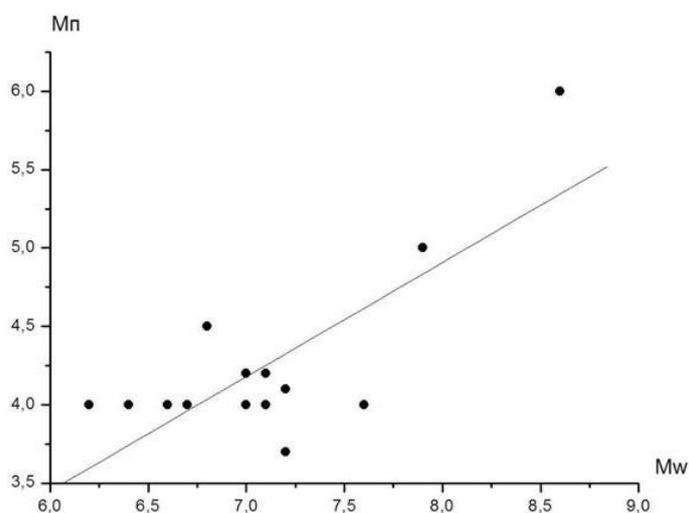


Рисунок 11. Зависимость параметров  $M_p$  от  $M_w$  для взбросов

Параметры  $M_p$  растут с увеличением  $M_w$ , корреляционные зависимости описываются следующими формулами:

$$M_p = -0.19 + 0.64M_w, r=0.55, \quad (4)$$

$$M_p = -0.17 + 0.64M_w, r=0.67, \quad (5)$$

$$M_p = -0.92 + 0.73M_w, r=0.77 \quad (6)$$

для сбросов, сдвигов и взбросов, соответственно.

Из рисунков 9 – 11 видно, что, в отличие от размеров колец, зависимости  $M_p$  почти одинаковы для всех типов подвижек. Кроме того, в диапазоне  $M_w \sim 7.0 - 8.0$  они достаточно близки к аналогичным зависимостям, полученным для зоны субдукции в районе Суматры [2]. Следует заметить, что коэффи-

циенты корреляции в зависимостях (4 - 6) существенно ниже, чем в выражениях (1 - 3).

Рисунки 12 - 14 иллюстрируют зависимости времени формирования кольцевых структур от магнитуды. Из них следует, что в рассматриваемом диапазоне  $M_w$  величины  $T_p$  для всех типов подвижек варьируются в диапазоне 14 - 35 лет и практически не зависят от магнитуды главного события. Средние значения  $T$  равны  $24 \pm 6$ ;  $25 \pm 5$ ;  $24 \pm 5$  лет, соответственно для сбросов, сдвигов и взбросов. Таким образом, судя по полученным данным, длительность формирования колец сейсмичности не зависит и от механизма готовящегося землетрясения.

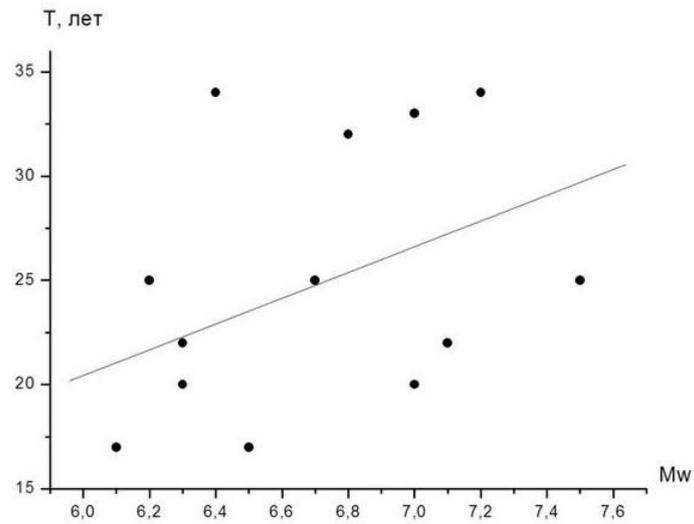


Рисунок 12. Зависимость параметров  $T_n$  от  $M_w$  для сбросов

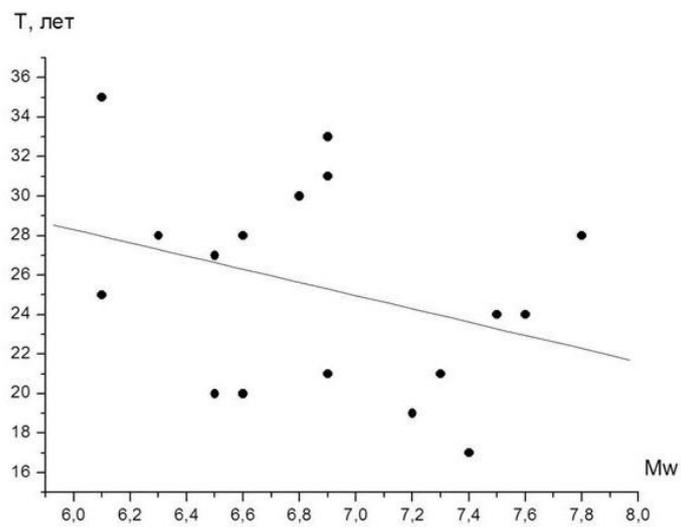


Рисунок 13. Зависимость параметров  $T_n$  от  $M_w$  для сдвигов

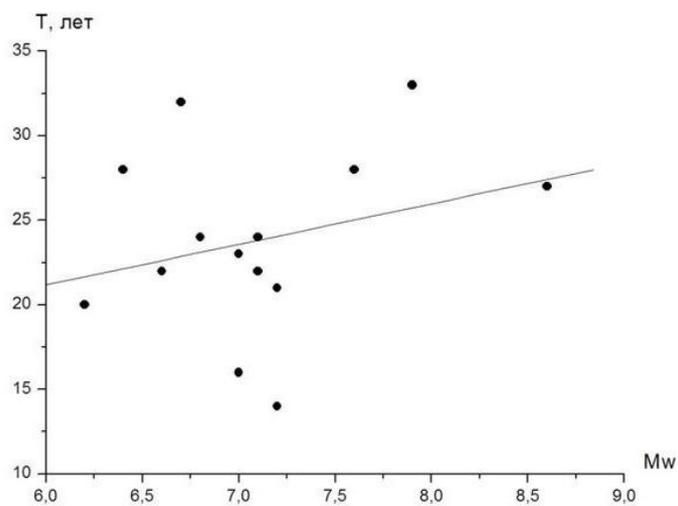


Рисунок 14. Зависимость параметров  $T_n$  от  $M_w$  для взбросов

### ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о том, что во внутриконтинентальных районах, так же, как и в зонах субдукции, перед сильными межплитными землетрясениями формируются неглубокие кольцевые структуры сейсмичности. В то же время, по данным авторов, глубокие кольца сейсмичности (на глубинах 34 - 70 км), в отличие от активных окраин континентов [1 - 7], проявляются здесь достаточно редко. Мелкие кольцевые структуры в континентальных районах не выделяются перед сильными внутриплитными землетрясениями. Следует отметить, что аналогичный эффект был установлен ранее для двух внутриплитных землетрясений ( $M_w=7.9$  и  $7.8$ ), произошедших в 1987 и 1988 гг. в океанической плите к югу от Аляски [6].

В [10] было показано, что в очаговых зонах сильных межплитных землетрясений сразу после таких событий наблюдается высокое поглощение короткопериодных S-волн, что свидетельствует о достаточно большом содержании флюидов в нижней коре и верхах мантии. Формирование кольцевых структур связывается с эффектом самоорганизации геологических систем, обеспечивающим подъем глубинных флюидов, что, в конечном счете, ведет к уменьшению потенциальной энергии Земли [1 - 7]. В связи с этим отсутствие колец сейсмичности перед сильными внутриплитными землетрясениями можно объяснить низким содержанием свободных флюидов в таких районах.

Можно полагать, что формирование колец сейсмичности свидетельствует об образовании слоя двухфазной среды со связанной сетью флюидов, которая обеспечивает концентрацию напряжений на его кровле [1 - 7, 11]. Как известно, величина дополнительных напряжений пропорциональна мощности двухфазного слоя [12]. В [1, 2, 4 - 7] показано, что в зонах субдукции обычно формируются кольцевые структуры сейсмичности в двух диапазонах глубин: 0 - 33 и 34 - 70 км. При этом эпицентры сильных землетрясений, как правило, находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения кольцевых структур, где достигается максимальная мощность двухфазного слоя со связанной сетью флюидов. Это позволяет объяснить известный парадокс, сформулированный Дж. Райсом [13]: горизонтальные напряжения малы на границах плит, движущихся с большими скоростями, где и происходят сильнейшие землетрясения, и велики во внутриконтинентальных районах, где сильные землетрясения происходят относительно редко. Большие дополнительные напряжения на кровле субвертикальной зоны двухфазного материала обеспечивают триггерный эффект, приводящий к инициированию сильного землетрясения при сравнительно низком уровне общих горизонтальных напряжений.

Сопоставление с данными, полученными ранее для районов Суматры, Южной Америки, северо-вос-

точной Японии, Алеут и Аляски [2,4 - 7] показывает, что размеры колец сейсмичности для данной  $M_w$  во внутриконтинентальных районах в несколько раз больше, чем в зонах субдукции. Для объяснения этого эффекта можно предположить, что энергия готовящегося сильного землетрясения пропорциональна потенциальной энергии, высвобождающейся при подъеме глубинных флюидов. В этом случае имеет место значительно более низкое среднее содержание флюидов в литосфере внутриконтинентальных районов по сравнению с зонами субдукции, о чем можно судить по характеристикам поля поглощения [14] и оно компенсируется увеличением размеров колец сейсмичности, на границах которых и происходит подъем флюидов перед сильными землетрясениями [3].

Полученные в последние годы данные свидетельствуют о том, что подъем флюидов в литосфере сейсмоактивных районов происходит в значительной степени в результате землетрясений [10, 15]. Это может объяснить близкие величины пороговых значений магнитуд (для данной  $M_w$ ) в зонах субдукции и внутриконтинентальных районах [2, 4, 5 - 7].

Таким образом, различие размеров колец сейсмичности в зонах субдукции и внутри континентов, а также их отсутствие для внутриплитных событий коррелируется с содержанием флюидов в литосфере различных районов. Отметим, что различие доли свободных флюидов, вероятно, позволяет объяснить и разные периоды повторяемости сильных землетрясений в этих районах. Как известно, для магнитуды  $M_w \sim 8$  величины  $T_p$  в зонах субдукции составляют в среднем около 100 тыс. лет, в то время как в районах Алтая и Монголии  $\sim 2-3$  тысячи лет [16]. В то же время для гораздо более слабых внутриплитных событий с  $M_w \sim 6-7$  в слабосейсмичных районах Австралии и Индии, где кольцевые структуры не формируются, по палеосейсмическим данным величины  $T_p$  оцениваются в несколько десятков тысяч лет [8]. Возможно, что данный эффект связан с резким различием скорости вертикальной миграции флюидов в различных тектонических структурах до начала этапа формирования колец сейсмичности такая миграция происходит по граням зерен под действием сдвиговых напряжений относительно медленно [17]). В то же время сам этот этап, скорее всего, начинается после достижения определенной пороговой концентрации флюидов в нижней коре и верхах мантии в окрестностях будущего очага землетрясения.

Можно предполагать, что существенное различие средних размеров колец сейсмичности при прочих равных условиях для разных механизмов очагов также обусловлено вариациями содержания флюидов в литосфере. Дело в том, что для сбросов (и в меньшей степени для сдвигов, для которых формируются кулисообразные структуры [18]), в условиях близгоризонтального растяжения имеет место наибольшая проницаемость горных пород. Это должно приводить к большей скорости миграции флюидов и

к гораздо более быстрому “осушению” литосферы. Существуют следующие экспериментальные данные, подтверждающие данный вывод. Во-первых, в работе [14] показано, что в районе Байкальской рифтовой зоны, одной из крупнейших на континентах, наблюдается достаточно слабое поглощение S-волн в литосфере по сравнению с теми районами Центральной Азии, где доминирует напряжение сжатия, например, Тянь-Шанем. Во-вторых, по мировым данным, после сильных землетрясений подъем флюидов из верхов мантии действительно происходит гораздо интенсивнее для сбросов и сдвигов по сравнению со взбросами и надвигами [10].

Пока неясно, с чем связана практическая независимость времени формирования кольцевых структур от магнитуды и механизма очага (отметим, что для зоны субдукции в районе северо-восточной Японии средняя величина  $T_p$  для мелких колец в диапазоне магнитуд  $M_w=7.0 - 9.0$  составляет  $26 \pm 6$  лет [7], что достаточно близко к полученным нами оценкам для внутриконтинентальных районов). Возможно, этот эффект объясняется практическим постоянством средней скорости подъема флюидов на этапе формирования кольцевых структур (в отличие от этапа миграции флюидов по граням зерен [17]).

Полученные результаты дают возможность существенно уточнять прогноз магнитуд готовящихся сильных землетрясений во внутриконтинентальных районах, хотя бы потому, что механизмы сильных землетрясений достаточно устойчивы в определенных тектонических структурах. Так, например, хо-

рошо известно, что в рифтовых зонах доминируют сбросы и сбросо-сдвиги [19, 20], а в районе Тянь-Шаня – взбросы и взбросо-сдвиги [20]. При этом, судя по коэффициентам корреляции для зависимостей (1) – (6), наиболее надежные оценки величин  $M_w$  могут быть получены на основании оценок размеров кольцевых структур. Исключение составляет группа взбросов, для которой можно также использовать параметр  $M_p$  (для нее получен относительно высокий коэффициент корреляции). Далее, исходя из полученных средних величин  $T_p$ , можно приблизительно (с точностью до 5-10 лет) оценивать возможные времена реализации сильных сейсмических событий. Это имеет особое значение для внутриконтинентальных землетрясений, периоды повторяемости которых нередко определяются с точностью несколько сотен лет [16].

Кольца сейсмичности в континентальных районах имеют относительно большие размеры, поэтому для уточнения положения будущих очаговых зон необходимо привлекать дополнительные данные (палеосейсмические, геофизические и т. д.). Кроме того, для более точной оценки времени готовящихся сильных землетрясений в районах кольцевых структур целесообразно устанавливать дополнительные сейсмические станции, по записям которых можно выделять относительно слабые форшоки, а также, в частности, исследовать временные вариации поля поглощения S-волн, отражающие процессы миграции глубинных флюидов [10].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев, Ю.Ф. Кольцевая сейсмичность в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в зонах субдукции / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. 2009. – Т. 425, № 4. – С. 539 - 542.
2. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районе Суматры / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. 2009. – Т. 429, № 1. – С. 106 - 109.
3. Копничев, Ю.Ф. О корреляции характеристик сейсмичности и поля поглощения S-волн в районах кольцевых структур, формирующихся перед сильными землетрясениями / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология. 2010. – № 6. – С. 34 - 51.
4. Копничев, Ю.Ф. 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.
5. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности и землетрясение 11.03.2011 г. ( $M_w=9.0$ ) в районе северо-восточной Японии / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. 2011. – Т. 440. – № 2. – С. 246-249.
6. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районах Алеут и Аляски / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК, 2012. – Вып. 1. – С. 137 - 146.
7. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районе северо-восточной Японии и катастрофическое землетрясение Тохоку 11 марта 2011 г. ( $M_w=9.0$ ) / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. 2012. – Вып. 4. – С. 121 - 130.
8. Gangopadhyay, A. Symptomatic features of intraplate earthquakes / A. Gangopadhyay, P. Talwani // Seismol. Res. Lett. 2003. V. 74. N 6. P. 863 - 883.
9. Копничев, Ю.Ф. Короткопериодные сейсмические волновые поля. М.: Наука. 1985. – С. 176.
10. Копничев, Ю.Ф. Пространственно-временные вариации поля поглощения поперечных волн в сейсмически активных и слабосейсмичных районах / Ю.Ф. Копничев, Д.Д. Гордиенко, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология, 2009. – № 1. – С. 49-64.
11. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в районе очага Чилийского землетрясения 27.02.2010 г. ( $M_w=8.8$ ) и их связь с сейсмичностью и вулканизмом / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические исследования, 2011. – Вып. 3. – С. 22 - 32.

12. Gold T. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes / T. Gold, S. Soter // Pure Appl. Geophys. 1984/1985. V. 122. P. 492 - 530.
13. Sibson, R. Geology of the crustal earthquake source // International handbook of earthquake and engineering seismology / R. Sibson // Academic Press. An imprint of Elsevier Science, 2002. – Part 1. – P. 455 - 473.
14. Щукин, Ю.К. Глубинное строение слабосейсмичных регионов СССР. / Ю.К.Щукин, В.З.Рябой [и др.] // М: Наука, 1987.
15. Yamazaki T. Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab / T. Yamazaki, T. Seno // J. Geophys. Res. 2003. – V. 108, N B4. doi: 10.1029/2002JB001918.
16. Рогожин, Е.А. Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене / Е.А. Рогожин, С.Г. Платонова // М.: ОИФЗ РАН, 2002. – 130 с.
17. Hier-Majumder, S. Role of dynamic grain boundary wetting in fluid circulation beneath volcanic arcs / S. Hier-Majumder, D. Kohlstedt // Geophys. Res. Lett., 2006. – V. 33. L08305.
18. Аптикаева, О.И. Неоднородности литосферы и астеносферы в очаговой зоне Рачинского землетрясения 1991 года / О.И. Аптикаева, С.С. Арефьев, С.И. Кветинский, Ю.Ф. Копничев, В.Н. Мишаткин // Докл. РАН, 1995. – Т. 344, № 4. – С. 533 - 538.
19. Грачев, А.Ф. Рифтовые зоны Земли. Л.: Недра, 1977. – С. 247.
20. Tapponnier, P. Active faulting and cenozoic tectonics of the Tien Shan, Mongolia and Baikal regions / P. Tapponnier, P. Molnar // J. Geophys. Res., 1979. – V. 84. – P. 3425 - 3459.

### КОНТИНЕНТАЛЬДЫ АУДАНДАРДАҒЫ ҚАТТЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕР АЛДЫНДА ҚАЛЫПТАСАТЫН СЕЙСМИКАЛЫҚТЫҢ АЙНАЛМАЛЫ ҚҰРЫЛЫМЫ

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

<sup>1</sup>*РФА О.Ю. Шмидт атындағы Жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей*  
<sup>2</sup>*ҚР ҰАО РМК Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Ішкі континентальды аудандарда болған 53 терең емес қатты және өте қатты жерсілкінулер алдындағы сейсмикалықтың сипаттамалары қаралуда. Қатты плаитааралық жерсілкінулер алдында 0 - 33 км тереңдік диапазонында сейсмикалықтың айналмалы құрылымдары қалыптасатыны анықталды. Мұндай құрылымдар қатты плаита ішіндегі оқиғалар алдында анықталмаған. Айналмалы құрылымдардың көлемі (L), сонымен қатар магнитуданың бастапқы мағыналары (M<sub>p</sub>) ошақтағы қозғалыстың түріне недәуір байланысты екендігі көрсетілген. Ошақтың әр түрлі механизмді жерсілкінулер үшін негізгі оқиғалардың магнитудаларынан L және M<sub>p</sub> өлшемдерінің корреляциялық тәуелділігі алынды. Айналмалы құрылымдардың табиғатын талқылау жүргізілуде.

### RING-SHAPED SEISMICITY STRUCTURES, BEING FORMED PRIOR TO LARGE EARTHQUAKES WITHIN INTRACONTINENTAL REGIONS

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

<sup>1</sup>*Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*  
<sup>2</sup>*Institute of Geophysical Research, NNC RK, Almaty, Kazakhstan*

We have been studying seismicity characteristics prior to 53 shallow large and great earthquakes with different mechanisms, which occurred within intracontinental regions. It was established, that ring-shaped seismicity structures within depth range of 0-33 km were formed prior to large interplate earthquakes. Such the structures were not revealed prior to large intraplate earthquakes. It was shown, that ring structure sizes (L) and also threshold magnitude values (M<sub>t</sub>) essentially depend on the earthquake mechanism. We have obtained correlation dependences for L and M<sub>t</sub> values on magnitude of the major events. We discuss a nature of ring-shaped structures.